Kementerian PPN/
Bappenas

KAJI ULANG RAN API

Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim

KAJIAN BASIS ILMIAH BAHAYA PERUBAHAN IKLIM

2018

BMKG

Kaji Ulang RAN API 2018

Kajian Basis Ilmiah
Bahaya Perubahan Iklim

Kementerian PPN/
Bappenas

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/
Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS)

Jalan Taman Suropati No.2 Jakarta 10310,
Telp. 021 3193 6207
Fax 021 3145 374
https://www.bappenas.go.id/

Penulisan Rujukan
Bappenas. (2018). Kaji Ulang RAN API: Kajian Basis Ilmiah Bahaya Perubahan Iklim. Bappenas, Jakarta, 234 hal.

KATA PENGANTAR

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia merupakan salah satu negara paling rentan terhadap dampak negatif perubahan iklim. Ancaman paling besar di Indonesia adalah peningkatan suhu permukaan laut, perubahan intensitas dan pola curah hujan, dan peningkatan permukaan air laut (RAN API 2014). Berdasarkan data kebencanaan BNPB pada tahun 2016, bencana yang sering terjadi di Indonesia adalah bencana *hydrometeorology* seperti bencana banjir dan kekeringan. Perubahan iklim yang menyebabkan perubahan tinggi gelombang serta memicu terjadinya badai atau gelombang ekstrem berpotensi menimbulkan bahaya (*hazard*) pada sektor kelautan terutama bahaya yang berkaitan dengan keselamatan pelayaran. Dampak-dampak tersebut menjadi tantangan dalam pembangunan pada aspek lingkungan, sosial dan ekonomi secara berkelanjutan, serta dalam pencapaian tujuan pembangunan Indonesia.

Sebagai bentuk kontribusi pemerintah, Kementerian PPN/Bappenas melalui Sekretariat RAN API menyusun kajian bahaya perubahan iklim di sektor kelautan. Dari hasil kajian ini, Indonesia menghadapi perluasan jalur pelayaran yang berbahaya karena meningkatnya tinggi gelombang dan semakin terisolirnya pulau-pulau kecil yang banyak tersebar di wilayah timur. Selain itu, cuaca buruk juga akan menurunkan frekuensi penyebrangan antar pulau dan meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Hasil kajian ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan manajemen risiko dan pemahaman dampak perubahan iklim, sehingga strategi dan desain kebijakan dapat diimplementasikan secara tepat. Salah satu langkah untuk mencapai hal tersebut adalah menjadikan hasil kajian ini sebagai masukan dalam penyusunan *Background Study* RPJMN 2020-2024. Dengan demikian, diharapkan Kementerian/Lembaga terkait dapat menjadikan pedoman dalam implementasi program dan kegiatannya agar sesuai dengan perencanaan pembangunan yang berkelanjutan di sektor kelautan.

Akhir kata, Saya ucapkan terima kasih atas peran dan kontribusi dari berbagai pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat.

Jakarta, November 2018

Dr. Ir. Arifin Rudiyanto, M.Sc

Deputi Menteri PPN/ Kepala Bappenas Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam

TIM PENYUSUN

Pengarah

Dr. Ir. Arifin Rudiyanto, M.Sc;

Penanggung Jawab

Ir. Medrilzam, M.Prof.Econ, Ph.D

Kementerian/Lembaga terkait Penyusunan Kajian Bahaya Perubahan Iklim

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan; Kementerian Kelautan dan Perikanan; Kementerian Pertanian; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Kementerian Kesehatan; Kementerian Perhubungan; Badan Meteorologi dan Klimatologi; Badan Nasional Penanggulangan Bencana; Badan Informasi Geospasial; dan Badan Pusat Statistik.

Tenaga Ahli Penyusun

Sektor Air : Dr. Budhi Setiawan
Sektor Kelautan : Prof. Safwan Hadi, Ph.D.
Sektor Pesisir : Dr.Eng. Hamzah Latief, M.Si.
Sektor Pertanian : Prof. Handoko, Ph.D.
Sektor Kesehatan : Prof. Dr. Ridad Agoes, MD., MPH.

Asisten Tenaga Ahli Penyusun

Sektor Air : Tio Nanda Putra, S.T.
Sektor Kelautan : Dominic Oki Ismoyo, S.Si, M.Si; Nissa Nurrohmah, S.Si.
Sektor Pesisir : Muhammad Taufan Al Farisi, Ssi; Nissa Nurrohmah, S.Si.
Sektor Pertanian : Fikry Purwa Lugina, S.Si.; Muhammad Suryo Panotogomo Abi Suroso, S.T.
Sektor Kesehatan : Dr. Rieske Hadianti; M. Suhardjono Fitriyanto, M.Sc.

Editor

Dr. Sudhiani Pratiwi, S.T, M.Sc; Putra Dwitama, M.E; Pramudita Mahyastuti, S.Si, M.Sc; Swari Farkhah Mufida, S.Si, M.T; Muhammad Rizki Satria, S.T, M.Sc

Tim Teknis dan Administrasi

Putra Dwitama, M.E; Muhammad Rizki Satria, S.T, M.Sc; Kevin Simon, S.Sos; Pramudita Mahyastuti, S.Si, M.Sc; Swari Farkhah Mufida, S.Si, M.T; Hasnah; Farhan

Desain Sampul

Kevin Simon, S.Sos

Mitra Pembangunan

USAID – Adaptasi Perubahan Iklim dan Ketangguhan (APIK)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **iii**
TIM PENYUSUN ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
BAB 1 SEKTOR AIR **1**
1. PENDAHULUAN 2
1.1. Latar Belakang 2
1.2. Tujuan dan Sasaran 2
1.3. Metode dan Pendekatan 3
2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR AIR 4
2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Air 4
2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini 6
2.3. Tantangan Sektor Air Terkait Perubahan Iklim 6
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR AIR 8
3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Sektor Air 8
3.2. Gambaran Bahaya Iklim Sektor Air 8
3.3. Bahaya Iklim Sektor Air per Wilayah 15
3.3.1. Wilayah Sumatera 15
3.3.2. Wilayah Jawa-Bali 16
3.3.3. Wilayah Kalimantan 17
3.3.4. Wilayah Sulawesi 17
3.3.5. Wilayah Nusa Tenggara 18
3.3.6. Wilayah Maluku 19
3.3.7. Wilayah Papua 20
4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN 21
5. DAFTAR PUSTAKA 22
BAB 2 SEKTOR KELAUTAN **23**
1. PENDAHULUAN 24
1.1. Latar Belakang 24
1.2. Tujuan dan Sasaran 27
1.3. Metode dan Pendekatan 27
2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR KELAUTAN 30
2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Kelautan 30
2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini 30
2.3. Tantangan Sektor Kelautan Terkait Perubahan Iklim 30
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR KELAUTAN 31
3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Sektor Kelautan 31
3.2. Gambaran Bahaya Iklim Sektor Kelautan 33
3.3. Bahaya Iklim Sektor Kelautan 39
3.4. Bahaya Keselamatan Pelayaran 40
4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN 45
4.1. Kesimpulan 45

4.2. Rekomendasi Kebijakan 45
5. DAFTAR PUSTAKA 47
BAB 3 SEKTOR PESISIR 49
1. PENDAHULUAN 50
1.1. Latar Belakang 50
1.2. Tujuan 51
1.3. Cakupan Studi dan Metode 51
2. WILAYAH PESISIR 52
2.1. Definisi Kawasan Pesisir 52
2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi dan Genangan Pesisir 52
3. KARAKTER FISIK WILAYAH PANTAI INDONESIA 55
3.1. Kondisi Geologi dan Geomorfologi 55
3.1.1. Kondisi Geologi 55
3.1.2. Kondisi Tektonik 55
3.1.3. Kondisi Geomorfologi, Topografi Dan Batimetri 55
3.2. Kondisi Iklim Wilayah Indonesia 57
3.2.1. Kondisi Suhu Udara 57
3.2.2. Kondisi Curah Hujan 58
3.2.3. Kondisi Angin Permukaan 58
3.3. Kondisi Perairan Laut Indonesia 59
3.3.1. Suhu Permukaan Laut 59
3.3.2. Tinggi Permukaan Laut 59
3.3.3. Arus Laut 59
3.3.4. Gelombang 60
3.3.5. Pasang Surut Laut 61
3.4. Peruntukan Wilayah Pesisir Indonesia 61
3.5. Identifikasi Bahaya Pesisir Indonesia 61
3.5.1. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Pasang Surut 63
3.5.2. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri 64
3.5.3. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Model IPCC 64
3.5.4. ENSO dan Badai Tropis 66
4. INDEKS KERENTANAN PESISIR 69
4.1. Data dan Metoda Pengolahan Data 74
4.2. Modifikasi Indeks Kerentanan Pesisir Indonesia 77
4.3. Hasil Indeks Kerentanan Pesisir Indonesia 78
5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN 87
5.1. Kesimpulan 87
5.2. Rekomendasi Kebijakan pada Tujuan Pembangunan 87
5.3. Rekomendasi atau Opsi Kebijakan (Intervensi) 88
5.4. Kebijakan Penguatan Kapasitas Kelembagaan 90
5.5. Spesifik Sektor dan Aktor 91
6. DAFTAR PUSTAKA 95
BAB 4 SEKTOR PERTANIAN 97
1. PENDAHULUAN 98
1.1. Latar Belakang 98
1.1.1. Produksi Padi di Dunia 99
1.1.2. Produksi Padi di Indonesia 99
1.1.3. Dampak Kekeringan Terhadap Padi 101

1.2. Tujuan 101
1.2.1. Lingkup Kajian 101
1.2.2. Keluaran 102
2. METODE 103
2.1. Seleksi Data 103
2.2. Data 104
2.3. Metode 104
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR PERTANIAN 107
3.1. Rata-rata Produksi Padi 107
3.2. Laju Rata-rata Produksi Padi 108
3.3. Standar Deviasi Laju Produksi Padi 110
3.4. Penurunan Produksi Padi Akibat Pengaruh Perubahan Iklim 112
4. KESIMPULAN 116
5. DAFTAR PUSTAKA 117
BAB 5 SEKTOR KESEHATAN 119
1. PENDAHULUAN 120
1.1. Latar Belakang 120
1.2. Tujuan 122
2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR KESEHATAN 123
2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Kesehatan 123
2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini 123
2.2.1. Regulasi yang Berlaku 123
2.2.2. Struktur Kelembagaan 127
2.3. Tantangan Sektor Kesehatan Terkait Perubahan Iklim 130
3. METODE DAN KETERSEDIAAN DATA 136
3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Akibat Perubahan Iklim 136
3.2. Pendekatan dan Metodologi 139
3.3. Metoda Kajian Bahaya Peningkatan Kejadian Penyakit DBD 140
3.3.1. Kajian Peningkatan Ekstrem Kejadian Penyakit DBD 140
3.3.1. Kajian Pengaruh Populasi Penduduk 141
3.3.2. Kajian Bahaya Terhadap Perubahan Iklim 141
4. ANALISIS BAHAYA SEKTOR KESEHATAN 144
4.1. Peningkatan Ekstrem Kejadian Penyakit DBD pada Periode Historis 144
4.2. Pengaruh Populasi Penduduk pada Periode Historis 146
4.3. Bahaya Peningkatan Kejadian Penyakit DBD terhadap Perubahan Iklim 147
4.4. Bahaya Sektor Kesehatan per Wilayah 151
5. KESIMPULAN, KETERBATASAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN 158
5.1. Kesimpulan 158
5.2. Keterbatasan Kajian 159
5.3. Rekomendasi Kebijakan 159
6. DAFTAR PUSTAKA 162
7. LAMPIRAN 164

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Alur kajian untuk penurunan ketersediaan air, banjir dan kekeringan 3
Gambar 1-2 Skema dan kompleksitas kajian ketahanan perubahan iklim 4
Gambar 1-3 Perbandingan curah hujan tahunan pada kondisi baseline (observasi) dan proyeksi (2020-2034 dan 2031-2045) 8
Gambar 1-4 Peta proyeksi curah hujan tahunan periode 2020-2034 9
Gambar 1-5 Peta proyeksi curah hujan tahunan periode 2031-2045 9
Gambar 1-6 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air periode 2020-2034 10
Gambar 1-7 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air periode 2031-2045 10
Gambar 1-8 Curah hujan 3 bulanan di wilayah Nusa Tenggara 11
Gambar 1-9 Peta proyeksi musim kering periode 2020-2034 11
Gambar 1-10 Peta proyeksi musim kering periode 2031-2045 12
Gambar 1-11 Peta proyeksi kekeringan periode 2020-2034 12
Gambar 1-12 Curah hujan maksimum bulanan di Pulau Jawa pada periode historis dan proyeksi 13
Gambar 1-13 Peta proyeksi curah hujan maksimum bulanan periode 2020-2034 13
Gambar 1-14 Peta curah hujan maksimum bulanan periode 2031-2045 14
Gambar 1-15 Peta potensi bahaya banjir periode 2020-2034 dengan mengacu pada ICCSR (2010) 14
Gambar 1-16 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Sumatera 16
Gambar 1-17 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Jawa dan Bali 16
Gambar 1-18 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Kalimantan 17
Gambar 1-19 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Sulawesi 18
Gambar 1-20 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Nusa Tenggara 19
Gambar 1-21 Peta proyeksi ketersediaan air di Wilayah Maluku 19
Gambar 1-22 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Wilayah Papua 20

Gambar 2-1 Kondisi eksisting pelayaran kapal PELNI Indonesia 24
Gambar 2-2 Kondisi eksisting pelayaran dan penyeberangan ASDP Indonesia 25
Gambar 2-3 Grafik kecelakaan kapal akibat cuaca buruk di Indonesia tahun 2015 dan 2016 25
Gambar 2-4 Peta lokasi kecelakaan kapal akibat cuaca buruk di Indonesia pada tahun 2015-2016 26
Gambar 2-5 Jumlah kapal perikanan dengan ukuran di bawah 5 GT, antara 5-10 GT, dan di bawah 10 GT 29
Gambar 2-6 Peta gelombang ekstrem perairan Indonesia kondisi historis (1990-2015) dan proyeksi tahun 2045, 90, 95, dan 99 persentil (Kajian Ilmiah Rekonstruksi dan Proyeksi Iklim Laut) 31
Gambar 2-7 Peta bahaya iklim gelombang untuk keselamatan pelayaran (99 persentil) (a) kondisi historis dan (b) proyeksi hingga Tahun 2045 di Indonesia 32
Gambar 2-8 Peta Bahaya Iklim Gelombang Selisih (Proyeksi-Historis) 33
Gambar 2-9 Peta bahaya iklim gelombang kondisi historis dibandingkan dengan kondisi proyeksi 34
Gambar 2-10 Peta bahaya iklim gelombang (99 persentil) dengan (a) jalur kapal PELNI dan (b) jalur Tol Laut pada kondisi historis di Indonesia 35
Gambar 2-11 Peta bahaya iklim gelombang (99 persentil) dengan (a) jalur kapal PELNI dan (b) jalur Tol Laut pada kondisi proyeksi tahun 2045 di Indonesia 36

Gambar 2-12 Jumlah Penyeberangan kapalberdasarkan bulan pada Tahun 2008-2009 di Kupang 37
Gambar 2-13 Grafik perbandingan antara hari pelayaran dengan konsumsi bahan bakar (Bialystocki dan Konovessis, 2016) 38
Gambar 2-14 Grafik perbandingan antara kecepatan kapal dengan putaran poros baling-baling kapal pada beberapa kondisi cuaca (Carlton, 2007) 38
Gambar 2-15 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di bawah 10 GT kondisi (a) historis dan (b) proyeksi 41
Gambar 2-16 Peta Bahaya Keselamatan Pelayaran bagi kapal dengan bobot 10-30 GT kondisi (a) historis dan (b) proyeksi 42
Gambar 2-17 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di atas 30 GT hingga kapal perintis kondisi (a) historis dan (b) proyeksi 43
Gambar 2-18 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di atas 5000 GT (Kapal PELNI dan ASDP) kondisi historis dan proyeksi 44

Gambar 3-1 Jenis bahaya pesisir 50
Gambar 3-2 Faktor alam terhadap erosi pantai dalam skala ruang dan waktu 52
Gambar 3-3 Hubungan antara bahaya yang disebabkan perubahan iklim terhadap sektor pesisir, kelautan, dan perikanan (diadaptasi dari the Australian Greenhouse Office, 2005) 53
Gambar 3-4 Pengaruh faktor manusia terhadap erosi pantai dalam skala ruang dan waktu (Bird, 1993) 54
Gambar 3-5 Ketersediaan Data DSM Indonesia 56
Gambar 3-6 Ketersediaan Data DTM Indonesia 57
Gambar 3-7 Tren temperatur rata-rata tahunan untuk wilayah daratan di Indonesia (6°LU - 11°08'LS dan 95°BT - 141°45'BT) berdasarkan data dari CRU TS3.1. (Bappenas, 2014) 58
Gambar 3-8 Peta tipe hujan di Indonesia yang digunakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG; Makmur dalam Bappenas, 2014) 58
Gambar 3-9 Sistem angin munson barat (kanan) dan munson timur (kiri) di Indonesia (Swardika dkk., 2011) 59
Gambar 3-10 Tinggi gelombang 99 persentil di Indonesia tahun 1991-2014 (Sofyan, 2014) 60
Gambar 3-11 Peta tinggi gelombang signifikan di Indonesia 60
Gambar 3-12 Tunggang pasang surut di perairan Indonesia 61
Gambar 3-13 Bahaya di dalam sistem pesisir (IPCC AR-4, 2007) 62
Gambar 3-14 Skematis kombinasi berbagai elemen penyebab kenaikan muka laut (Latief dkk, 2008) 62
Gambar 3-15 Tren kenaikan muka laut di Darwin, Broome, Surabaya dan Sandakan dari data pasang surut (Sofian, 2008) 63
Gambar 3-16 Proyeksi kenaikan muka laut di Benoa, Ambon, Broome, Darwin, Sandakan dan Surabaya berdasarkan analisis regeresi linear (Sofian, 2008) 63
Gambar 3-17 Distribusi kenaikan tinggi muka laut sampai tahun 2100 berdasarkan data satelit altimetri (Sofian, 2008) 64
Gambar 3-18 Tren kenaikan tinggi muka laut berdasarkan data satelit altimetri (Sofian, 2008) 64
Gambar 3-19 Proyeksi kenaikan tinggi muka laut berdasarkan model IPCC (Sofian, 2008) 65
Gambar 3-20 Tingkat kenaikan SPL berdasarkan IPCC SRES, menggunakan model MRI_CGCM 3.2 65

Gambar 3-21 Perubahan kenaikan muka laut di perairan Indonesia 66
Gambar 3-22 Lintasan siklon tropis di Samudera Hindia (BOM Australia, 2006) 67
Gambar 3-23 Distribusi tinggi gelombang badai sebagai hasil simulasi model di pantai Selatan Pulau Jawa (Ningsih, 2009) 68
Gambar 3-24 Peta Indeks Kerentanan Pesisir (Coastal Vulnerability Indeks, CVI) (MMAF, 2010) 69
Gambar 3-25 Peta bahaya penggenangan pesisir pada kajian Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap Bappenas (2010): Seluruh Indonesia (atas) dan contohnya di Pulau Jawa (bawah) 70
Gambar 3-26 Bahaya penggenangan pesisir di Pantai Utara Pulau Jawa pada kajian Kementerian Agraria dan Tata Ruang (2015): Kondisi baseline (atas) dan proyeksi (bawah) 71
Gambar 3-27 Peta indentifikasi erosi/akresi pantai di Indonesia 75
Gambar 3-28 Peta indeks geomorfologi di Indonesia 75
Gambar 3-29 Peta kemiringan pantai di Indonesia 76
Gambar 3-30 Peta kenaikan muka laut relatif di Indonesia 76
Gambar 3-31 Peta CVI di Indonesia 79
Gambar 3-32 Peta CVI di Pulau Sumatera 79
Gambar 3-33 Peta CVI di Pulau Jawa dan Bali 80
Gambar 3-34 Peta CVI di Pulau Kalimantan 80
Gambar 3-35 Peta CVI di Kepulauan Nusa Tenggara 81
Gambar 3-36 Peta CVI di Pulau Sulawesi 81
Gambar 3-37 Peta CVI di Kepulauan Maluku Utara 82
Gambar 3-38 Peta CVI di Maluku 82
Gambar 3-39 Peta CVI di Pulau Papua 83
Gambar 3-40 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap pulau 85
Gambar 3-41 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap provinsi 86
Gambar 3-42 Sinergi antara kementerian/lembaga 89
Gambar 3-43 Sinkronisasi kementerian dan lembaga dalam melakukan intervensi 93

Gambar 4-1 Produksi dan konsumsi beras Indonesia, 1968-2006 (Sumber: Laporan Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan) 100
Gambar 4-2 Total produksi dan luas panen padi di Indonesia, 1968-2006 (Sumber: *Laporan Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan)* 101
Gambar 4-3 Metode Penelitian 103
Gambar 4-4 Pemilihan data 104
Gambar 4-5 Konstanta untuk persamaan presentase penurunan produksi padi (Sumber: Handoko) 105
Gambar 4-6 Tipe iklim di wilayah Indonesia (Sumber: BMKG) 105
Gambar 4-7 Rata-rata produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS) 107
Gambar 4-8 Rata-rata produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS) 107
Gambar 4-9 Laju rata-rata produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS) 109
Gambar 4-10 Laju rata-rata produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS) 109
Gambar 4-11 Standar deviasi laju produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS) 111
Gambar 4-12 Standar deviasi laju produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS) 111
Gambar 4-13 Perbandingan delta kenaikan temperatur 113

Gambar 4-14 Perbandingan delta penurunan curah hujan 113
Gambar 4-15 Penurunan produksi padi tahun 1993-2005 114
Gambar 4-16 Penurunan produksi padi tahun 2020-2045 114

Gambar 5-1 Alur dampak perubahan iklim terhadap kesehatan (Sumber: dimodifikasi dari Patz dkk., 2000) 120
Gambar 5-2 Diagram pola hubungan iklim yang mempengaruhi kesehatan, baik yang memberikan dampak langsung maupun terdapat pengaruh modifikasi dari kondisi lingkungan, sosial dan sistem kesehatan (Sumber: IPCC, Working Group II, 2008) 121
Gambar 5-3 Keterkaitan beberapa subsektor untuk adaptasi perubahan iklim pada sektor kesehatan 127
Gambar 5-4 Keterkaitan antara berbagai perubahan lingkungan global utama yang mempengaruhi kesehatan manusia, termasuk perubahan iklim (Sumber: dimodifikasi dari Mc Michael, 2003) 131
Gambar 5-5 Sebaran global prevalensi penyakit DBD di beberapa negara yang mengikuti kisaran temperatur dan musim (Sumber: WHO dalam Borrud, 2015) 132
Gambar 5-6 Peta global konsensus kejadian penyakit DBD berdasarkan review publikasi ilmiah dan laporan kajian pada level internasional (Sumber: Louis, dkk., 2014). .. 132
Gambar 5-7 Grafik perkembangan penyebaran penyakit DBD di Kabupaten dan Kota di Indonesia tahun 1968-2015 (diolah dari Arsin, 2013 dan Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan, 2016) 133
Gambar 5-8 Peta Rata-rata Kejadian Penyakit DBD Tahun 2006-2016 di seluruh Kabupaten/Kota di Indonesia 135
Gambar 5-9 Hubungan stimulus perubahan iklim dengan bahaya pada kesehatan (modifikasi dari KRAPI, KLH, 2012) 136
Gambar 5-10 Transmisi virus DBD melalui pergerakan vektor pada medium udara yang dipengaruhi oleh kondisi iklim (lingkaran oval di bagian tengah) Campbell, dkk. (2013) 137
Gambar 5-11 Rantai dampak perubahan iklim terhadap penyakit tularan nyamuk (Githeko et al., 2000). 138
Gambar 5-12 Arah dan koefisien korelasi terstandarisasi antara faktor iklim (temperatur dan curah hujan) dengan densitas populasi nyamuk serta kejadian penyakit DBD; dimana tanda asterik (*) menunjukkan hubungan statistik yang signifikan (Sumber: Xu, dkk., 2017) 138
Gambar 5-13 Kerangka kajian bahaya (*hazard*) sektor kesehatan – peningkatan kejadian penyakit DBD 140
Gambar 5-14 Empat titik perubahan musiman pada dinamika kejadian penyakit DBD yang berkaitan dengan dinamika parameter iklim/cuaca (Sumber: Campbell,dkk., 2013) 142
Gambar 5-15 Peta laju peningkatan kejadian DBD di antara periode 2006-2011 dan 2012-2016 144
Gambar 5-16 Peta jumlah peningkatan kejadian penyakit lebih dari dua kali lipat dalam dua bulan berturut-turut periode historis tahun 2006-2016 (Sumber: Data Kementerian Kesehatan) 145
Gambar 5-17 Peta jumlah kejadian penyakit pada bulan-bulan yang berada di atas persentil 75% periode tahun 2006-2016 (Sumber: Data Kementerian Kesehatan) 146

Gambar 5-18 Peta Angka Kejadian (Incidence Rate) DBD per 10000 Penduduk Tahun 2006-2016 di Seluruh Kabupaten/Kota di Indonesia 147
Gambar 5-19 Keterkaitan antara fluktuasi temporal kejadian penyakit (atas) agregat di seluruh Indonesia (Sumber: Data Kementerian Kesehatan), dengan kejadian fenomena ENSO (El-Nino Southern Oscillation; bawah; sumber: Golden Gate Weather Services - http://ggweather.com/enso/oni.htm), dimana warna merah-oranye-kuning menandakan fase kejadian El-Nino yang kuat-menengah-lemah dan warna biru tua-muda-muda sekali menandakan fase kejadian La-Nina yang kuat-menengah-lemah. 148
Gambar 5-20 Peta tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode historis tahun 2006-2012 berdasarkan rasio kejadian DBD 150
Gambar 5-21 Peta indikatif tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode proyeksi tahun 2020-2034 berdasarkan peningkatan tingkat rasio potensi kejadian DBD 151
Gambar 5-22 Peta tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode proyeksi tahun 2030-2045 berdasarkan peningkatan tingkat rasio potensi kejadian DBD 151
Gambar 5-23 Peta Perbandingan Indeks Bahaya Kejadian Penyakit DBD pada Periode Tahun 2006-2016 dengan proyeksi tahun 2020-2034 152
Gambar 5-24 Peta Perbandingan Indeks Bahaya Kejadian Penyakit DBD pada Periode Tahun 2006-2016 dengan proyeksi tahun 2030-2045 153

DAFTAR TABEL

Tabel 1-1 Persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari rataan wilayah di seluruh Indonesia untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relative terhadap curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai Curah Hujan (CH) dihitung dari nilai median 24 GCM CMIP5 7

Tabel 1-2 Persentase perubahan curah hujan tahunan dari rataan di seluruh wilayah Indonesia dan 7 wilayah ekoregion terpisah, untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan (CH) rata-rata observasi periode 1995-2005. Nilai CH dihitung dari median 24 GCM CMIP5 15

Tabel 2-1 Jumlah kapal perikanan laut menurut kategori dan ukuran kapal tahun 2011-2015 (sumber : http://sidatik.kkp.go.id/dynamic_report) 28

Tabel 2-2 Tinggi gelombang yang aman bagi berbagai jenis-jenis kapal di Indonesia 29

Tabel 3-1 Detail hasil perhitungan proyeksi kenaikan muka laut di pantai utara Pulau Lombok 66

Tabel 3-2 Deskripsi Indeks Kerentanan Pesisir 72

Tabel 3-3 Peringkat Indeks Kerentanan Pesisir (Kasus USGS: 2000) 73

Tabel 3-4 Modifikasi Indeks Kerentanan Pesisir di pesisir Indonesia tahun 2010 73

Tabel 3-5 Data dan metode yang digunakan untuk penentuan CVI 74

Tabel 3-6 Modifikasi indeks kerentanan pesisir Indonesia tahun 2018 77

Tabel 3-7 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap pulau 83

Tabel 3-8 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap provinsi 83

Tabel 4-1 Persentase luas panen dan produksi padi menurut musim (Sumber: Bappenas, 2003) 100

Tabel 4-2 Pembaharuan konstanta untuk persamaan persentase penurunan produksi padi 106

Tabel 4-3 Rata-rata produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia 108

Tabel 4-4 Laju rata-rata produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia 110

Tabel 4-5 Standar deviasi laju produksi pada setiap provinsi di Indonesia 112

Tabel 4-6 Penurunan produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia 115

Tabel 5-1 Kisaran temperatur dan curah hujan terjadi pada saat kejadian penyakit DBD tertinggi di atas persentil 75% 149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD 164
Lampiran 2 Hasil Prediksi (Forecasting) Jumlah Kejadian DBD dan Tingkat Kesalahannya 166
Lampiran 3 Data Temperatur Sebelum dan Setelah Bias Correction 171
Lampiran 4 Data Curah Hujan Sebelum dan Sesudah Bias Correction 179
Lampiran 5 Identifikasi Kisaran Temperatur Terhadap Kejadian Penyakit DBD 187
Lampiran 6 Identifikasi Kisaran Curah Hujan Terhadap Kejadian Penyakit DBD 203
Lampiran 7 Hubungan antara Temperatur dan Curah Hujan 219

BAB 1
SEKTOR AIR

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan dasar kehidupan manusia pada umumnya dan penentu kesejahteraan rakyat di Indonesia pada khususnya. Seiring dengan perencanaan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, tantangan kebutuhan air semakin meningkat dan membahayakan pembangunan berkelanjutan. Dalam Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembanguan Ekonomi (MP3EI), Indonesia mengedepankan ketahanan pangan dan meningkatkan kebijakan air dan energi sebagai prasyarat untuk pelaksanaannya.

Pada tahun 2014, Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) diluncurkan dengan tujuan menjamin atau mengamankan sasaran utama pembangunan serta meningkatkan ketahanan masyarakat baik secara fisik, ekonomi, sosial dan lingkungan terhadap dampak perubahan iklim. Pembangunan berkelanjutan yang mangakomodasi kegiatan adaptasi perubahan iklim diharapkan dapat mengurangi kerentanan saat ini sehingga tidak mengorbankan kapasitas generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya. Hal ini diperlukan karena perubahan iklim akan mempengaruhi dan berdampak pada semua aspek pembangunan setiap sektor.

Penyusunan RAN-API didasarkan pada bukti ilmiah tentang perubahan iklim itu sendiri. Salah satu landasan ilmiah yang penting dalam membahas isu perubahan iklim saat ini adalah laporan penilaian ke-4 (*Fourth Assessment Report*, AR4) yang diterbitkan oleh Panel antar Pemerintah mengenai Perubahan Iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change*; IPCC) pada tahun 2007. Dengan menggunakan berbagai data observasi dan keluaran hasil model iklim global, laporan tersebut menegaskan peran kontribusi kegiatan manusia (faktor antropogenik) dalam meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) yang mempercepat laju peningkatan temperatur permukaan global. Tren kenaikan temperatur global (*global warming*) tersebut diyakini telah mengakibatkan perubahan iklim di berbagai tempat di dunia.

Penyusunan RAN-API juga didasari pada dokumen kajian dasar ilmiah yang telah dilakukan sebelumnya seperti *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap* (ICCSR) pada tahun 2010 yang merupakan pendetailan dari pemodelan *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) dari IPCC. Pada tahun 2014, IPCC telah menerbitkan laporan penilaian kelima (*Fifth Assessment Report*, AR5) yang menyebutkan tanpa upaya serius untuk mengurangi emsisi GRK, suhu global akan cenderung meningkat lebih dari 2^{o}C pada dekade berikutnya. Risiko terjadinya beberapa kejadian ekstrem terutama gelombang panas dan hujan deras diperkirakan akan meningkat lebih lanjut, selain peningkatan tinggi muka laut yang akan meningkat 0,26-0,81 m akan terus mengalami peningkatan di masa mendatang. Pemodelan iklim yang digunakan dalam AR5 tersebut dikenal dengan istilah *Representative Concretration Pathways* (RCP). Oleh karena itu, diperlukan pembaharuan (*updating*) dampak perubahan iklim di Indonesia baik bencana (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), risiko (*risk*) maupun ketahanan (*resilience*). Kajian ini difokuskan pada bencana iklim sektor air yang merupakan pembaharuan dari Sektor Air yang terdapat dalam ICCSR tahun 2010.

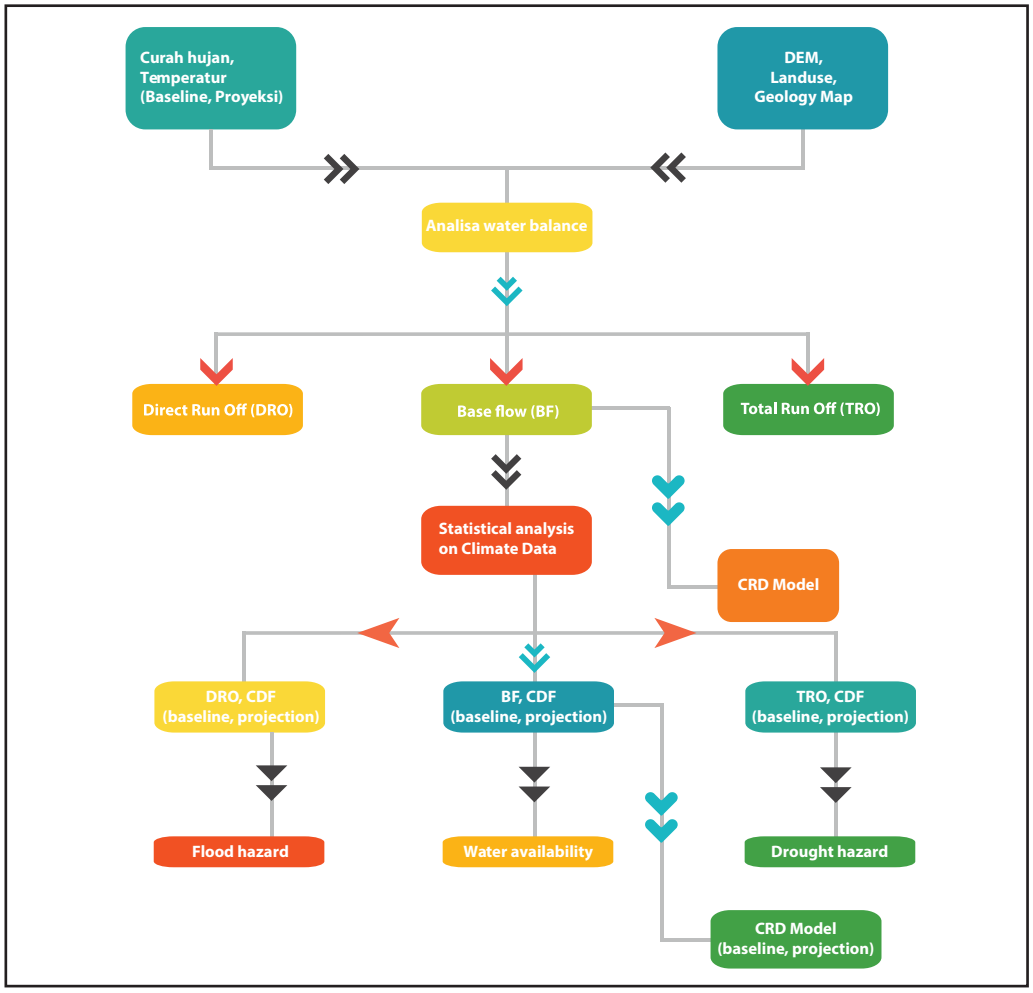
1.2. Tujuan dan Sasaran

Tujuan dan sasaran kegiatan ini adalah sebagai berikut:

a. Melakukan pembaharuan kajian bahaya akibat perubahan iklim di sektor air atas ICCSR tahun 2010 berdasarkan skenario RCP 4.5
b. Menghasilkan analisis bahaya perubahan iklim sektor air pada 7 wilayah pembangunan sesuai dengan ketersediaan data proyeksi iklim

1.3. Metode dan Pendekatan

Bahaya perubahan iklim pada sektor air terdiri atas ketersediaan air, banjir, kekeringan dan tanah longsor. Oleh sebab itu, kajian ini menggunakan framework yang dimulai dengan analisis *water balance* (Rasmussen, dkk., 2014). Secara rinci, pendekatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1-1.



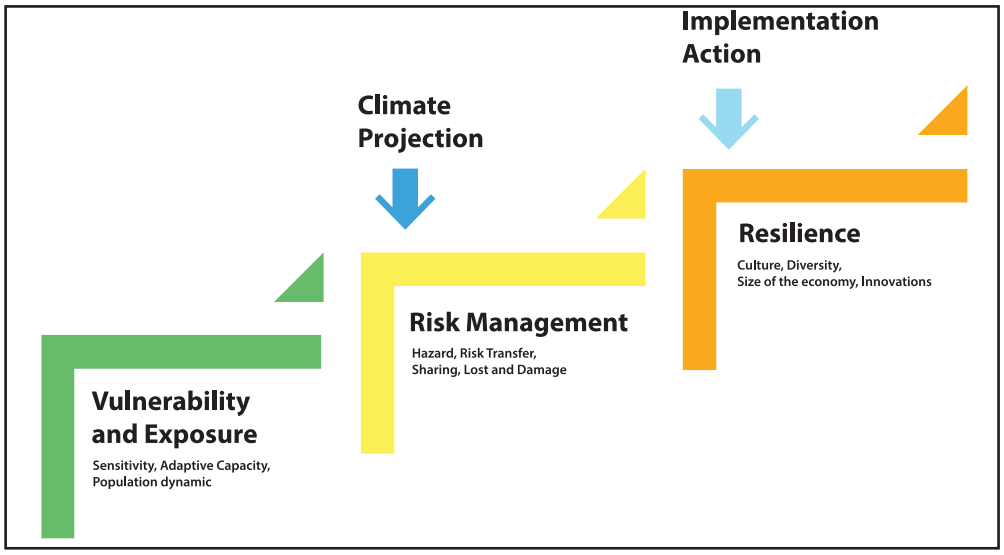
Gambar 1-1 Alur kajian untuk penurunan ketersediaan air, banjir dan kekeringan

Data *Digital Elevation Model* (DEM) diperlukan untuk mengetahui arah aliran air sebagai input dalam pemodelan banjir (Gruber dan Peckham, 2008), sedangkan tata guna lahan dan geologi menggunakan hasil pemodelan dari *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap* (Bappenas, 2010). Pemodelan bahaya sektor air dilakukan berdasarkan pendekatan ketersediaan data meteorologi yaitu curah hujan (Bappenas, 2018). Berdasarkan ketersediaan data iklim yang ada yaitu perubahan curah hujan dari kondisi baseline (1995-2010) ke kondisi proyeksi (2020-2034 dan 2031-2045), maka analisis bahaya yang dapat dilakukan pada 7 wilayah pembangunan adalah bahaya penurunan ketersediaan air. Pada kondisi proyeksi tidak ada informasi iklim ekstrem maksimum. Oleh karena itu, bahaya banjir dianalisis secara umum di seluruh Indonesia dengan menggunakan data iklim median bulanan maksimum. Demikian pula dengan bahaya kekeringan yang menggunakan data 3 bulanan minimum di kondisi proyeksi.

2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR AIR

Kelangkaan air (*water scarcity*) baik secara sejarah maupun geografis telah banyak terjadi di beberapa negara, terutama pada saat musim kemarau. Kondisi ini dapat ditekan dengan kebijakan dan pengelolaan sumber daya air yang tepat. Tata kelola sumber daya air baik dalam merespon permasalahan sumber daya alam maupun perilaku manusia akan memberikan dampak positif terhadap ekonomi, sosial, lingkungan dan ketahanan air. *Asian Water Development Outlook* mengukur ketahanan air dalam 5 dimensi utama yaitu Ketahanan Air Rumah Tangga (*Household Water Security*), Ketahanan Air Perkotaan (*Urban Water Security*), Ketahanan Lingkungan Air (*Environmental Security*), Ketahanan Bencana Air (*Resilience to Water-Related Disasters*) dan Ketahanan Ekonomi Air (*Economic Water Security*) (Asian Development Bank, 2013).

Dokumen RAN-API mencantumkan sasaran untuk mencapai 4 ketahanan dalam menghadapi dampak perubahan iklim. Salah satunya yaitu bahaya sektor air yang dapat memberikan gangguan atas tercapainya sasaran tersebut. Adapun skema untuk mencapai sasaran ketahanan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1-2. Gambar 1-2 menunjukkan bahwa kajian bahaya di masa depan merupakan bagian dari Manajemen Risiko yang dapat dilakukan dengan menggunakan kajian proyeksi iklim atmosferik. Oleh karena itu, untuk mengetahui kondisi dan permasalahan saat ini akan mengacu pada hasil kajian *Asian Development Bank* termasuk kapasitas kelembagaan yang ada. Selain itu, tantangan permasalahan sumber daya air di masa mendatang mengacu pada hasil kajian proyeksi iklim atmosferik.



Gambar 1-2 Skema dan kompleksitas kajian ketahanan perubahan iklim

2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Air

Pada tahun 2050, lebih dari 60% populasi di Kawasan Asia-Pasifik akan tinggal di kota besar. Asia adalah rumah bagi 13 dari 22 kota besar di dunia dan jumlahnya akan naik hingga 20 *megacity* pada tahun 2025. Kondisi ini akan menyebabkan sekitar 1,7 miliar orang kekurangan akses ke sanitasi dasar dan hampir 80% air limbah dibuang ke badan air (sungai, danau dan laut) dengan sedikit atau tanpa pengolahan. Di Indonesia, hanya 14% air limbah yang diolah. Namun demikian, angka ini masih lebih baik jika dibandingkan dengan Filipina (10%), India (9%) dan Vietnam (4%) (Asian Development Bank, 2016).

Secara keseluruhan, Indonesia adalah negara yang kaya dengan sumber daya air. Ketersediaan air melebihi permintaan di semua lokasi, meskipun variabilitas musiman menciptakan tekanan air pada

musim kemarau. Dengan demikian, tekanan air adalah hasil dari kurang atau tidak berfungsinya infrastruktur daripada kekurangan air yang absolut.

Ancaman utama terhadap ketersediaan air adalah manajemen yang buruk. Pembangunan perkotaan yang tidak terkendali oleh perencanaan tata ruang menyebabkan perambahan kota-kota menjadi wilayah yang rawan banjir dan perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali menyebabkan degradasi daerah tangkapan air yang serius. Kondisi ini menyebabkan tingkat erosi yang semakin tinggi sehingga menambah sedimen di waduk. Tingkat pengolahan air limbah yang rendah pada daerah dengan populasi tinggi mengurangi kualitas lingkungan (Asian Development Bank, 2016).

Perubahan iklim menaikkan tingkat ketidakpastian pada situasi di atas, terutama yang terkait dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi. Faktor-faktor yang menentukan aksesibilitas ketersediaan air nasional ditentukan oleh hal-hal sebagai berikut (Asian Development Bank, 2016):

1. Keberlanjutan perkembangan perkotaan dan industri yang membebankan kebutuhan air jauh lebih besar dibandingkan dengan peningkatan kapasitas pasokan airnya.
2. Kecepatan urbanisasi dan industrialisasi, terutama di Jakarta, Bandung, Surabaya, Semarang (Jawa), Medan, Palembang, Lampung (Sumatera), Makassar, Palu dan Manado (Sulawesi), menyebabkan peningkatan beban polusi yang cukup besar dan penurunan kualitas air.
3. Penggunaan air akan semakin berkembang sejalan dengan penggunaan air permukaan skala besar untuk irigasi dan pembangkit listrik. Di sisi lain, penggunaan air tanah dangkal untuk keperluan domestik dan penggunaan air tanah dalam untuk industri dan jasa (terutama di perkotaan), termasuk juga sistem penyediaan air minum melalui perpipaan untuk masyarakat di perkotaan. Penggunaan air tanah dalam yang tidak berkelanjutan dapat menyebabkan penurunan muka tanah yang signifikan.
4. Bangunan tingkat tinggi dan penurunan muka tanah di kota besar seperti Jakarta dan Bandung, dan peningkatan penggunaan daerah tangkapan air akan menaikkan risiko banjir.
5. Kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) mempengaruhi kondisi lingkungan sekitar dan mengarah pada konsekuensi negatif, termasuk semakin tingginya sedimentasi di waduk. Dampak yang ditimbulkan antara lain meningkatkan debit puncak limpasan di musim hujan dan mengurangi aliran di musim kemarau. Kondisi ini diperburuk dengan adanya perubahan iklim seperti perubahan curah hujan dan kejadian ekstrem.
6. Setelah desentralisasi, pengelolaan DAS menjadi kewajiban pemerintah daerah yang masih belum seoptimal pada saat dikelola oleh pemerintah pusat mulai dari perencanaan, operasional dan perawatan, serta pembiayaan proyek. Kondisi ini menyebabkan semakin memburuknya infrastruktur air dan mengurangi ketersediaan air untuk penggunaan yang produktif.

Rendahnya ketahanan air ini dapat dilihat dari 5 pilar ketahanan yang membebankan kerusakan lingkungan dan peluang ekonomi. Studi *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) menyatakan bahwa kerugian ekonomi terbesar berasal dari pasokan air minum yang tidak memadai dan sanitasi yang buruk. WHO memperkirakan kerugian ekomomi menjadi US$ 260 miliar per tahun, lebih dari dua kali lipat akibat kerusakan banjir sebesar US$ 120 miliar per tahun dan kekeringan sebesar US$ 94 miliar per tahun. Sebagian besar kerusakan terkait air, sanitasi dan kebersihan ini berada di Cina, India dan Indonesia. Kerugian ekonomi terhadap persentase GDP antara 0-2% terjadi di Cina, Indonesia, Republik Korea, Malaysia, Filipina dan Vietnam, sedangkan kerugian ekonomi terhadap persentase GDP sebesar 2-4% di Banglades, India dan Pakistan. Sementara persentase kerugian lebih dari 8% terjadi di Afganistan. Berdasarkan *National Water Security* (Asian Development Bank, 2016), Indonesia memiliki NSW Index 2 (dari skala 5) yaitu *ENGAGED* yang artinya

bahwa sudah lebih dari setengah jumlah penduduk memiliki akses ke fasilitas air minum dan sanitasi sederhana, pemberian layanan air bersih mulai berkembang, sumber daya air mendukung kegiatan ekonomi, telah dimulainya peningkatan kualitas air minum dan beberapa upaya dalam mengatasi bencana terkait air minum.

2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini

Berdasarkan Grand Design Reformasi Birokrasi 2010-2025 dan pelaksanaan Revolusi Mental yang disampaikan Presiden Joko Widodo, melalui pengawasan publik dan media yang intensif diharapkan aparat pemerintah akan meningkatkan integritas, netralitas, kompetensi dan kinerja profesional. Pemerintah pusat dan atau pejabat pemerintah daerah/lokal yang terlibat dalam pelaksanaan pengelolaan sumber daya air harus memiliki basis pengetahuan yang baik dan persepsi yang koheren tentang pengelolaan sumber daya air terpadu (IWRM – *Integrated Water Resources Management*).

Menurut visi jangka panjang 2005–2025 (Undang-Undang No. 17 Tahun 2007 tentang RPJP 2005-2025), peran pemerintah dimanifestasikan sebagai fasilitator, regulator, dan katalis pembangunan, yang meningkatkan efisiensi dan efektifitas layanan publik. Kegiatan pengelolaan sumber daya air dapat dilakukan melalui kerjasama yang saling menguntungkan antara pemerintah dengan dengan perusahaan milik negara dan milik lokal seperti mekanisme *Public Private Partnership* (PPP) ataupun Kerjasama Pemerintah Badan Usaha (KPBU). Untuk mencapai hal ini, pemerintah akan berupaya untuk mengembangkan Perum Jasa Tirta lebih lanjut dengan meningkatkan wilayah kerja Perum Jasa Tirta I untuk mengelola lebih banyak waduk dan meningkatkan transformasi organisasi DAS dengan perusahaan yang mengelola wilayah sungai (Asian Development Bank, 2016).

Untuk memperkuat desentralisasi dan otonomi daerah, maka diperlukan upaya yang konsisten dalam prosesnya. Pemerintah pusat perlu menindaklanjuti dengan penyediaan sumber daya dan aliran dana yang cukup untuk daerah. Selain itu, kompleksitas sistem harus dikurangi. Ini akan meningkatkan interaksi antara operator sumber daya dan operator ritel. Pemerintah pusat tetap bertanggung jawab atas layanan grosir, sedangkan pemerintah provinsi dan kabupaten bertanggung jawab atas layanan ritel.

Dalam jangka pendek dan menengah, pemerintah harus mengembangkan perjanjian berbagai peran untuk menghilangkan duplikasi kegiatan dan anggaran. Dalam jangka panjang, pemerintah perlu membangun sinergi dan integrasi program-program utama (seperti rencana untuk mengembangkan bendungan baru dan tambahan area irigasi) dengan rencana manajemen strategis sektor dan regional (Pola). Dewan sumberdaya air termasuk sekretariat mereka (umumnya di Balai Besar Wilayah Sungai – BBWS), serta rencana alokasi air tahunan yang legal, perlu diperkuat.

Perbaikan dan pengembangan Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air perlu dilakukan dalam waktu dekat dengan membuat peraturan turunan tentang standar, pedoman, dan prosedur. Selain itu, semua peraturan yang ada terkait dengan pengelolaan sumber daya air perlu diselaraskan untuk memastikan bahwa revisi Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 mengarah pada perbaikan hukum. Persiapan dan pembentukan hukum dan peraturan harus diselesaikan pada tahun 2024 sehingga dapat berkontribusi pada pelaksanaan *Grand Design* Reformasi Birokrasi 2010–2025.

2.3. Tantangan Sektor Air Terkait Perubahan Iklim

Salah satu dampak dari perubahan iklim yaitu berubahnya curah hujan di suatu wilayah. Perubahan yang mungkin terjadi umumnya terkait dengan perubahan dari karakteristik statistik curah hujan, misalnya pada berubahnya pola musiman, pergeseran musim, perubahan datangnya awal musim baik musim hujan atau musim kemarau, atau pada karaktersitik curah hujan harian seperti semakin

meningkatnya kejadian ekstrem. Di dalam kaji ulang RAN-API, pendekatan *downscaling* statistik adalah salah satu metode yang digunakan selain metode dinamis. Hasil dari *downscaling* tersebut ditujukan untuk analisis perubahan curah hujan rata-rata (klimatologi) bulanan dan analisis statistik lainnya pada periode 15-tahunan di masa depan yang disesuaikan dengan periode yang telah disepakati bersama (Bappenas, 2018).

Hasil skenario proyeksi menunjukkan adanya kecenderungan perubahan pola siklus curah hujan musiman rata-rata. Secara umum, menunjukkan lebih dominannya kecenderungan terjadinya persentase penurunan curah hujan pada hampir semua bulan. Perubahan paling terlihat terutama pada saat terjadi musim kemarau pada bulan Juli dan Agustus yang menunjukkan persentase penurunan curah hujan yang cukup besar. Hal ini mengindikasikan adanya potensi kekeringan yang akan semakin meningkat pada musim kemarau di masa yang akan datang. Pada beberapa skenario, persentase penurunan curah hujan yang cukup besar terjadi pada periode musim transisi di bulan September, Oktober dan November pada hampir seluruh periode yang dianalisis, kecuali pada bulan Oktober periode 2031-2045 untuk skenario RCP4.5. Penurunan persentase curah hujan di periode transisi dapat menjadi indikasi awal adanya kecenderungan musim kemarau yang lebih panjang dari biasanya atau terjadinya pergeseran pola hujan musiman khususnya tren semakin lambat datangnya awal musim hujan. Nilai persentase perubahan disajikan pada Tabel 1-1 (Bappenas, 2018).

Tabel 1-1 Persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari rataan wilayah di seluruh Indonesia untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relative terhadap curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai Curah Hujan (CH) dihitung dari nilai median 24 GCM CMIP5

Bulan	2020-2034				2031-2045				2086-2100			
	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5
Jan	-2.9	-1.4	-1.4	0.5	0.3	0.8	-1.8	-1.1	0.2	-3.0	1.5	-4.9
Feb	-2.8	-0.4	-1.1	-1.1	-0.9	-0.7	-2.1	-0.9	1.3	1.9	3.0	-4.2
Mar	-2.9	0.2	-1.1	-0.8	-1.0	0.4	-1.9	0.0	-0.8	0.9	0.2	-3.5
Apr	-0.1	-0.7	0.8	-0.2	-0.2	3.0	-1.1	0.8	0.5	-0.7	4.3	-0.9
Mei	-2.1	-0.7	-1.0	-0.4	-1.1	1.3	-2.0	-1.5	0.2	-4.3	0.8	-1.7
Jun	-1.7	-2.1	-2.0	-0.8	-1.6	1.0	0.2	-3.2	1.1	-5.2	-3.9	-0.7
Jul	-10.2	-5.0	-3.8	-2.4	-5.1	-3.5	-4.5	-5.5	-4.7	-7.2	-4.5	-20.8
Agu	-6.3	-4.8	-4.3	-4.0	-4.6	-3.5	-9.1	-4.7	-10.5	-2.0	-5.9	-7.8
Sep	-9.8	-5.8	-10.7	-4.8	-6.0	-3.1	-9.0	-6.7	-14.0	-6.4	-4.2	-10.4
Okt	-10.4	-4.9	-6.2	-2.2	-3.2	1.3	-4.9	-8.4	-6.8	-10.9	-3.7	-3.0
Nov	-6.8	-2.7	-5.8	-1.6	-1.7	-0.1	-2.5	-4.0	-4.6	-10.8	-10.2	-6.3
Des	-1.7	-1.6	-2.4	-1.2	-0.5	0.1	-0.8	-0.5	0.0	-3.9	-0.9	-5.1
Tahunan	**-4.6**	**-1.8**	**-3.8**	**-0.3**	**-1.0**	**-0.4**	**-3.6**	**-1.8**	**-3.8**	**-0.7**	**-1.6**	**-2.0**

CH rata-rata skenario lebih rendah dari baseline observasi

CH rata-rata skenario lebih tinggi dari baseline observasi

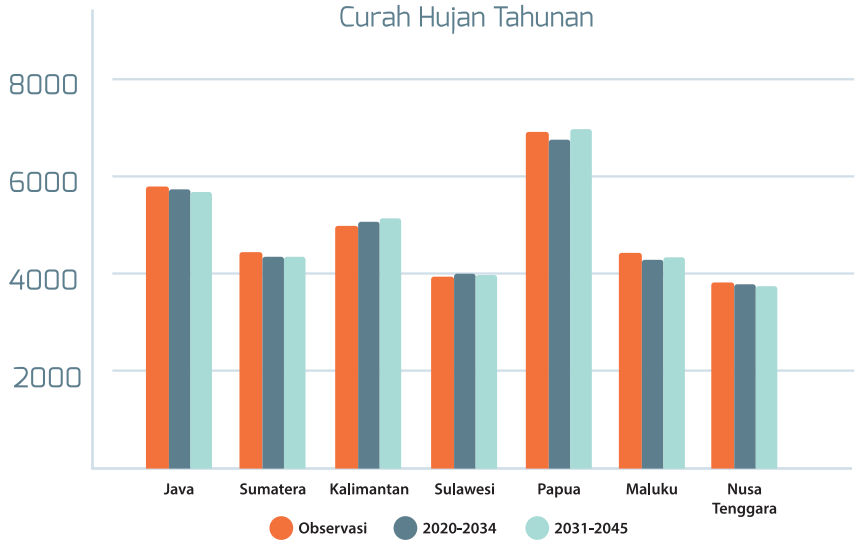
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR AIR

3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Sektor Air

Bencana pada sektor air terdiri atas penurunan ketersediaan air (*water shortage*), kekeringan (*drought*) dan banjir (*flood*) yang dapat mempengaruhi capaian ketahanan air. Batas lingkup kajian adalah wilayah pulau yang terdiri atas beberapa provinsi. Kerangka analisis yang dapat menjelaskan ketiga bencana tersebut adalah dengan menggunakan neraca air (*water balance*) yang memberikan gambaran adanya (a) pengaruh iklim seperti curah hujan dan suhu baik pada kondisi baseline (1995-2010) maupun proyeksi (2020-2034 dan 2030-2045) serta (b) pengaruh non-iklim seperti kondisi tata guna lahan (*landuse*), geologi dan DEM (*digital elevation model*). Kedua faktor yang memberikan pengaruh tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan aliran air permukaan langsung (*direct run-off*), aliran dasar (*base flow*) dan total aliran permukaan (*total run off*) dengan menggunakan pendekatan statistik. Secara rinci alur dalam melakukan kajian tersebut diperlihatkan dalam Gambar 1-1 di atas.

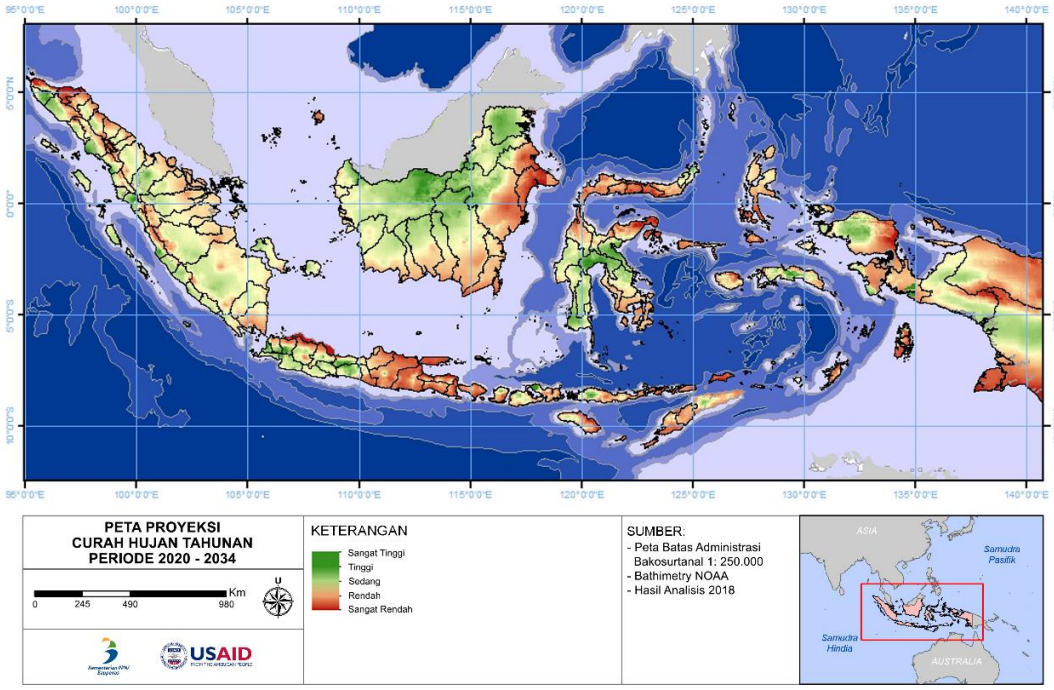
3.2. Gambaran Bahaya Iklim Sektor Air

Bencana pada sektor air ini dapat mempengaruhi ketahanan air nasional, seperti akibat penurunan ketersediaan air dapat mengganggu pencapaian target pemenuhan kebutuhan air untuk rumah tangga (*household water security*). Oleh karena itu, penggunaan data iklim untuk memberikan gambaran kebencanaan terkait sektor air di masa mendatang disesuaikan dengan pendekatan statistik yang akan digunakan dalam memberikan gambaran gangguan (*disturbance*). Dalam pemodelan penurunan ketersediaan air menggunakan data curah hujan tahunan yang di gambarkan untuk setiap pulau seperti pada Gambar 1-3 di bawah ini.



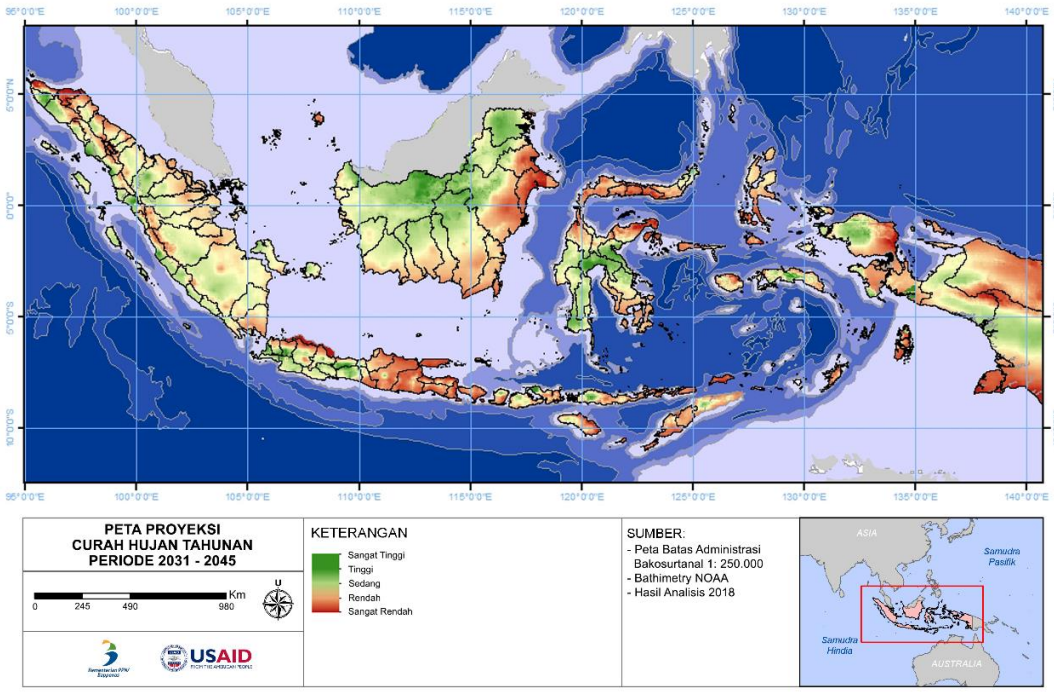
Gambar 1-3 Perbandingan curah hujan tahunan pada kondisi baseline (observasi) dan proyeksi (2020-2034 dan 2031-2045)

Pada Gambar 1-3 dapat dilihat penurunan curah hujan tahunan terjadi hampir di seluruh pulau baik pada periode proyeksi 2020-2034 maupun 2031-2045 di kisaran 1-4% dari kondisi baseline, kecuali di Kalimantan dan Sulawesi. Curah hujan tahunan di Papua akan menurun 2% pada periode proyeksi 2020-2034 namun meningkat 2% pada periode proyeksi 2031-2045. Gambaran setiap pulau dari curah hujan bulanan proyeksi periode 2020-2034 dan 2031-2045 dijelaskan dalam Gambar 1-4.

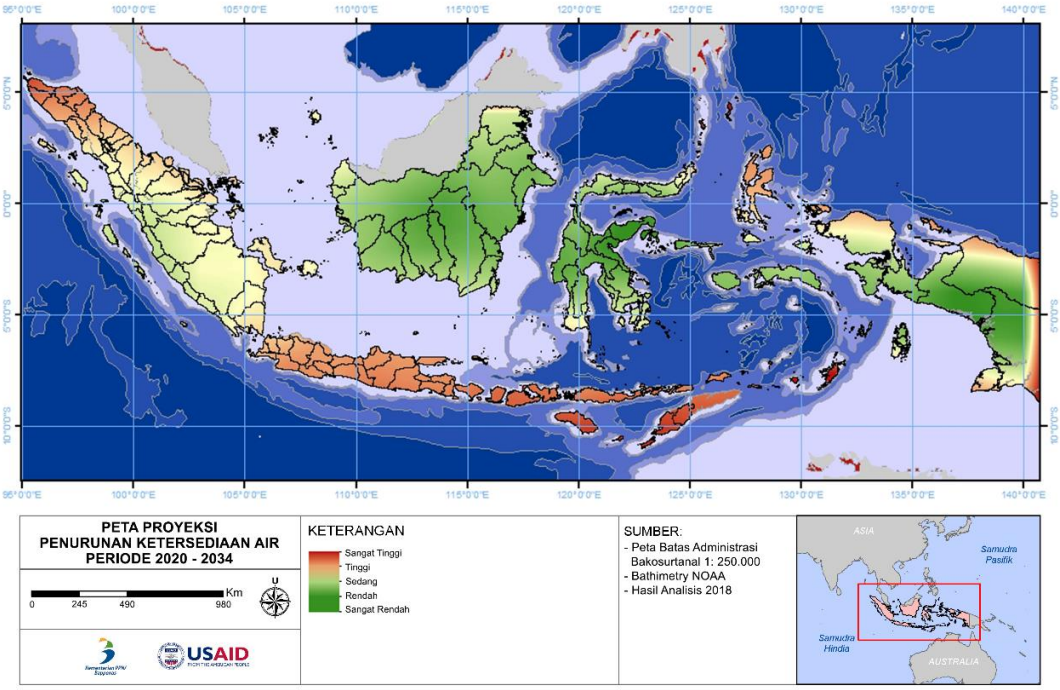


Gambar 1-4 Peta proyeksi curah hujan tahunan periode 2020-2034

Gambar 1-4 di atas menunjukkan proyeksi curah hujan tahunan periode 2020-2034. Beberapa daerah mengalami curah hujan rendah seperti pada bagian utara Pulau Sumatera, timur Pulau Jawa dan Pulau Kalimantan, utara Pulau Sulawesi, beberapa bagian Pulau Nusa tenggara, Pulau Maluku, dan Pulau Papua. Gambar 1-5 merupakan proyeksi curah hujan tahunan pada periode 2031-2045.

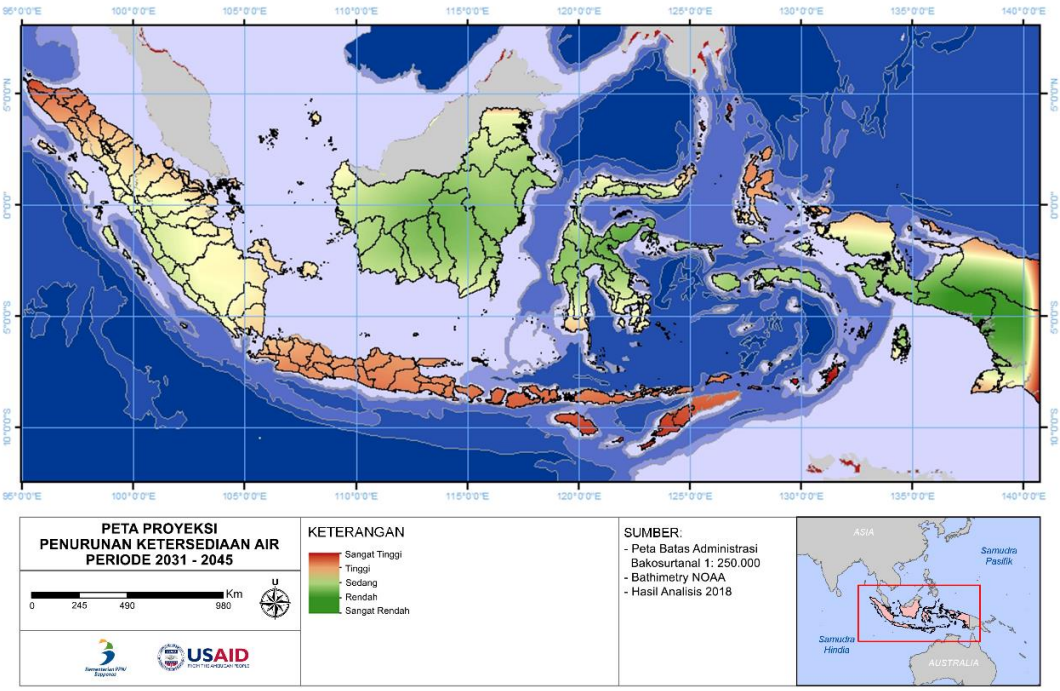


Gambar 1-5 Peta proyeksi curah hujan tahunan periode 2031-2045



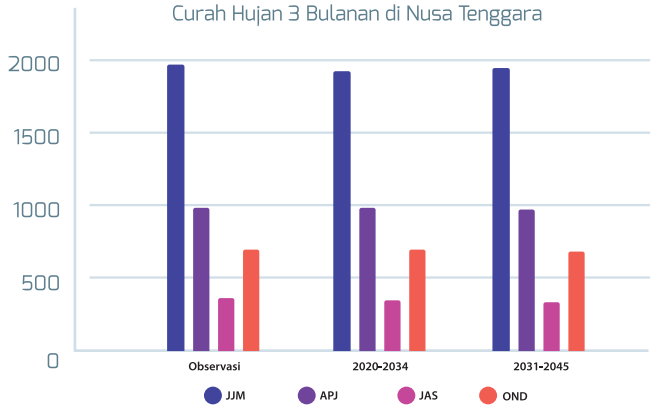
Gambar 1-6 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air periode 2020-2034

Gambar 1-6 menunjukkan proyeksi penurunan ketersediaan air pada periode 2020-2034 dan Gambar 1-7 untuk periode 2031-2045. Dapat dilihat pada periode 2020-2034, bagian utara Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Pulau Bali, dan Nusa Tenggara memiliki nilai penurunan ketersediaan air tinggi hingga sangat tinggi. Namun, pada tahun 2031-2045 terjadi penurunan ketersediaan air pada keseluruhan lokasi.



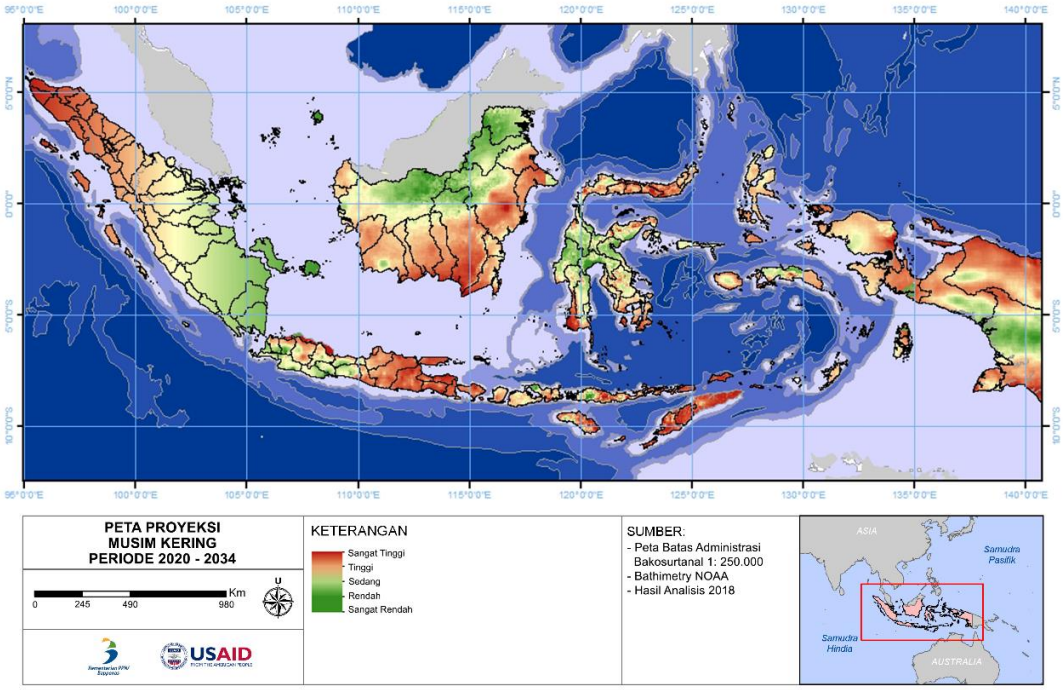
Gambar 1-7 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air periode 2031-2045

Untuk mengetahui potensi kekeringan di wilayah Indonesia, maka digunakan data curah hujan minimum tiga bulanan di periode proyeksi 2020-2034 dan periode proyeksi 2031-2045 di setiap wilayah pulau di Indonesia. Sebagai gambaran dalam mengetahui potensi bahaya kekeringan dilakukan analisis pada setiap pulau, seperti contohnya untuk wilayah Nusa Tenggara pada periode proyeksi 2020-2034.



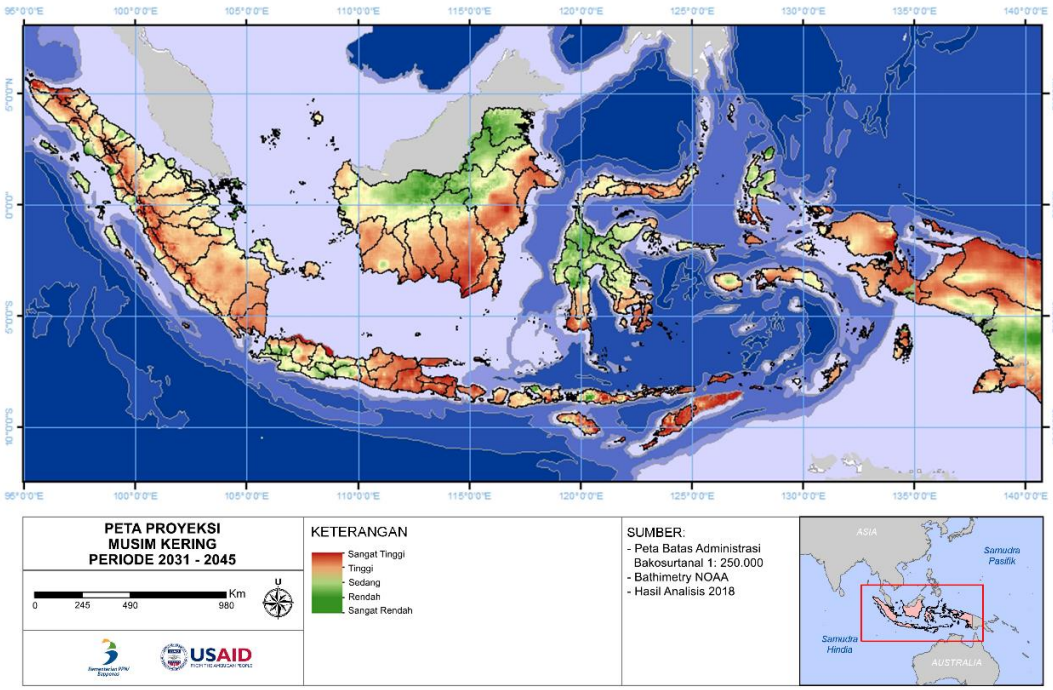
Gambar 1-8 Curah hujan 3 bulanan di wilayah Nusa Tenggara

Gambar 1-8 di atas memberikan gambaran bahwa meskipun penurunan curah hujan tahunan di wilayah Nusa Tenggara tidak cukup signifikan (2%) pada periode proyeksi 2020-2034, perbedaan curah hujan pada 3 bulan basah dan 3 bulan kering sangat signifikan sehingga memberikan gambaran potensi kekeringan yang terjadi. Metode yang sama dilakukan untuk seluruh wilayah Indonesia, sehingga dapat digambarkan potensi kekeringan untuk seluruh wilayah Indonesia dengan mempertimbangkan proyeksi musim kering.



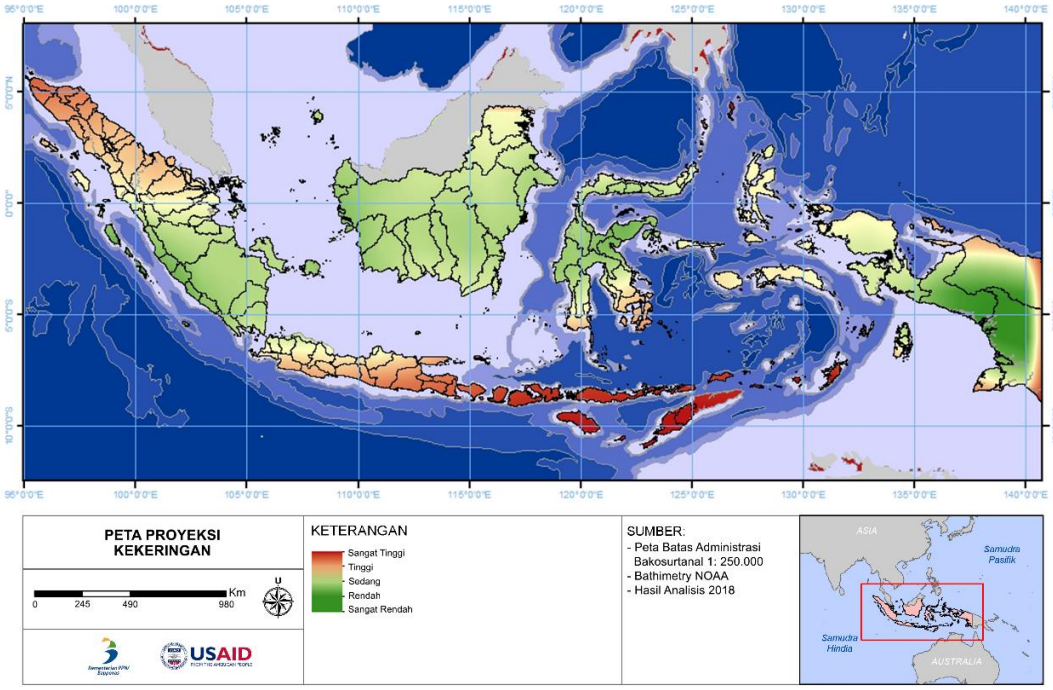
Gambar 1-9 Peta proyeksi musim kering periode 2020-2034

Gambar 1-9 merupakan pemodelan proyeksi musim kering periode 2020-2034. Pulau yang pada pemodelan sebelumnya memiliki curah hujan yang cukup rendah, memiliki nilai proyeksi musim kering yang tinggi.



Gambar 1-10 Peta proyeksi musim kering periode 2031-2045

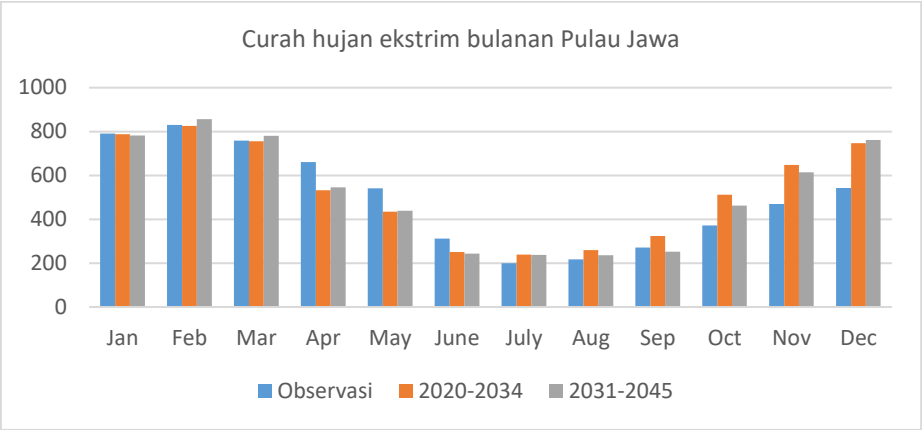
Gambar 1-10 merupakan peta proyeksi musim kering pada periode 2031-2045. Jika dilihat secara keseluruhan, pada proyeksi 2031-2045 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pada tahun 2020-2034.



Gambar 1-11 Peta proyeksi kekeringan periode 2020-2034

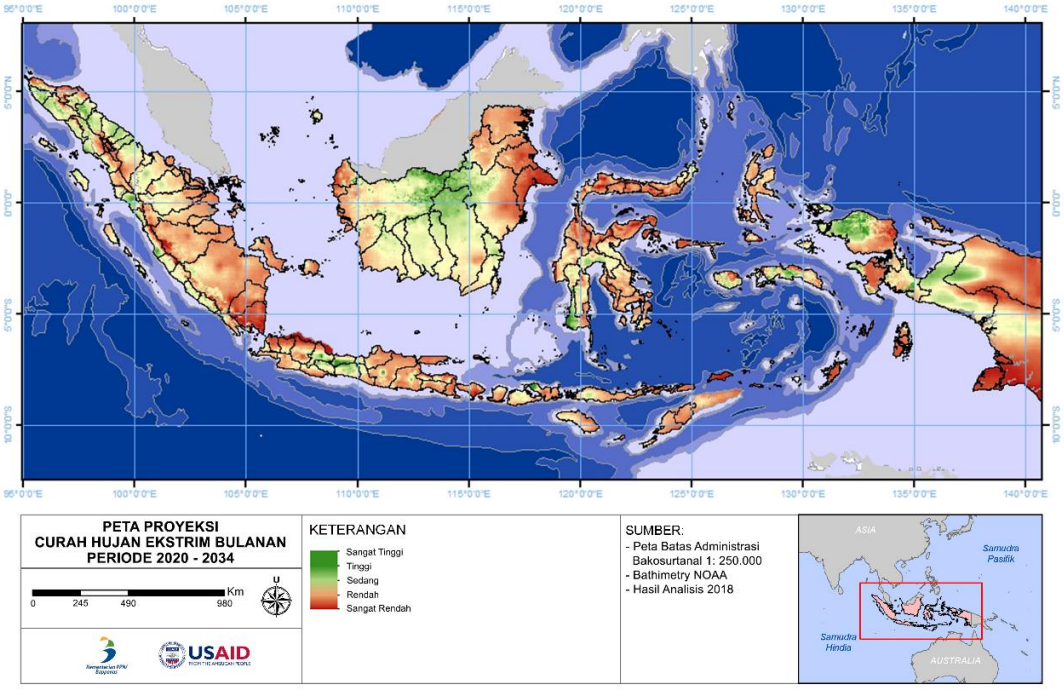
Berdasarkan Gambar 1-11 dapat dilihat bahwa potensi kekeringan terjadi hampir di seluruh wilayah Indonesia sebagai akibat dari variabilitas curah hujan 3 bulanan. Bahaya kekeringan ini akan memberikan pengaruh pada ketahanan air untuk rumah tangga akibat berkurangnya suplai air PDAM

dan ketahanan ekonomi yang dapat menimbulkan potensi konflik air karena kebutuhan air untuk pertanian, industri dan energi.



Gambar 1-12 Curah hujan maksimum bulanan di Pulau Jawa pada periode historis dan proyeksi

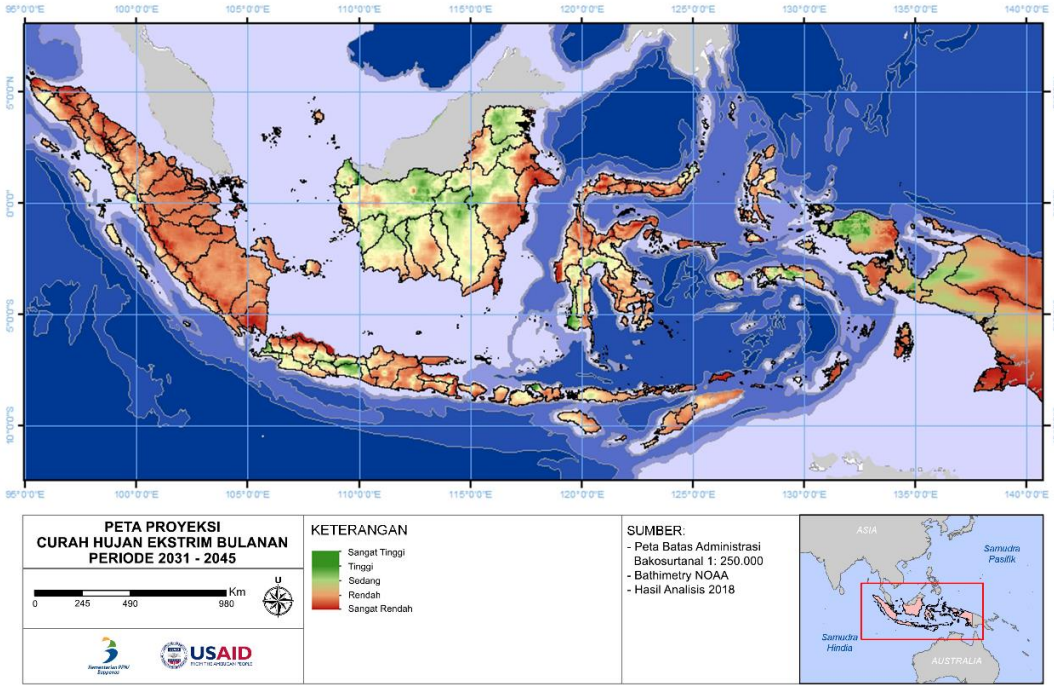
Analisis bahaya banjir dilakukan dengan menggunakan data curah hujan maksimum bulanan baik pada periode proyeksi 2020-2034 dan 2031-2045 di Pulau Jawa, seperti Gambar 1-12. Pada gambar 1-12 menunjukkan perubahan curah hujan maksimum yang cukup siginifkan pada bulan September sampai dengan Desember baik pada periode proyeksi 2020-2034 maupun 2031-2045. Hal ini menunjukkan bahwa potensi banjir di Pulau Jawa akan meningkat pada periode tersebut yang akan mempengaruhi ketahanan air di perkotaan serta bencana banjir di beberapa wilayah sungai. Dengan menggunakan metoda yang sama, maka dilakukan analisis untuk seluruh wilayah Indonesia. Hasil distribusi curah hujan maksimum bulanan pada periode 2020-2034 ditunjukkan pada Gambar 1-13. Hampir di seluruh lokasi di Indonesia memiliki curah hujan maksimum bulanan yang rendah.



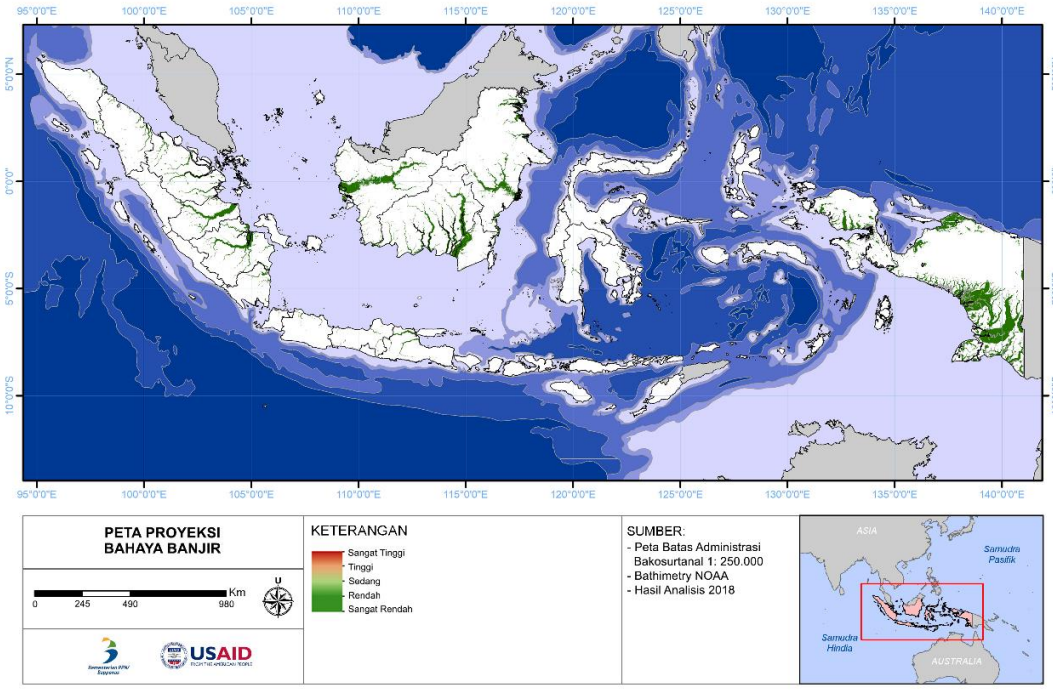
Gambar 1-13 Peta proyeksi curah hujan maksimum bulanan periode 2020-2034

Proyeksi curah hujan bulanan ekstrem pada periode 2031-2045 diperlihatkan pada Gambar 1-14. Hasil proyeksi menunjukkan nilai curah hujan ekstrem bulanan yang lebih rendah daripada proyeksi tahun

2020-2034, dengan wilayah sebaran yang hampir sama. Sementara itu, wilayah Kalimantan juga diprediksi akan memiliki curah hujan bulanan ekstrem yang sedang hingga tinggi, kecuali di daerah-daerah pesisir yang diprediksi rendah hingga sangat rendah.



Gambar 1-14 Peta curah hujan maksimum bulanan periode 2031-2045



Gambar 1-15 Peta potensi bahaya banjir periode 2020-2034 dengan mengacu pada ICCSR (2010)

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif diperlukan informasi yang lebih detail seperti curah hujan maksimum harian, sehingga dapat memberikan informasi tidak hanya lokasi banjir, tetapi juga besaran dan luasan, serta peluang kejadian banjir dalam periode proyeksi. Adapun potensi

bencana banjir dengan mengacu pada ICCSR tahun 2010 tidak mengalami banyak perubahan seperti diperlihatkan pada Gambar 1-15.

3.3. Bahaya Iklim Sektor Air per Wilayah

Berdasarkan ketersediaan data perubahan curah hujan rata-rata tahunan di masa mendatang untuk wilayah Indonesia dan 7 wilayah ekoregion yang dihitung terpisah dan diperlihatkan pada Tabel 1-2, maka analisis bahaya iklim untuk setiap wilayah ekoregion adalah bahaya penurunan ketersediaan air.

Tabel 1-2 Persentase perubahan curah hujan tahunan dari rataan di seluruh wilayah Indonesia dan 7 wilayah ekoregion terpisah, untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan (CH) rata-rata observasi periode 1995-2005. Nilai CH dihitung dari median 24 GCM CMIP5

Wilayah	2020-2034				2031-2045				2086-2100			
	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5	RCP-2.6	RCP-4.5	RCP-6.0	RCP-8.5
Indonesia	-4.6	-1.8	-3.8	-0.3	-1.0	-0.4	-3.6	-1.8	-3.8	-0.7	-1.6	-2.0
Sumatera	-4.2	-3.0	-1.4	-1.1	-0.7	-1.6	-3.6	-1.7	-2.0	-4.2	-1.1	-6.8
Jawa-Bali	-5.7	-3.9	-6.2	-1.1	-2.1	-5.2	-1.0	-1.5	-1.9	-1.3	-2.3	-4.1
Kalimantan	-2.3	-1.2	-1.6	0.6	1.3	-1.2	-0.3	0.4	-3.1	-1.2	0.4	-2.6
Sulawesi	-5.8	-2.2	-5.1	1.0	-1.9	-0.9	-1.8	-1.2	-4.8	-2.6	-0.9	-2.9
Papua	-6.6	-2.6	-2.3	-1.5	3.5	8.5	-2.9	-5.8	-5.4	-3.0	-2.8	7.1
Nusa Tenggara	-3.4	-1.5	-6.8	-0.6	-2.1	-3.7	-0.9	1.3	-0.4	-3.4	-3.5	-2.0
Maluku	-3.0	0.8	-2.2	-1.4	0.7	10.2	-1.0	0.2	-2.2	1.1	1.2	21.0

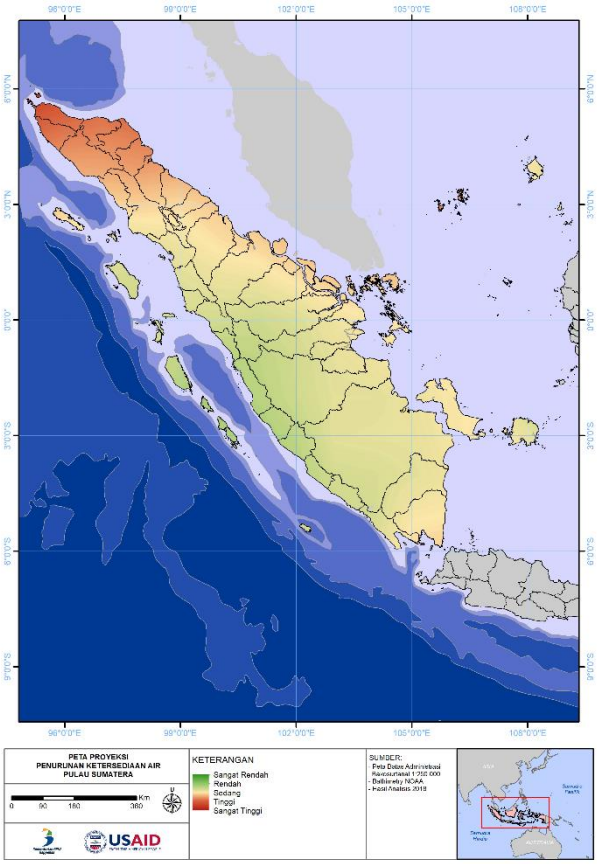
CH rata-rata skenario lebih rendah dari baseline observasi

CH rata-rata skenario lebih tinggi dari baseline observasi

Tabel 1-2 secara umum menunjukkan adanya dominasi kecenderungan penurunan persentase curah hujan tahunan di masa mendatang di wilayah Indonesia secara umum dan pada masing-masing wilayah secara khusus. Di antara ketujuh wilayah yang dianalisis, wilayah bagian tengah dan timur Indonesia seperti Kalimantan, Sulawesi, Papua, Nusa Tenggara dan Maluku merupakan wilayah yang menunjukkan adanya potensi peningkatan curah hujan tahunan di masa mendatang. Wilayah Maluku merupakan wilayah yang paling banyak menunjukkan peningkatan persentase curah hujan dari seluruh kemungkinan pasangan skenario dan periode di masa depan. Sementara itu, untuk Indonesia bagian barat diproyeksikan akan cenderung mengalami penurunan curah hujan (Bappenas, 2018).

3.3.1. Wilayah Sumatera

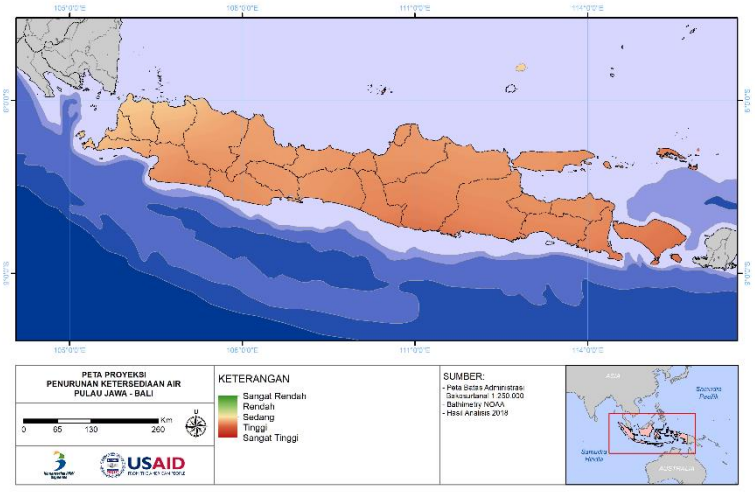
Seperti diperlihatkan pada Tabel 1-2, curah hujan rata-rata di wilayah Sumatera akan mengalami penurunan rata-rata -3,0 terhadap kondisi baseline pada periode proyeksi 2020-2034 dengan Skenario RCP4.5. Berdasarkan data tersebut, maka dilakukan analisis penurunan ketersediaan air di wilayah Pulau Sumatera. Berdasarkan hasil analisis ketersediaan air tersebut, hampir keseluruhan Pulau Sumatera Gambar 1-16 mengalami penurunan yang tinggi, sebagai akibat dari penurunan jumlah curah hujan tahunan.



Gambar 1-16 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Sumatera

3.3.2. Wilayah Jawa-Bali

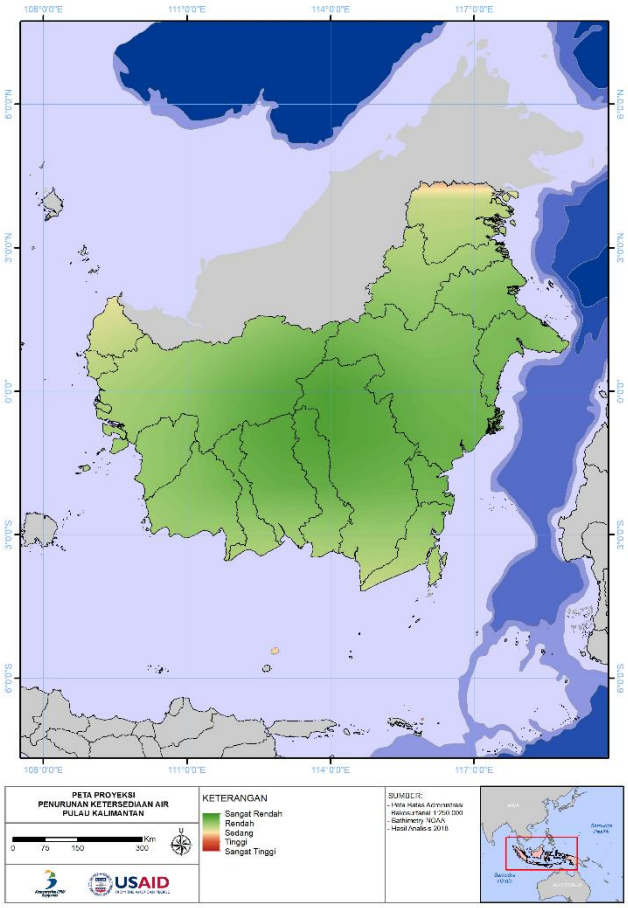
Gambar 1-17 merupakan peta proyeksi penurunan ketersediaan air di Pulau Jawa dan Bali. Dapat dilihat bahwa di seluruh lokasi memiliki penurunan ketersediaan air yang sangat tinggi. Pulau Jawa mengalami penurunan persentase curah hujan yang paling besar yaitu -3,9 (Tabel 1-2) dari kondisi historis pada periode 2020-2034 dengan Skenario RCP4.5. Kondisi penurunan ketersediaan air di Pulau Jawa akan sangat tinggi jika dibandingkan dengan pulau lainnya di Indonesia.



Gambar 1-17 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Jawa dan Bali

3.3.3. Wilayah Kalimantan

Pada Tabel 1-2 diperlihatkan bahwa perubahan curah hujan tahunan rata-rata di Wilayah Kalimantan akan mengalami penurunan sebesar -1,2 pada periode 2020-2034 dengan Skenario RCP 4.5.

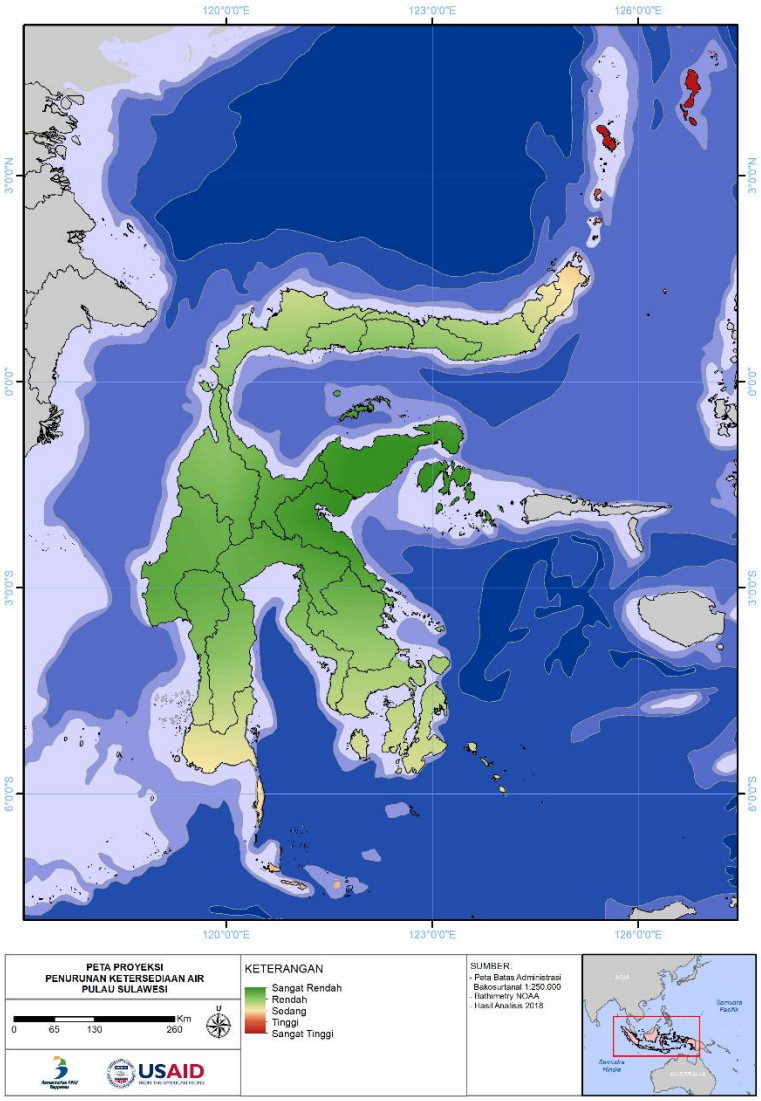


Gambar 1-18 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Kalimantan

Gambar 1-18 merupakan peta proyeksi penurunan ketersediaan air di Pulau Kalimantan. Pada bagian tengah Pulau Kalimantan memiliki penurunan ketersediaan air yang cenderung rendah. Hanya diujung timur dan selatan pulau yang memiliki nilai penurunan kertersediaan air yang cenderung tinggi.

3.3.4. Wilayah Sulawesi

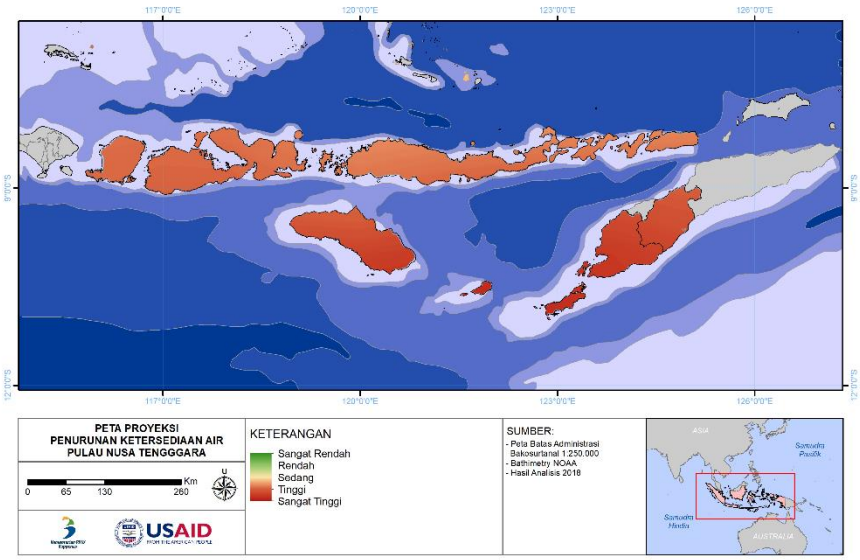
Gambar 1-19 merupakan peta proyeksi penurunan ketersediaan air di Pulau Sulawesi. Wilayah Sulawesi akan mengalami penurunan curah hujan rata-rata tahunan pada periode proyeksi 2020-2034 dengan Skenario RCP4.5 sebesar -2,2 (Tabel 1-2) tetapi hal tersebut tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan ketersediaan air di wilayah ini. Namun demikian, bahaya penurunan ketersediaan air cukup tinggi terjadi di pulau-pulau kecil terutama di bagian utara Sulawesi.



Gambar 1-19 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Sulawesi

3.3.5. Wilayah Nusa Tenggara

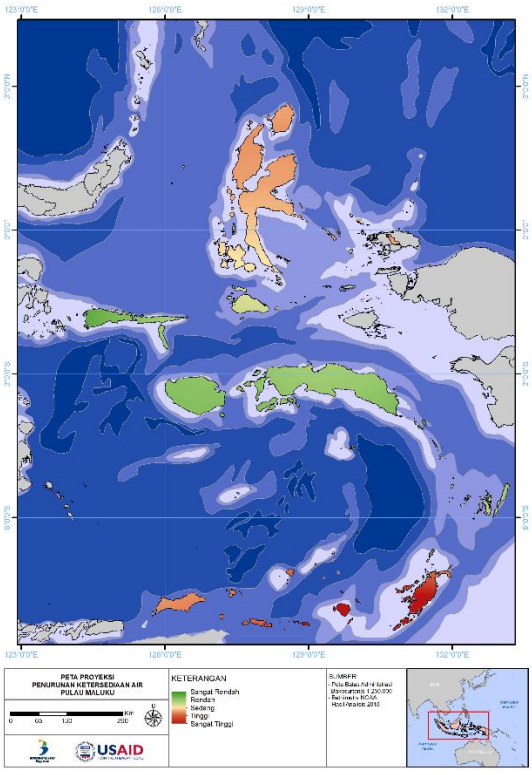
Gambar 1-20 merupakan peta proyeksi penurunan ketersediaan air di Pulau Nusa Tenggara. Dapat dilihat bahwa di seluruh lokasi memiliki penurunan ketersediaan air yang sangat tinggi. Wilayah Nusa Tenggara dikenal sebagai daerah yang memiliki curah hujan minimal dibandingkan wilayah lain di Indonesia. Meskipun penurunan jumlah curah hujan tahunan rata-rata di wilayah ini sebesar -1,5 dibandingkan kondisi baseline, namun akan mengakibatkan bahaya penurunan ketersediaan air yang cukup besar pada periode proyeksi 2020-2034 (Tabel 1-2).



Gambar 1-20 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Pulau Nusa Tenggara

3.3.6. Wilayah Maluku

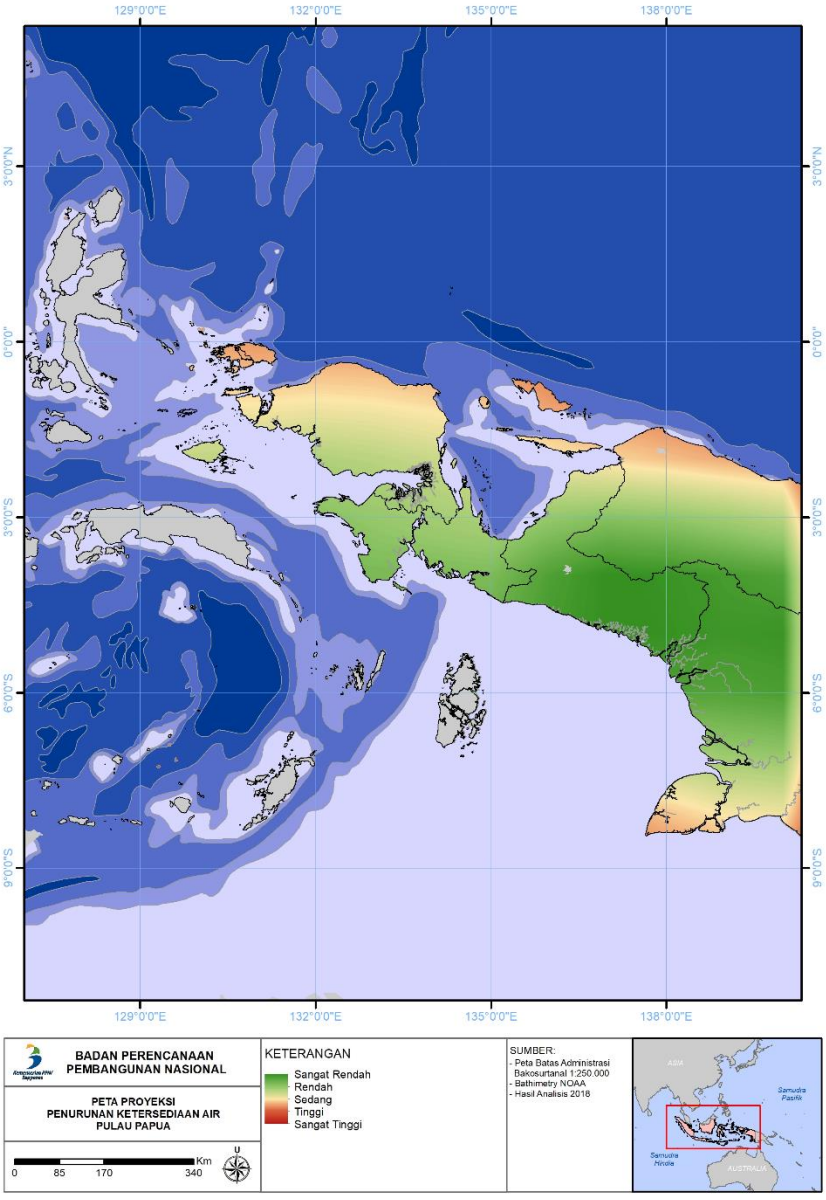
Gambar 1-21 merupakan peta proyeksi penurunan ketersediaan air di Kepulauan Maluku. Dapat dilihat bahwa di seluruh lokasi memiliki penurunan ketersediaan air yang sangat tinggi. Wilayah Maluku akan mengalami kenaikan perubahan curah hujan rata-rata tahunan sebesar 0,8 pada periode proyeksi 2020-2034 (Tabel 1-2) dan data ini kemudian digunakan untuk pemodelan penurunan ketersediaan air di wilayah tersebut.



Gambar 1-21 Peta proyeksi ketersediaan air di Wilayah Maluku

3.3.7. Wilayah Papua

Besarnya persentase penurunan jumlah hujan rata-rata tahunan untuk wilayah Papua adalah -2,6 pada periode proyeksi 2020-2034 dengan Skenario RCP4.5 dibandingkan dengan kondisi baseline 1991-2005 (Tabel 1-2). Berdasarkan data tersebut maka dilakukan pemodelan penurunan ketersediaan air di Wilayah Papua seperti diperlihatkan pada Gambar 1-22. Dapat dilihat bahwa hampir di seluruh lokasi memiliki penurunan ketersediaan air cenderung rendah. Hanya pada bagian selatan Pulau Papua memiliki nilai yang cenderung tinggi.



Gambar 1-22 Peta proyeksi penurunan ketersediaan air Wilayah Papua

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

Bahaya pada sektor air akibat perubahan iklim dapat diidentifikasi adalah penurunan ketersediaan air, banjir dan kekeringan. Pada proyeksi 2020-2034 hampir seluruh wilayah Indonesia akan mengalami penurunan jumlah curah hujan tahunan rata-rata sebesar -1,8 dibandingkan pada kondisi baseline dengan skenario RCP4.5. Penurunan jumlah curah hujan tahunan ini berkisar antara -1,2 sampai -3,9 di berbagai wilayah di Indonesia dimana Wilayah Jawa-Bali akan mengalami penurunan ketersediaan air sangat tinggi. Wilayah Maluku meskipun mengalami kenaikan jumlah curah hujan tahunan, namun di beberapa wilayah mengalami penurunan ketersediaan air pada level sedang.

Ketidaktersediaan data proyeksi iklim ekstrem baik untuk ekstrem basah maupun ekstrem kering, akan memberikan informasi bahaya banjir dan kekeringan dengan tingkat kepercayaan sedang. Proyeksi kedua bahaya ini didasarkan pada curah hujan bulanan maksimal di atas 95 persen untuk banjir dan curah hujan 3 bulanan minimal di bawah 15 persen untuk kekeringan. Oleh karena itu, informasi data proyeksi iklim tersebut diperlukan untuk meningkatkan akurasi dari pemodelan bahaya banjir dan kekeringan.

Penanganan bahaya sektor air dapat dilakukan dengan mengacu pada 5 pilar ketahanan air yaitu ketahanan air rumah tangga, ketahanan air ekonomi, ketahanan air perkotaan, ketahanan air lingkungan dan ketahanan terhadap bahaya air. Berdasarkan hal tersebut maka rekomendasi pengelolaan sumberdaya air dapat dikelompokkan dalam:

a. Pengelolaan sumber daya air untuk meningkatkan ketersediaan air dalam memenuhi kebutuhan air untuk rumah tangga dan ekonomi (pertanian, industri dan energi). Dalam pemenuhan kebutuhan air untuk rumah tangga misalnya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Direktorat Jenderal Cipta Karya telah mengeluarkan Norma, Standar, Prosedur dan Kriteria (NSPK) untuk Pengembangan Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum yang merupakan turunan dari Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum yang merupakan tanggung jawab Pemerintah Daerah. Namun karena terbatasnya sumber daya manusia pada pemerintah daerah maka masih membutuhkan bantuan teknis dari Pemerintah Pusat dalam Penyusunan Kelayakan Investasi Sistem Penyediaan Air Minum di wilayahnya. Penyediaan kebutuhan air bersih di Indonesia pada umumnya berasal dari sumur dangkal (29,2%), sumur dalam (24,1%) dan pemipaan air bersih (PDAM) (19,7%). Untuk di daerah perkotaan, pada umumnya rumah tangga menggunakan air tanah dalam (32,9%) dan PDAM (28,6%), sedangkan di pedesaan pada umumnya menggunakan sumur dangkal (32,7%) (Asian Development Bank, 2016).
b. Pengelolaan sumber daya air untuk pengurangan risiko bencana terkait iklim baik di perkotaan (*urban water* security) maupun ketahanan masyarakat dalam menghadapi bahaya sektor air (*resilience to water related-disaster*).
c. Pengelolaan sumber daya air untuk peningkatan kualitas lingkungan melalui mekanisme imbal jasa lingkungan (*environmental water security*)

5. DAFTAR PUSTAKA

Asian Development Bank. (2013). Asian Water Development Outlook 2013: Measuring water security in Asia and the Pasific. Asian Development Bank, Philippines.

Asian Development Bank. (2016). Asian Water Development Outlook 2016: Strengthening water security in Asia and The Pasific. Asian Development Bank, Philippines.

Asian Development Bank. (2016). Indonesia: Country water assessment. Asian Development Bank, Philippines.

Bappenas. (2010). Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap: water and infrastructure sector. Bappenas, Jakarta.

Bappenas. (2018). Kajian Basis Ilmiah: Proyeksi Iklim Atmosferik untuk Kaji Ulang RAN API 2018. Bappenas, Jakarta, 51 hal.

Gruber, S., dan Peckham, S. (2008). Land-surface parameters and objects in hydrology. Geomorphometry: concept, software and application. s.l.:Elsevier, p. 765..

Rasmussen, R., Ikeda, K., Liu, C., Gochis, D., Clark, M., Dai, A., Gutmann, E., Dudhia, J., Chen, F., Barlage, M., dan Yates, D. (2014). Climate change impacts on the water balance of the Colorado headwaters: high-resolution regional climate model simulations. *Journal of Hydrometeorology*, *15*(3), 1091-1116.

BAB 2
SEKTOR KELAUTAN

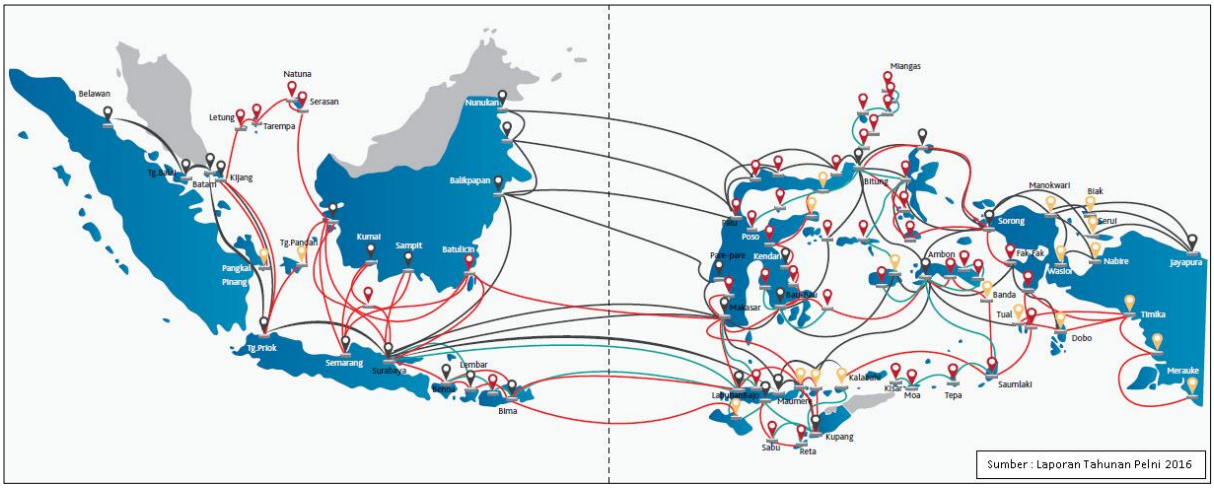
1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

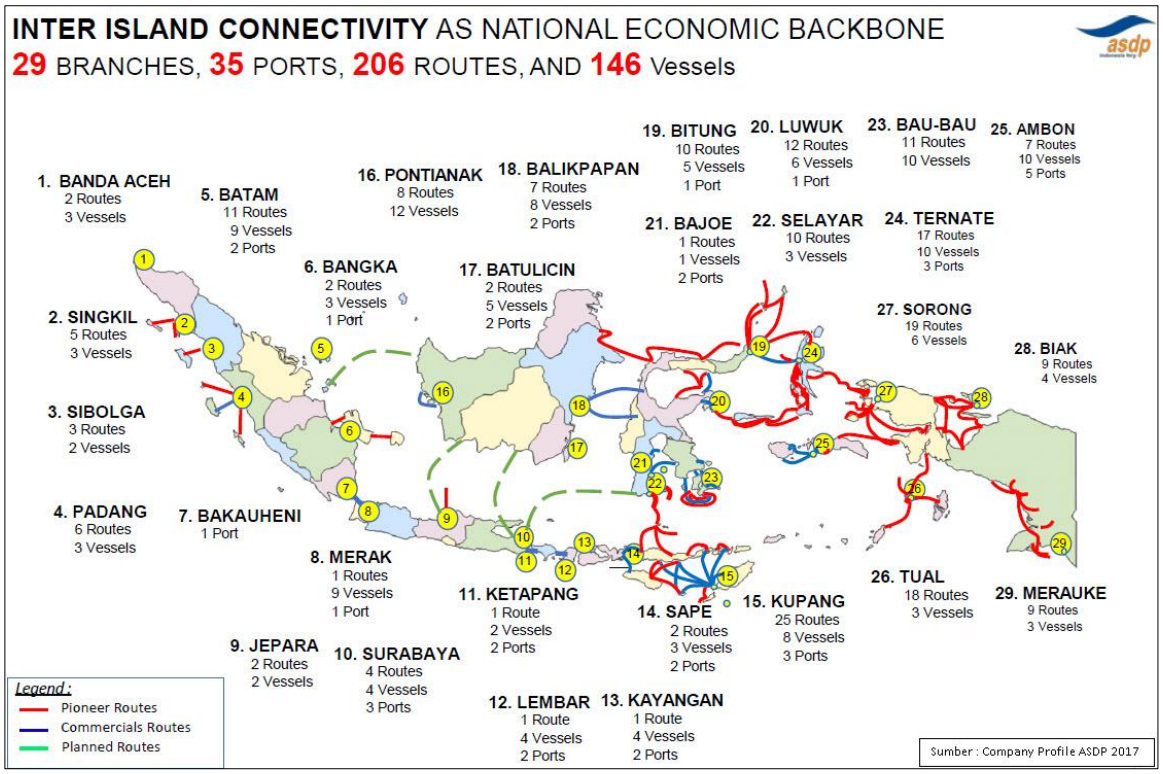
Peningkatan suhu udara permukaan merupakan parameter utama dalam isu perubahan iklim, yang erat kaitannya dengan peningkatan CO_2 dan gas-gas rumah kaca lainnya. Hasil pengamatan dari beberapa stasiun di Indonesia selama periode 100 tahun mengindikasikan telah terjadi perubahan iklim di Indonesia. Data suhu dari stasiun tersebut menunjukkan terjadinya kenaikan suhu sebesar 0,5°C di abad ke 20. Besaran kenaikan suhu ini sejalan dengan kenaikan suhu global yang ditulis dalam IPCC AR-4, yaitu sebesar 0,7°C ± 0,2°C setiap abadnya.

Naiknya suhu permukaan laut merupakan akibat langsung dari peningkatan suhu udara permukaan. Berdasarkan analisis tren data historis, kenaikan suhu permukaan laut di Indonesia diperkirakan akan meningkat sebesar 0,65°C tahun 2030, 1,1°C tahun 2050, 1,7°C tahun 2080, dan 2,15°C di tahun 2100. Perubahan suhu permukaan laut dan suhu udara dapat merubah kondisi lingkungan laut serta mempengaruhi variabilitas iklimnya. Sebagai contoh, kejadian ENSO (La Nina dan El Nino) akan terjadi lebih sering, dari interval 3-7 tahun menjadi 2-3 tahun. Perubahan ini pada akhirnya akan menyebabkan berubahnya muka laut, iklim laut, serta memicu terjadinya badai/gelombang ekstrem. Perubahan variasi ENSO diyakini dapat memberikan perubahan tinggi gelombang sebesar 2-5 m.

Perubahan iklim yang menyebabkan perubahan tinggi gelombang, serta memicu terjadinya badai atau gelombang ekstrem berpotensi menimbulkan bahaya (*hazard*) pada sektor kelautan terutama bahaya yang berkaitan dengan keselamatan pelayaran. Cuaca ekstrem dan gelombang tinggi dapat membahayakan jalur dan area pelayaran, serta menghambat pelayaran kapal-kapal Indonesia. Keselamatan pelayaran ini dapat berkaitan dengan banyak sektor lain yang membutuhkan transportasi laut, seperti sektor perdagangan dan perikanan. Pelayaran laut merupakan bagian erat dari Kebijakan Kelautan Nasional (Perpres No. 16 Tahun 2017) yang menjadi tujuan pemerintah Indonesia dalam menjadi poros maritim dunia. Kebijakan kelautan nasional ini antara lain dituangkan dalam program Tol Laut, Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI), optimalisasi pelayaran PELNI (Gambar 2-1), optimalisasi pelayaran ASDP (Gambar 2-2) dan pelayaran kargo.

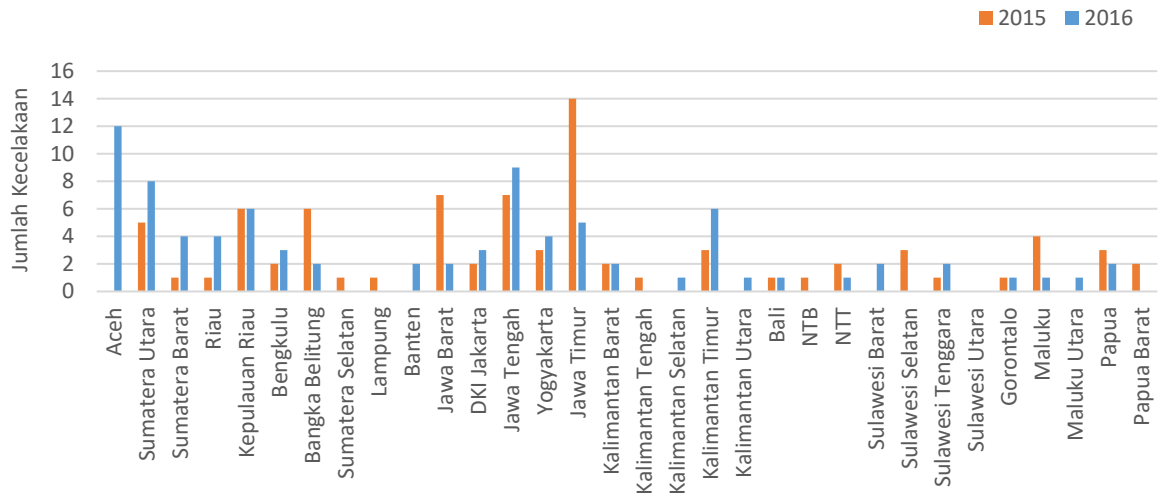


Gambar 2-1 Kondisi eksisting pelayaran kapal PELNI Indonesia



Gambar 2-2 Kondisi eksisting pelayaran dan penyeberangan ASDP Indonesia

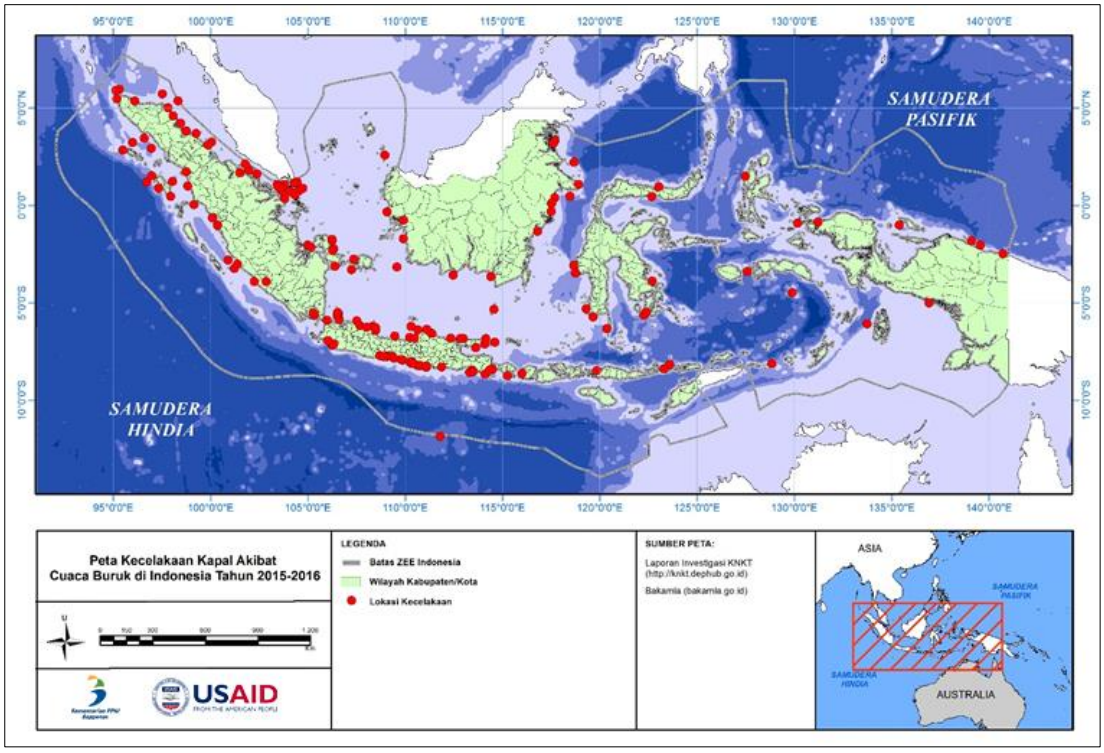
Perikanan tangkap juga berkaitan erat dengan perubahan iklim, salah satu dampak paling cepat dari naiknya suhu udara permukaan laut dan suhu permukaan laut adalah menghilangnya atau berpindahnya daerah tangkapan ikan dari wilayah perairan di Indonesia. Selain itu, tingkat keamanan pelayaran kapal ikan tangkap juga berpotensi untuk terganggu oleh gelombang tinggi. Perubahan iklim yang dapat meningkatkan frekuensi kejadian cuaca ekstrem dan tinggi gelombang pada suatu perairan berpotensi menambah bahaya kecelakaan pelayaran kapal ikan terutama bagi kapal-kapal dengan ukuran di bawah 10 GT. Dengan demikian perubahan iklim berpotensi mengurangi jumlah tangkapan ikan di Indonesia. Data jumlah kecelakaan kapal di Indonesia diperlihatkan pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3 Grafik kecelakaan kapal akibat cuaca buruk di Indonesia tahun 2015 dan 2016

Data yang dihimpun dari KNKT dan BAKAMLA untuk tahun 2015 dan 2016 (Gambar 2-3) memperlihatkan 165 kejadian kecelakaan di perairan Indonesia yang dipicu oleh cuaca buruk (angin kencang dan/atau gelombang yang tinggi). Dari 165 kapal yang mengalami kecelakaan, sebanyak 101 kecelakaan terjadi pada kapal nelayan. Jumlah kecelakaan kapal terbanyak terdapat di Jawa Timur pada tahun 2015 dan di Aceh pada tahun 2016. Kecelakaan kapal yang dipicu oleh cuaca lebih banyak terjadi di perairan Indonesia bagian barat daripada di perairan Indonesia bagian timur, hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas pelayaran maupun perikanan di wilayah Indonesia bagian barat.

Melihat banyaknya data kejadian kecelakaan kapal di perairan Indonesia yang dipicu oleh cuaca buruk (Gambar 2-4) maka bahaya akibat perubahan iklim pada sektor kelautan dapat dikaji salah satunya melalui keselamatan pelayaran, dengan pendekatan parameter gelombang laut ekstrem (*extreme ocean waves*). Kajian ini meliputi periode historis (analisis historis tahun 1990–2015) yang menggambarkan kondisi iklim gelombang perairan Indonesia saat ini dan periode proyeksinya yang merepresentasikan kondisi iklim gelombang perairan Indonesia yang akan datang (hingga tahun 2045) yang dapat disesuaikan untuk tujuan perencanaan pembangunan seperti RPJMN.



Gambar 2-4 Peta lokasi kecelakaan kapal akibat cuaca buruk di Indonesia pada tahun 2015-2016

Dalam catatannya pada tahun 1996, Prof.Dr. Hasjim Djalal sebagai Duta Besar Khusus Indonesia di Bidang Hukum Laut Internasional menyatakan bahwa isu bahaya perubahan iklim pada kelautan di Indonesia ini dapat menjadi salah satu konten yang perlu diperhatikan dalam konsepsi Benua Maritim Indonesia. Dengan konsep ini, laut-laut dalam batas wilayah NKRI yang berperan besar sebagai pemersatu pulau-pulau di dalamnya dapat menjadi pemisah pulau-pulau karena kondisi gelombang yang tinggi akibat perubahan iklim. Kondisi demikian mengakibatkan penyeberangan atau pelayaran antar pulau menjadi sulit untuk dilakukan, akibatnya pulau-pulau kecil menjadi terisolir dan semakin tertinggal dari pulau-pulau besar.

1.2. Tujuan dan Sasaran

Tujuan dari studi ini adalah melakukan kajian dampak perubahan iklim terhadap kondisi perairan Indonesia yang dikaitkan dengan keselamatan pelayaran dengan cara membuat proyeksi iklim gelombang (*wave climate*) perairan Indonesia hingga tahun 2045. Sasaran dari studi ini adalah membuat peta bahaya keselamatan pelayaran untuk kapal dengan berbagai ukuran (tonase).

1.3. Metode dan Pendekatan

Metode yang digunakan dalam kajian bahaya kelautan (*ocean hazard*) adalah menganalisis hasil simulasi model gelombang yang dilakukan dalam kajian Basis Ilmiah Rekonstruksi dan Proyeksi Iklim Laut. Model gelombang yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi iklim gelombang historis (*baseline*) perairan Indonesia adalah model WAVEWATCH III dengan input data angin CCMP, NOGAPS dan NAVGEM. Untuk memproyeksikan kondisi gelombang hingga tahun 2045 digunakan data angin luaran MRI-CGCM hingga 2045. Luaran model gelombang untuk kondisi historis (*baseline*) dan proyeksi tahun 2045 ini kemudian menjadi dasar analisis keselamatan pelayaran bagi kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia.

Peta iklim gelombang yang menunjukkan kisaran tinggi gelombang di perairan Indonesia untuk kondisi historis dan kondisi proyeksi dapat dijadikan dasar untuk membuat peta bahaya keamanan pelayaran bagi kapal-kapal berbagai ukuran. Untuk membuat peta bahaya keselamatan pelayaran terlebih dahulu perlu ditentukan tinggi gelombang aman untuk kapal-kapal dalam beberapa klasifikasi ukuran.

Zona pelayaran yang aman untuk kapal-kapal dalam beberapa klasifikasi ukuran dapat ditentukan berdasarkan peta iklim gelombang. Suatu perairan yang mempunyai tinggi gelombang yang rendah pada kondisi historis dan aman untuk dilalui oleh banyak jenis kapal dapat menjadi perairan yang tidak aman pada kondisi tahun proyeksi karena meningkatnya tinggi gelombang.

Tinggi gelombang suatu perairan dapat digunakan untuk menilai kelaikan pelayaran bagi suatu kapal dengan ukuran tertentu. Terdapat kisaran tinggi gelombang maksimum yang terkait dengan stabilitas kapal sebagai ukuran keamanan bagi kapal-kapal yang berlayar di laut. Suatu perairan dengan kondisi gelombang yang tinggi, dapat menjadi berbahaya untuk kapal yang mempunyai stabilitas rendah namun masih dapat dikatakan aman untuk kapal dengan stabilitas tinggi.

Tinggi gelombang aman ditentukan berdasarkan pada pengaruh penjalaran gelombang di badan kapal. Pengaruh gelombang pada badan kapal merupakan ukuran stabilitas kapal. Studi yang dilakukan oleh Biran tahun 2003 menunjukkan bahwa gelombang memberikan efek yang besar bagi stabilitas kapal yaitu ketika nilai panjang gelombangnya hampir sama dengan panjang kapal (LWL, *Length of Waterline*). Hubungan antara tinggi gelombang aman dan panjang kapal dirumuskan sebagai (Biran, 2003):

$$H \leq \frac{A}{10+0.05A} \tag{2-1}$$

dimana:
H : Tinggi gelombang laut yang aman
A : Panjang kapal yang diukur antara dua garis tegaknya yaitu tinggi depan (stem) hingga garis vertikal poros kemudi kapal (LPP/LWL)

Dengan menggunakan persamaan (2-1), tinggi gelombang aman dapat ditentukan berdasarkan dimensi panjang sebuah kapal. Dengan mengasumsikan bahwa hubungan panjang kapal dan bobot kapal adalah sebanding maka semakin panjang dimensi kapalnya, semakin besar pula bobot muatannya (*Gross Tonnage*). Dalam kajian ini, data eksisting terkait berbagai jenis kapal pelayaran di

Indonesia dikelompokkan dan dihitung batasan tinggi gelombang amannya, agar dapat ditentukan zona pelayaran yang aman bagi kapal-kapal tersebut saat berlayar di perairan Indonesia.

Kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia secara umum terdiri atas kapal ikan, kapal barang atau kargo dan kapal penumpang milik PELNI dan ASDP. PELNI dan ASDP adalah perusahaan pelayaran milik negara yang mengoperasikan kapal-kapal yang menghubungkan kota-kota pesisir Indonesia untuk mengangkut baik barang maupun penumpang. Menurut peruntukannya, kapal-kapal tersebut dapat dibedakan menjadi beberapa kelas. Kapal PELNI secara umum dapat dibedakan menjadi 4 kelas.

- PELNI 1000 Pax (1000 penumpang)
- PELNI 2000 Pax (2000 penumpang)
- PELNI 3000 Pax (3000 penumpang)
- PELNI Perintis

Kapal-kapal ASDP juga dapat dibedakan sesuai jalur penyeberangannya (jalur perintis ataupun jalur penyeberangan jauh). Sedangkan, kapal perikanan dibagi menjadi 5 kelas sesuai dengan Peraturan Menteri Kelautan Perikanan tahun 2016 (Permen KP No.71 tahun 2016).

- kapal tanpa motor;
- kapal motor berukuran sampai dengan 5 GT;
- kapal motor berukuran di atas 5 GT sampai dengan 10 GT;
- kapal motor berukuran di atas 10 GT sampai dengan 30GT; dan
- kapal motor berukuran di atas 30 GT.

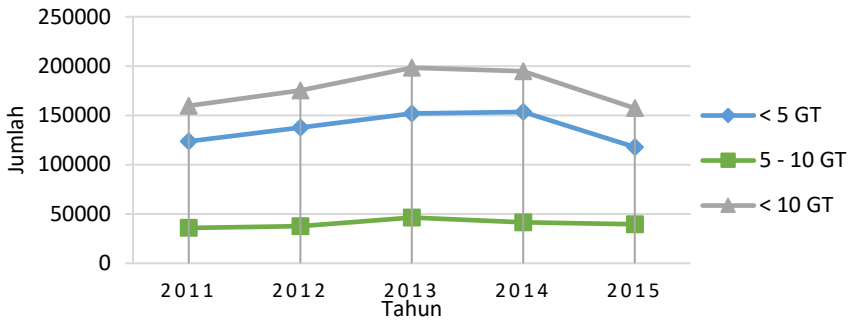
Jumlah kapal perikanan dengan berbagai ukuran berdasarkan data tahun 2011-2015 ditunjukkan pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Jumlah kapal perikanan laut menurut kategori dan ukuran kapal tahun 2011-2015 (Sumber: http://sidatik.kkp.go.id/dynamic_report)

Jumlah Perahu/Kapal Perikanan Laut Menurut Kategori dan Ukuran Kapal							
No	**Jenis Kapal**	**Ukuran**	2011	2012	2013	2014	2015
1	Kapal Motor - Inboard Motor		185.121	198.538	226.573	222.557	178.312
2	Perahu Motor Tempel - Outboard Motor		225.786	245.819	237.625	238.01	246.882
3	Perahu Tanpa Motor - Non Powered Boat		170.938	172.333	175.51	165.066	143.135
4	Ukuran Kapal Motor	< 5 GT	123748	137587	151939	153493	117848
5	Ukuran Kapal Motor	5 - 10 GT	35877	37694	46358	41374	39429
6	Ukuran Kapal Motor	10 - 20 GT	13201	11583	15208	14301	10515
7	Ukuran Kapal Motor	20 - 30 GT	8022	7611	8782	9578	7680
8	Ukuran Kapal Motor	30 - 50 GT	914	917	1074	1029	825
9	Ukuran Kapal Motor	50 - 100 GT	1801	1641	1727	1766	1435
10	Ukuran Kapal Motor	100 - 200 GT	1204	1167	1127	840	571
11	Ukuran Kapal Motor	> 200 GT	354	338	358	176	9

Dari Tabel 2-1 dapat dibuat grafik jumlah kapal perikanan dengan ukuran di bawah 5 GT, antara 5-10 GT, dan di bawah 10 GT seperti terlihat pada Gambar 2-5. Dari Gambar 2-5 dapat dilihat kapal perikanan dengan ukuran di bawah 10 GT pada tahun 2015 jumlahnya lebih dari 150.000 buah. Antara tahun 2013-2014 jumlahnya mencapai 200.000 kapal. Untuk menentukan tinggi gelombang aman bagi kapal-kapal yang berlayar di perairan Indonesia, dilakukan pengelompokan 4 ukuran kapal sebagai berikut:

- Kapal dengan ukuran di bawah 10 GT (kapal ikan dari kayu)
- Kapal dengan ukuran antara 10 GT dan 30 GT.
- Kapal dengan ukuran 30-5000 GT atau 30 GT hingga kelas kapal Perintis
- Kapal dengan ukuran di atas 5000 GT (kapal PELNI & ASDP).



Gambar 2-5 Jumlah kapal perikanan dengan ukuran di bawah 5 GT, antara 5-10 GT, dan di bawah 10 GT

Tabel 2-2 menunjukkan tinggi gelombang aman (yang dihitung berdasarkan persamaan (2-1)) untuk berbagai jenis kapal yang berlayar di perairan Indonesia yang dikelompokkan dalam 4 kelas.

Tabel 2-2 Tinggi gelombang yang aman bagi berbagai jenis-jenis kapal di Indonesia

KB	Klasifikasi	Sampel Kapal	*Load*	LOA	LPP	H	B
1	KM < 5 GT	LEISELA INDAH 10 (Fiber)	1	8.2	7.38	0.72	3
	KM < 5 GT	HASRAT (Kayu)	3	10	9	0.86	3
	KM 5 - 10 GT	CINTA MEKKAH 05 (Kayu)	6	12	10.8	1.03	4
2	KM 10 - 30 GT	TRIBUN TIMUR 01(Kayu)	14	16	14.4	1.34	4
	KM 10 - 30 GT	USAHA BERSAMA 33 (Kayu)	25	18.15	16.34	1.51	4
	KM > 30 GT	SOYO TAMBAH MAKMUR (Kayu)	91	24.6	22.14	1.99	4
3	Kapal Ikan Baja > 30 GT	IWAN JAYA TIGA (Besi/Baja)	275	45.28	40.75	3.38	6
	ASDP Perintis	KMP Namparnos	175	38.4	32.8	2.81	5
	ASDP Perintis	KMP Lakaan	750	56.02	48.82	3.93	6
	Perintis	KM Sabuk Nusantara 88	2000	68.5	61.65	4.71	7
	Pelni 500 Pax	KM Pangrango	2650	74	66.6	4.99	7
4	ASDP Max	KMP Legundi	5556	109.4	99.2	6.63	8
	Pelni 1000Pax	KM Leuser	6000	99.8	89.82	6.19	8
	Pelni 2000 Pax	KM Bukit Siguntang	14463	146.5	131.85	7.94	9
	Pelni 3000 Pax	KM Labobar	15136	146.3	131.67	7.94	9
	ASDP Max	KMP Port Link 3	15351	150.88	140.01	8.23	9

Keterangan:
KM : Kapal Motor
KB : Kelas Bahaya
Load : Daya tampung kapal dalam GT (Tonase kotor)
LOA : *Length Overall* (Panjang Kapal (meter))
LPP : *Length of Perpendicular* (Panjang lunas kapal (meter)), bila data LPP tidak tersedia maka diambil pendekatan LPP = 0.1*LOA
H : Tinggi gelombang aman (meter)
B : Skala *Beaufort*

2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR KELAUTAN

2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Kelautan

Dua sektor utama terkait perubahan iklim dalam sektor kelautan adalah sektor Perhubungan Laut dan Sektor Perikanan Tangkap. Sektor Perhubungan Laut berkaitan dengan keselamatan pelayaran sementara sektor Perikanan Tangkap berkaitan dengan jumlah tangkapan ikan. Cuaca ekstrem dan gelombang tinggi yang dipicu oleh perubahan iklim dapat membahayakan kapal-kapal yang berlayar di perairan Indonesia seperti kapal penumpang, kapal kargo dan kapal ikan. Di samping dampak perubahan iklim pada daerah penagkapan ikan (*fishing ground*) sektor perikanan tangkap sangat rentan terkena dampak kondisi cuaca ekstrem dan gelombang tinggi yang mengakibatkan terbatasnya keterjangkauan penakapan ikan di laut, terutama bagi kapal-kapal kecil di bawah 10 GT, sehingga jumlah tangkapan ikan menjadi berkurang. Permasalahan di sektor kelautan ditinjau dari sisi sektor perhubungan laut adalah meningkatnya jumlah kecelakaan kapal di perairan Indonesia akibat cuaca ekstrem dan gelombang tinggi yang dipicu oleh perubahan iklim global.

2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini

Lembaga-lembaga terkait dengan sektor kelautan adalah Kementerian Kelautan dan Perikanan, Kementerian Perhubungan, dan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Untuk mengatur operasi penangkapan ikan di perairan Indonesia, Kementerian Kelautan dan Perikanan telah mengeluarkan Peraturan Menteri No.71/Permen-kp/2016 tentang jalur penangkapan ikan dan penempatan alat penangkapan ikan di wilayah pengelolaan perikanan di Indonesia. Melaui Direktorat Lalu Lintas dan Angkutan Laut, Kementerian Perhubungan Laut telah menentukan alur pelayaran bagi kapal PELNI, ASDP, dan kapal kargo, serta membuat perumusan, pelaksanaan kebijakan, penyusunan norma, standar, prosedur dan kriteria di bidang lalu lintas dan angkutan laut. BMKG berperan dalam memberikan layanan prakiraan cuaca dan kondisi gelombang di perairan Indonesia yang dapat dijadikan acuan bagi kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Peningkatan ketelitian prakiraan cuaca dan kondisi gelombang di perairan Indonesia menjadi tugas penting bagi BMKG dalam meningkatkan perannya memperkecil jumlah kecelakaan kapal akibat cuaca di laut.

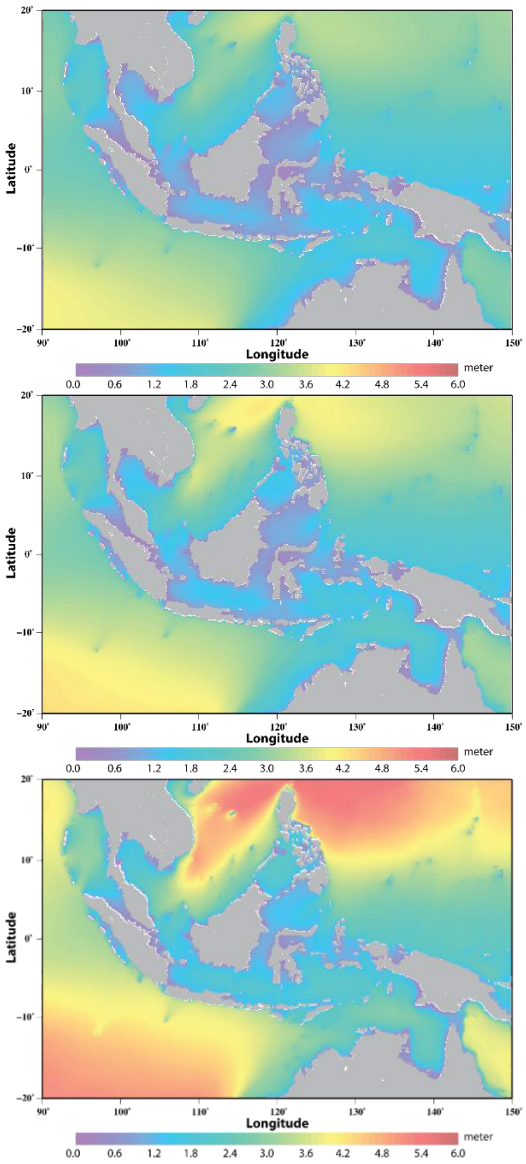
2.3. Tantangan Sektor Kelautan Terkait Perubahan Iklim

Cuaca ekstrem dan gelombang tinggi sangat berbahaya bagi kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Perubahan iklim yang meningkatkan frekuensi kejadian badai, yang menyebabkan terbentuknya gelombang ekstrem, berpotensi meningkatkan bahaya (*hazard*) pada sektor kelautan terutama bahaya yang berkaitan dengan keselamatan pelayaran. Tantangan sektor kelautan di masa depan, terkait perubahan iklim, antara lain bertambahnya tinggi gelombang yang berpotensi meningkatkan terjadinya kecelakaan kapal, terhambatnya pelayaran antar pulau dan terisolirnya pulau-pulau kecil terhadap pulau-pulau besar serta berkurangnya hari melaut bagi nelayan yang memiliki kapal dengan ukuran di bawah 10 GT.

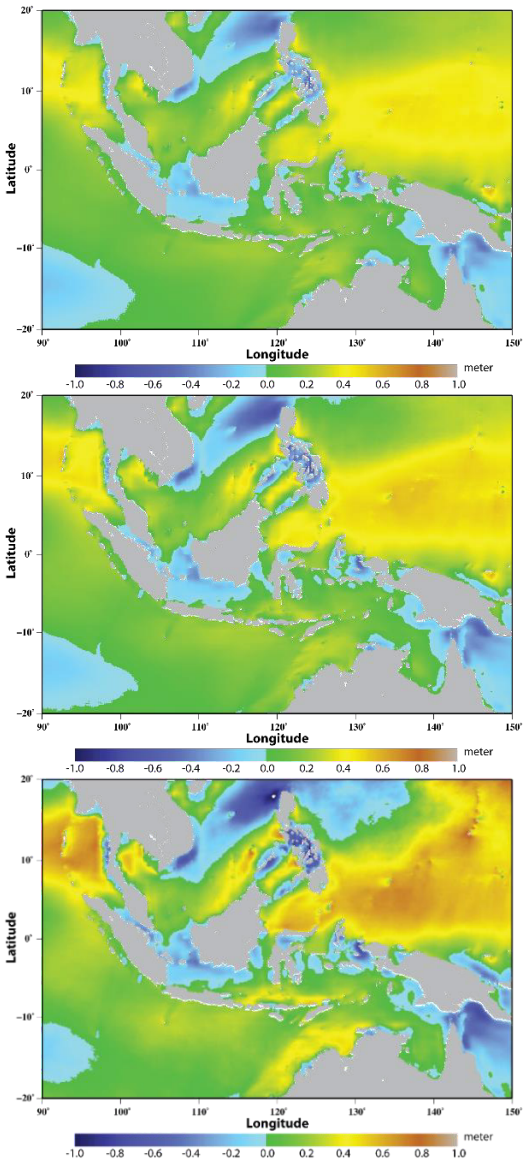
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR KELAUTAN

3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Sektor Kelautan

Kajian Basis Ilmiah Rekonstruksi dan Proyeksi Iklim Laut yang dilakukan telah menghasilkan peta gelombang ekstrem di perairan Indonesia untuk kondisi tahun historis (1990-2015) dan tahun proyeksinya (2006-2045) dengan 90, 95, dan 99 persentil (Gambar 2-6). Simulasi kondisi tahun historis tinggi gelombang ekstrem perairan Indonesia (1990-2015) (Gambar 2-6) menunjukkan 10% tinggi gelombang ekstrem lebih tinggi dari 3 m. Proyeksi tinggi gelombang ekstrem di Perairan Indonesia hingga tahun 2045 menunjukkan adanya pertambahan tinggi gelombang sebesar 0,2-1,0 m. Pertambahan tinggi gelombang ekstrem ini akan berdampak pada keselamatan dan efesiensi pelayaran (pemborosan penggunaan bahan bakar), serta meningkatkan risiko melaut bagi kapal nelayan yang berdampak pada penurunan hasil tangkapan ikan.



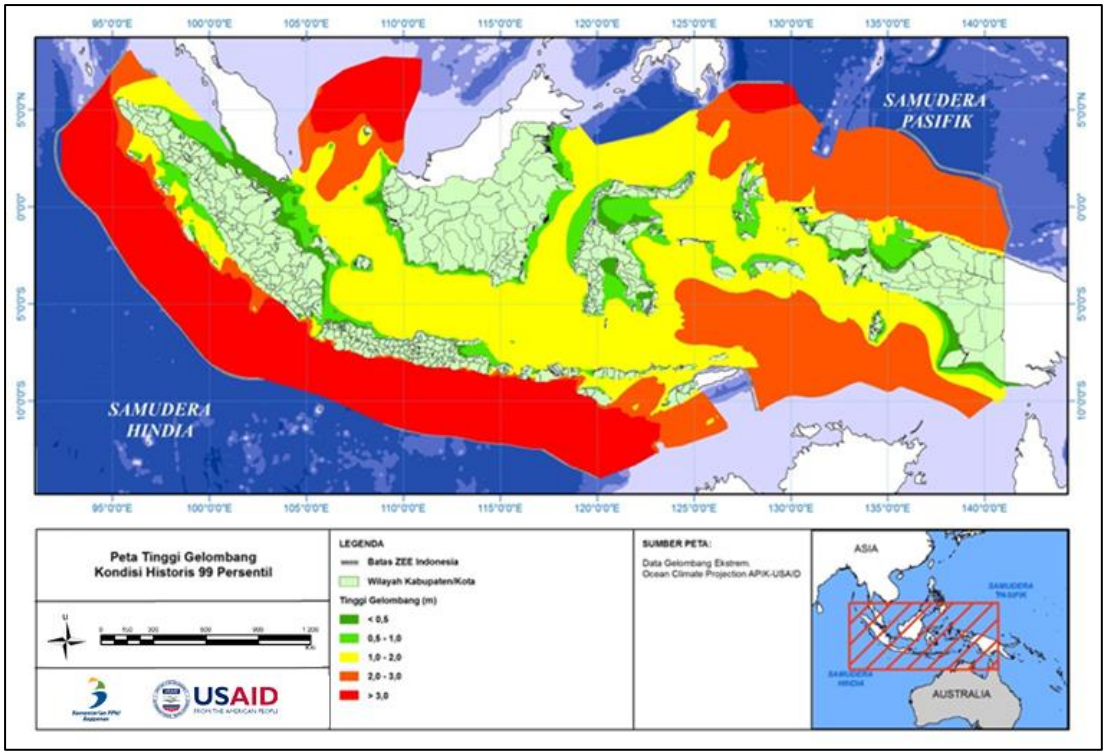
Peta Gelombang Ekstrem Periode Historis (1990-2015): persentil 90, 95, dan 99



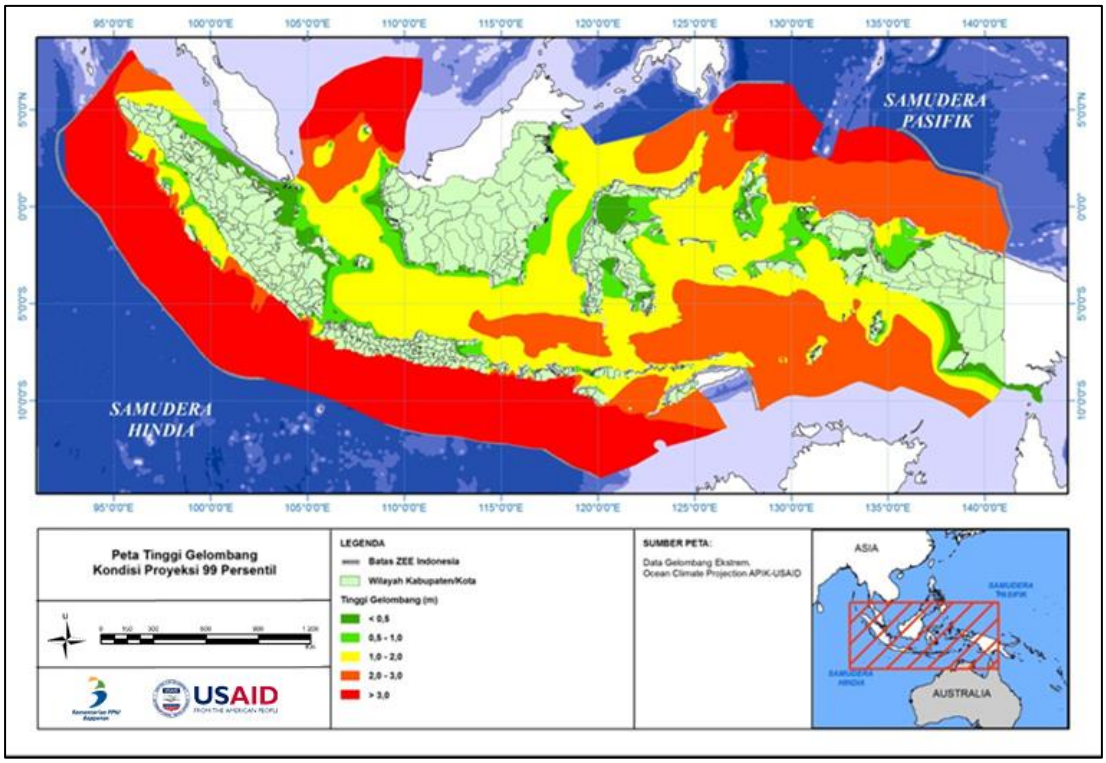
Peta Gelombang Ekstrem Proyeksi (2020-2045): persentil 90, 95, dan 95

Gambar 2-6 Peta gelombang ekstrem perairan Indonesia kondisi historis (1990-2015) dan proyeksi tahun 2045, 90, 95, dan 99 persentil (Kajian Basis Ilmiah Proyeksi Iklim Laut)

Hasil simulasi tinggi gelombang ekstrem untuk kondisi historis (1990-2015) dan proyeksinya hingga tahun 2045 diolah untuk mendapatkan peta bahaya iklim gelombang untuk keselamatan pelayaran untuk kondisi tahun historis dan proyeksi hingga tahun 2045 (99 persentil) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2-7.



(a) historis



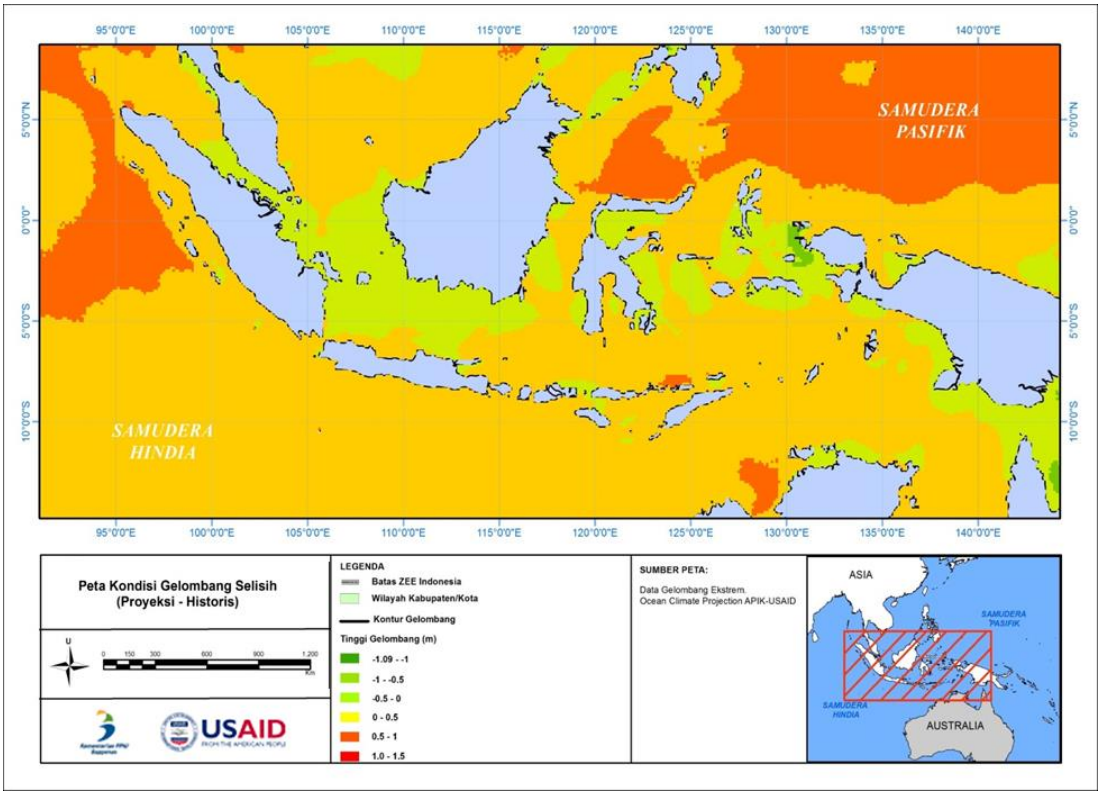
(b) proyeksi

Gambar 2-7 Peta bahaya iklim gelombang untuk keselamatan pelayaran (99 persentil) (a) kondisi historis dan (b) proyeksi hingga Tahun 2045 di Indonesia

3.2. Gambaran Bahaya Iklim Sektor Kelautan

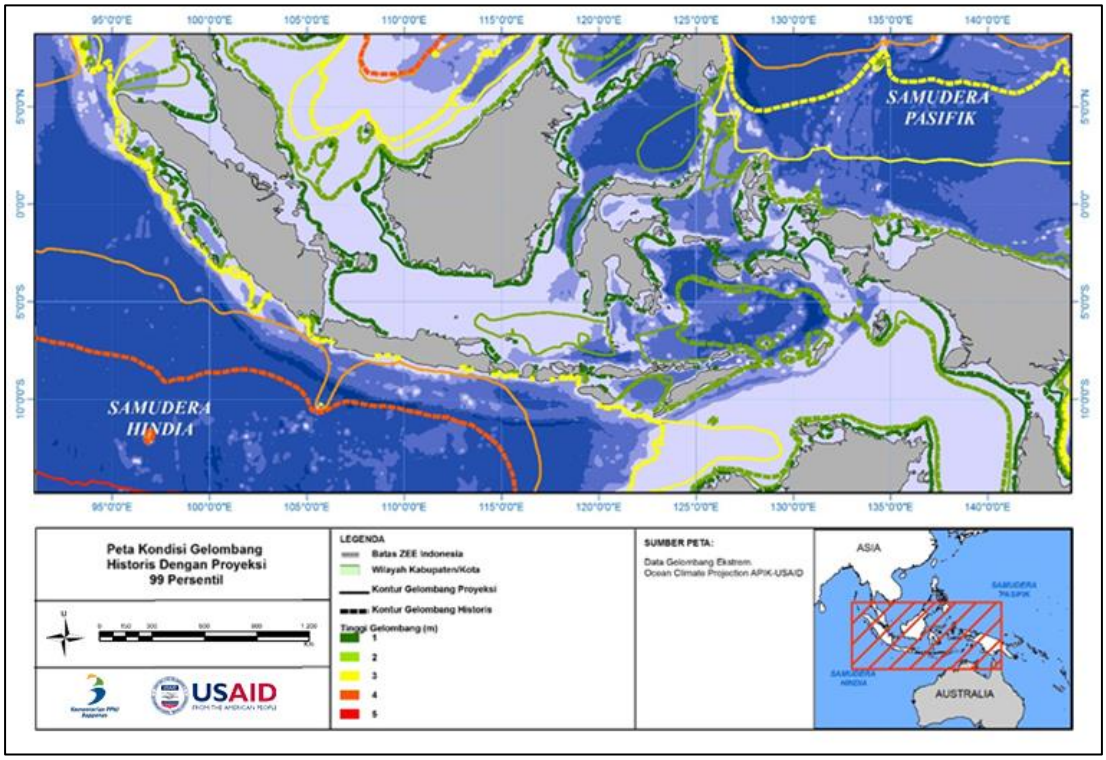
Gambaran bahaya iklim sektor kelautan dapat dilihat dari simulasi proyeksi iklim gelombang perairan Indonesia yang diturunkan dari simulasi proyeksi iklim hingga tahun 2045. Hasil simulasi iklim gelombang untuk kondisi historis (*baseline*) maupun proyeksinya, secara umum memperlihatkan perairan laut internal Indonesia terpapar oleh gelombang dengan tinggi antara 0-2 m, sedangkan area laut luar (Area ZEE) terpapar oleh gelombang dengan tinggi lebih dari 3 m (Gambar 2-7). Dampak perubahan iklim (proyeksi hingga tahun 2045) terhadap kondisi gelombang perairan Indonesia terlihat dari bertambahnya luasan perairan laut yang mempunyai gelombang tinggi dibandingkan dengan tahun historis. Kawasan perairan dengan tinggi gelombang ekstrem (2-3 m) meluas ke arah barat dari Laut Banda hingga Laut Flores (Gambar 2-7b). Daerah dengan tinggi gelombang ekstrem 2-3 m terlihat juga di perairan utara Flores hingga perairan utara Madura. Proyeksi tinggi gelombang juga menunjukkan daerah perairan Pasifik Barat Daya (perairan di utara Pulau Halmahera) dengan tinggi gelombang ekstrem lebih besar dari 3 m yang meluas ke selatan hingga mendekati Pulau Halmahera. Demikian pula terlihat di bagian selatan Laut Tiongkok Selatan, dengan tinggi gelombang lebih besar dari 3 m meluas hingga bagian selatan pulau Natuna.

Pertambahan tinggi gelombang perairan Indonesia akibat perubahan iklim yang merupakan selisih tinggi gelombang proyeksi terhadap tinggi gelombang historis diperlihatkan pada Gambar 2-8. Secara umum perubahan iklim mengakibatkan pertambahan tinggi gelombang sekitar 0,5 m terutama di perairan Indonesia bagian timur dan Lautan Hindia. Pertambahan tinggi gelombang yang cukup tinggi (0,5-1 m) terjadi di perairan utara Sulawesi, utara Seram, dan di perairan bagian barat Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat.



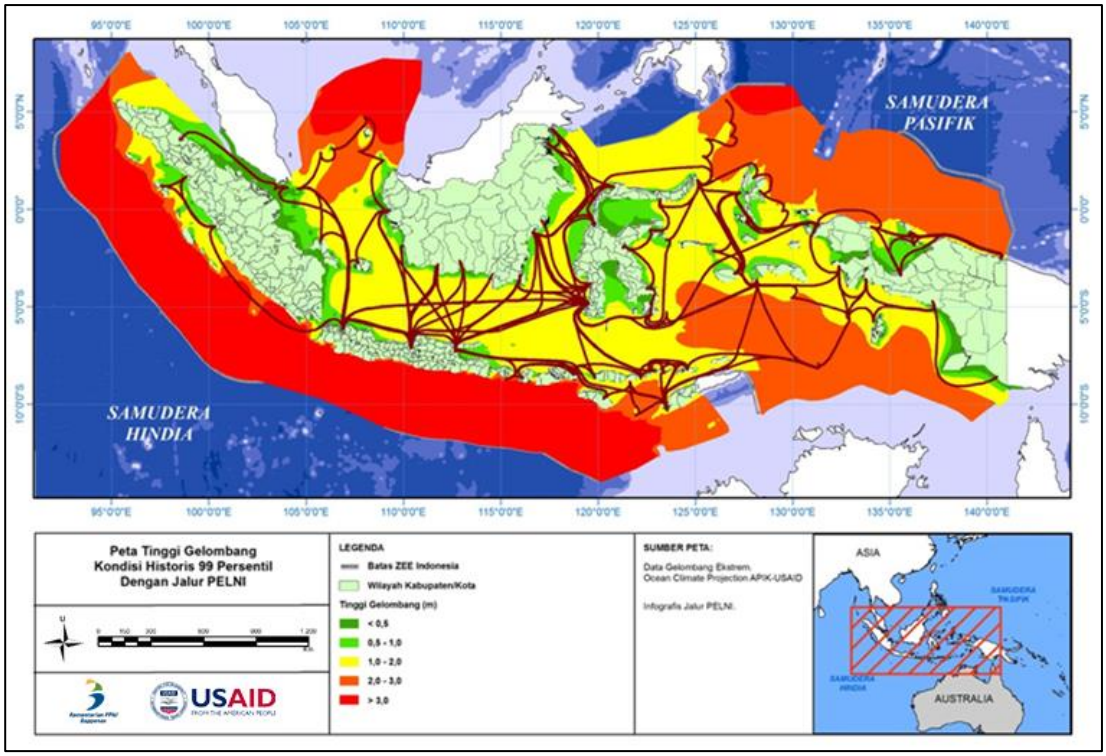
Gambar 2-8 Peta Bahaya Iklim Gelombang Selisih (Proyeksi-Historis)

Kontur tinggi gelombang 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m untuk kondisi historis dan kondisi proyeksi di perlihatkan pada Gambar 2-9. Pada tahun proyeksi gelombang tinggi menjadi semakin meluas dan mendekati pantai (Gambar 2-9). Sebagai contoh, gelombang dengan tinggi 4 m di selatan Jawa yang pada kondisi historis berada jauh di lepas pantai, mendekati pantai pada kondisi proyeksi. Kondisi ini menjadikan perairan Indonesia semakin rentan untuk dilayari, khususnya bagi kapal-kapal kecil (di bawah 10 GT) yang beroperasi di perairan sekitar pantai.

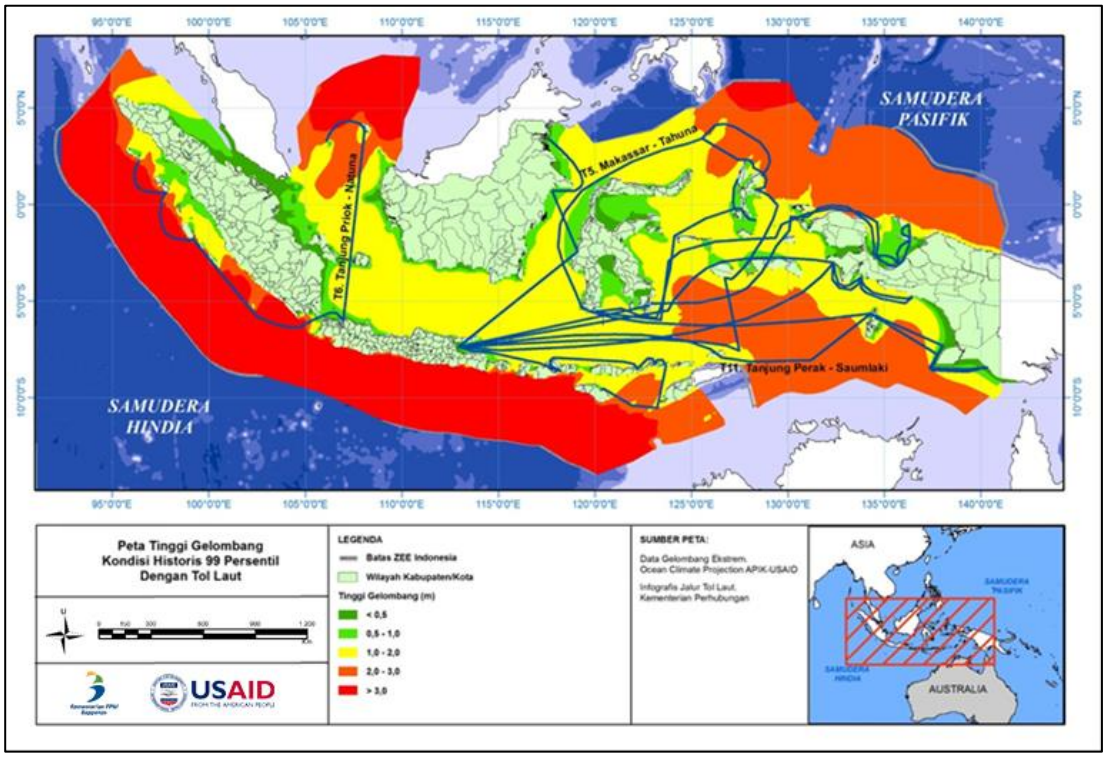


Gambar 2-9 Peta bahaya iklim gelombang kondisi historis dibandingkan dengan kondisi proyeksi

Hasil simulasi tinggi gelombang ekstrem untuk kondisi historis (1990-2015) yang ditumpangtindihkan dengan rute jalur pelayaran kapal-kapal PELNI serta rute rencana jalur Tol Laut memberikan gambaran tingkat keamanan berlayar bagi kapal-kapal di kondisi tahun historis. Rute pelayaran yang berbahaya dan dapat diterjang gelombang tinggi berada pada rute pelayaran di Laut Banda seperti pada trayek kapal Kupang-Sorong maupun Ambon-Baubau dan pada zona pelayaran di perairan pesisir barat Sumatera seperti pada trayek Sibolga-Padang-Tanjung Priok (Gambar 2-10a). Pada rute rencana Tol Laut (Gambar 2-10b), contoh jalur pelayaran yang berbahaya adalah pada trayek Wanci-Dobo-Merauke dan dari Tanjung Perak-Fakfak-Kaimana-Timika.



(a) jalur kapal PELNI

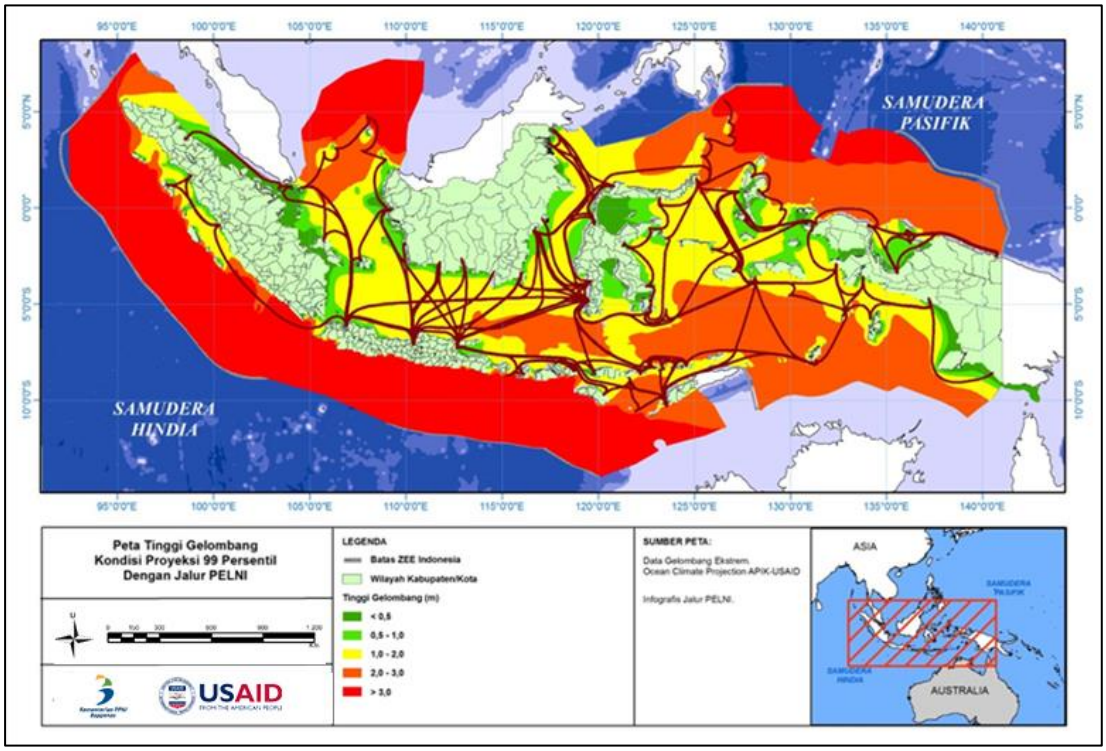


(b) jalur tol laut

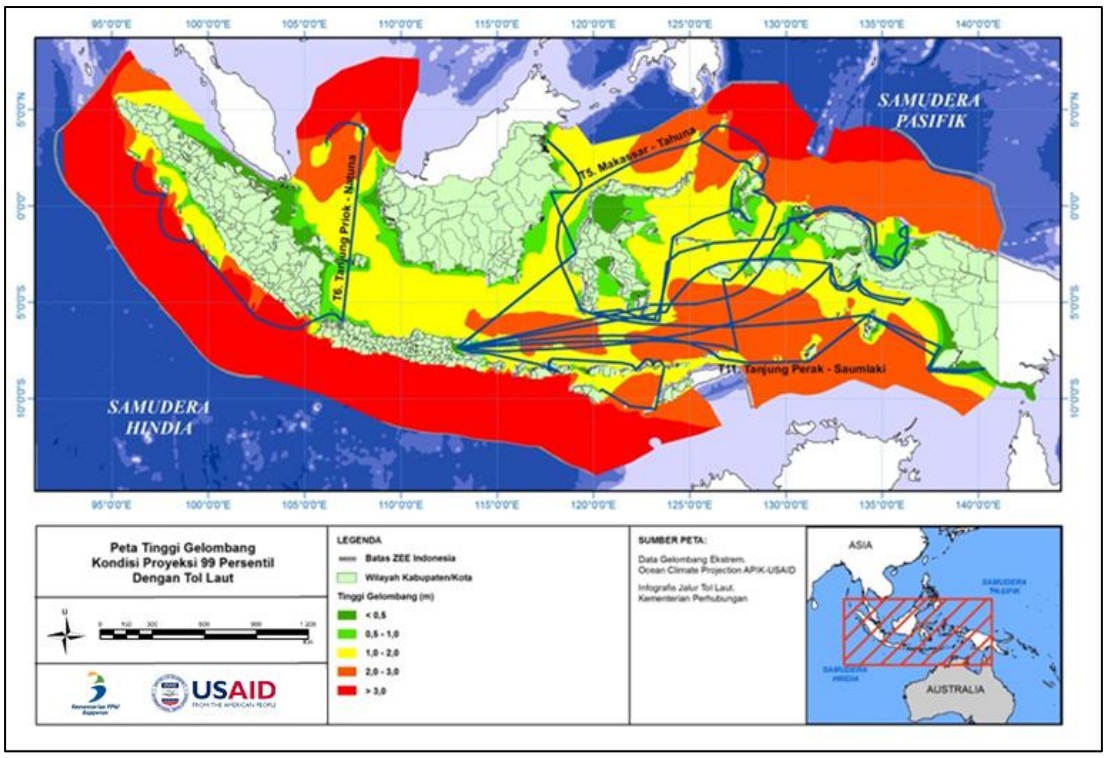
Gambar 2-10 Peta bahaya iklim gelombang (99 persentil) dengan (a) jalur kapal PELNI dan (b) jalur Tol Laut pada kondisi historis di Indonesia

Pada skenario proyeksi di tahun 2045, bahaya pelayaran diproyeksikan semakin meluas ke daerah-daerah yang sebelumnya tidak berbahaya. Setiap jalur pelayaran yang melewati area di bagian utara Bali dan Nusa Tenggara Barat akan terpapar oleh gelombang tinggi (Gambar 2-11a), sedangkan pada

daerah pelayaran Tol Laut yang mengutamakan pelayaran pada wilayah timur Indonesia akan selalu berlayar melewati daerah dengan gelombang yang tinggi (Gambar 2-11b). Hal ini disebabkan oleh meluasnya daerah yang bergelombang tinggi dominan terjadi di wilayah timur Indonesia.



(a) jalur kapal PELNI

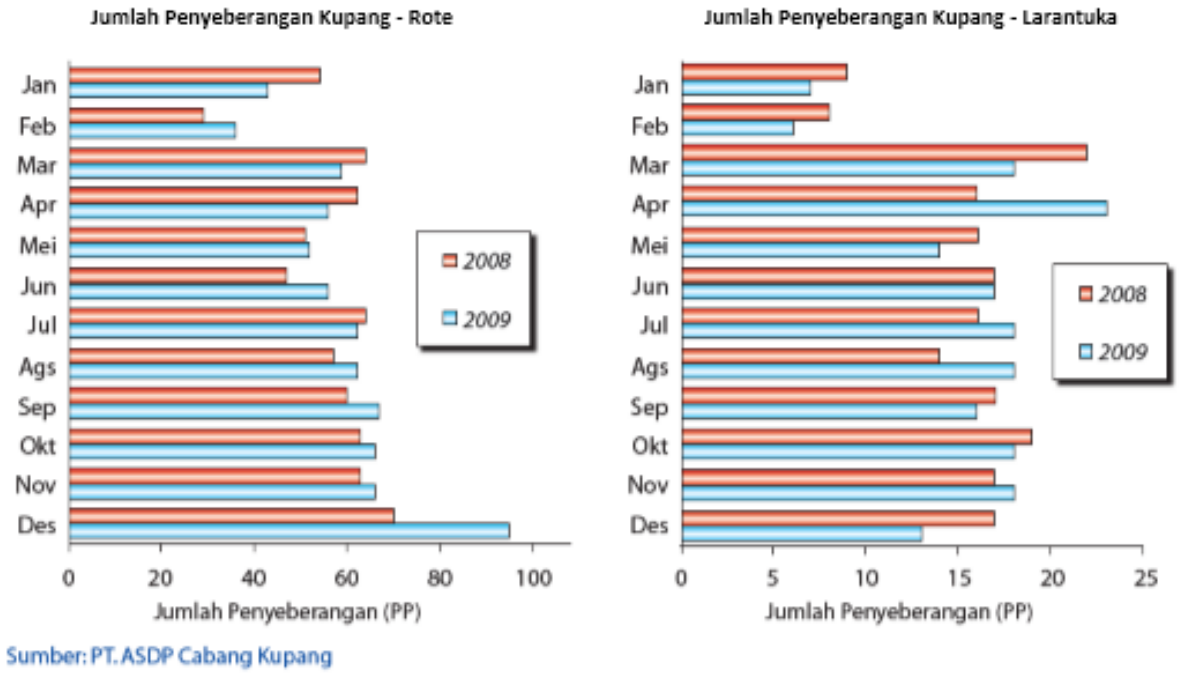


(b) jalur Tol Laut

Gambar 2-11 Peta bahaya iklim gelombang (99 persentil) dengan (a) jalur kapal PELNI dan (b) jalur Tol Laut pada kondisi proyeksi tahun 2045 di Indonesia

Peta bahaya iklim gelombang dan jalur pelayaran kapal PELNI dan jalur Tol Laut (Gambar 3-5 dan 3-6) menunjukkan alur-alur pelayaran yang berbahaya untuk dilalui tapi belum menunjukkan daerah pelayaran yang berbahaya untuk kapal-kapal dengan bobot tertentu.

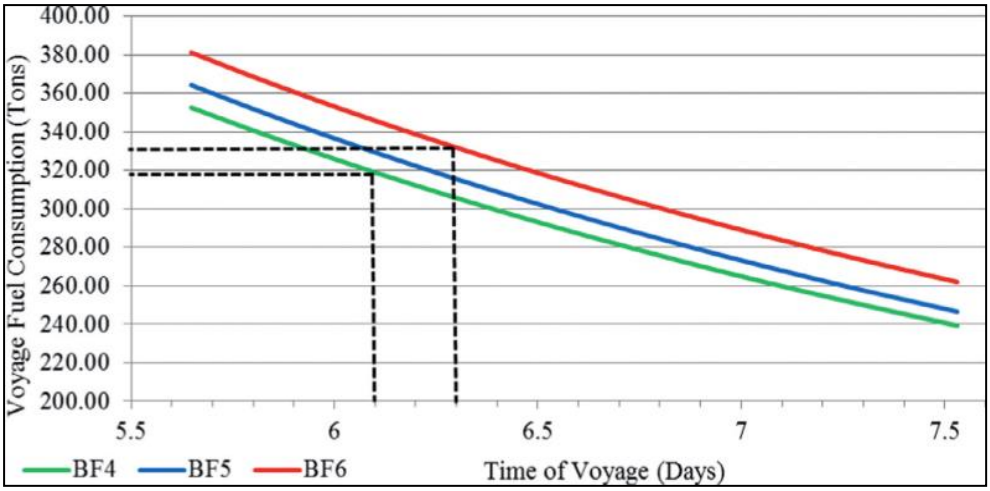
Peta proyeksi iklim gelombang menunjukkan peningkatan tinggi gelombang umumnya terjadi di wilayah Indonesia bagian timur. Peningkatan tinggi gelombang semakin menghambat dan bahkan berpotensi menghentikan operasional kapal antar pulau yang dapat menghambat pertukaran barang dengan jasa di pulau-pulau kecil. Hal ini patut dicatat dengan baik mengingat bahwa daerah Indonesa Timur merupakan wilayah kelautan yang ditaburi oleh pulau-pulau kecil.



Gambar 2-12 Jumlah Penyeberangan kapal berdasarkan bulan pada Tahun 2008-2009 di Kupang

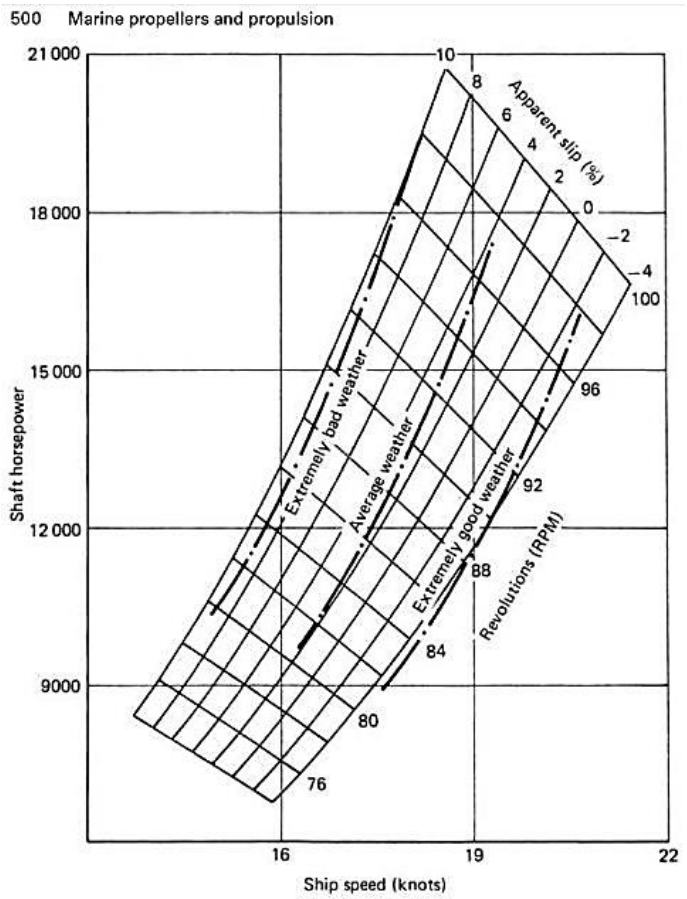
Studi yang dilakukan oleh LPEM-FEUI memberikan contoh bahwa frekuensi penyeberangan kapal pada rute Kupang-Rote dan Kupang-Larantuka (pulang-pergi/PP) dapat terhambat oleh cuaca buruk dan menghambat distribusi barang dan jasa yang pada akhirnya dapat meningkatkan harga barang dan jasa. Studi ini mencatat bahwa jumlah penyeberangan kapal menurun pada bulan Januari-Februari (Gambar 2-12). Kecepatan angin dan gelombang yang tinggi pada Bulan Januari-Februari menyebabkan frekuensi penyeberangan relatif rendah. Frekuensi penyeberangan rata-rata bulan Januari-Februari pada rute Kupang-Rote hanyalah 65% dari bulan-bulan lainnya. Kondisi pada rute Kupang-Larantuka lebih buruk lagi, frekuensi penyeberangan pada bulan Januari-Februari hanya 44% dari rata-rata bulan Maret-Desember. Kondisi yang mirip diidentifikasi oleh harian Kompas untuk rute Sape (Sumbawa, NTB)-Labuan Bajo.

Semakin meningkatnya tinggi gelombang yang ditambah dengan meningkatnya kecepatan angin (makin buruknya cuaca) berkorelasi dengan meningkatkan konsumsi bahan bakar sehingga menurunkan efesiensi kapal (Bialystocki dan Konovessis, 2016) (Gambar 2-13). Dari Gambar 2-13 dapat dilihat bahwa semakin buruk kondisi cuaca (ditunjukkan oleh semakin bertambahnya skala *Beaufort*) maka semakin tinggi konsumsi bahan bakarnya.



Gambar 2-13 Grafik perbandingan antara hari pelayaran dengan konsumsi bahan bakar (Bialystocki dan Konovessis, 2016)

Hal senada juga dinyatakan oleh Carlton (2007), yang menunjukkan bahwa daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mesin dan baling-baling kapal bertambah besar dengan semakin buruknya kondisi cuaca (Gambar 2-14). Carlton membagi kondisi cuaca dalam tiga kategori: cuaca yang sangat baik (*extremely good weather*), kondisi cuaca rata-rata (*average weather*) dan cuaca sangat buruk (*extremely bad weather*).



Gambar 2-14 Grafik perbandingan antara kecepatan kapal dengan putaran poros baling-baling kapal pada beberapa kondisi cuaca (Carlton, 2007)

Pertambahan daya ini berdampak pada meningkatnya konsumsi bahan bakar. Efesiensi kapal menjadi berkurang dengan memburuknya konsisi cuaca atau memburuknya kondisi gelombang laut. Dengan demikian, perubahan iklim berdampak pada keselamatan pelayaran dan pada pengurangan efesiensi kapal. Hal ini terjadi terutama pada tahun proyeksi yang menunjukkan bahwa kondisi perairan di Indonesia bagian timur semakin memburuk bila dibandingkan pada kondisi historis.

Hasil proyeksi tahun 2045 menunjukkan bahwa tinggi gelombang semakin besar ke arah pantai sehingga banyak kapal nelayan dengan ukuran kurang dari 10 GT terkena dampak tidak dapat melaut atau memiliki kemungkinan untuk mengalami kecelakaan akibat pengaruh cuaca buruk. Jumlah kapal perikanan dengan ukuran di bawah 10 GT menurut data tahun 2015 adalah lebih dari 150.000 (lihat Tabel 2-2 dan Gambar 2-5).

3.3. Bahaya Iklim Sektor Kelautan

Bahaya Iklim sektor kelautan per wilayah, dilihat dari proyeksi iklim gelombang hingga tahun 2045, dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 2-7, Gambar 2-8, dan Gambar 2-9.

a. Wilayah Sumatera

Perairan barat Sumatera merupakan wilayah perairan dengan gelombang laut yang tinggi (lebih besar dari 3 m) karena berhadapan langsung dengan lautan Hindia, Perairan dalam barat Sumatera diantara daratan pulau Sumatera dan pulau-pulau kecil di sebelah baratnya (Pulau Simeleu, Pulau Nias, Kep. Mentawai) merupakan perairan yang relatif terlindung akibat keberadaan pulau-pulau kecil tersebut, memiliki tinggi gelombang beriksar antara 0,5-2 m. Pantai timur Sumatera merupakan perairan yang relatif tenang dengan tinggi gelombang kurang dari 1 m. Perubahan iklim mengakibatkan pertambahan tinggi gelombang sekitar 1 m di perairan di sebelah barat Pulau Simeleu, Pulau Nias dan kepulauan Mentawai. Perubahan iklim juga mengakibatkan gelombang-gelombang tinggi lebih mendekati pantai barat Sumatera dibandingkan kondisi historisnya.

b. Wilayah Jawa-Bali

Seperti halnya perairan barat Sumatera, perairan selatan Jawa-Bali merupakan perairan dengan gelombang besar yang tingginya di atas 3 m, sementara perairan utara Jawa-Bali merupakan perairan yang relatif tenang dengan tinggi gelombang berkisar antara 0,5-2 m. Perubahan iklim menyebabkan tinggi gelombang di utara-timur laut Madura mencapai 3 m dan gelombang-gelombang tinggi lebih mendekati pantai selatan Jawa-Bali dibandingkan kondisi hitorisnya. Pertambahan tinggi gelombang akibat perubahan iklim di perairan selatan dan utara Jawa-Bali sekitar 0,5 m.

c. Wilayah Kalimantan

Perairan pantai Kalimantan memiliki tinggi gelombang berkisar antara 0,5-1 m sementara di lepas pantainya tinggi gelombang berkisar antara 1-2 m. Simulasi proyeksi hingga tahun 2045 memperlihatkan perairan Kalimantan relatif tidak terkena dampak perubahan iklim, kecuali gelombang tinggi hingga 2 m lebih mendekati pantai Kalimantan Barat (Sabah).

d. Wilayah Sulawesi

Sama seperti halnya perairan Kalimantan, tinggi gelombang di perairan pantai Sulawesi berkisar antara 0,5-1 m sementara di lepas pantainya tinggi gelombang berkisar antara 1-2 m. Perubahan iklim mengakibatkan gelombang dengan tinggi 1 m lebih mendekati pantai dibandingkan kondisi historisnya dan tinggi gelombang di perairan di selatan Sulawesi Selatan tinggi gelombangnya mencapai kisaran 2-3 m. Pertambahan tinggi gelombang akibat perubahan iklim hingga 1 m terlihat di perairan utara Sulawesi.

e. Wilayah Nusa Tenggara

Perairan selatan Nusa Tenggara (NTB dan NTT) yang berhadapan langsung dengan lautan Hindia memiliki tinggi gelombang di atas 2-3 m. Perubahan iklim menyebabkan gelombang bertambah tinggi hingga 3 m di utara Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Rata-rata pertambahan tinggi gelombang di perairan Nusa Tenggara akibat perubahan iklim sekitar 0,5 m.

f. Wilayah Maluku

Periran laut Banda memiliki tinggi gelombang kurang lebih 2-3 m, kondisi ini lebih tinggi daripada perairan di sekitarnya. Perubahan iklim mengakibatkan gelombang dengan tinggi hingga 3 m mendekati perairan utara Halmahera. Akibat perubahan iklim, secara rata-rata perairan Maluku mengalami pertambahan tinggi gelombang sekitar 0,5 m.

g. Wilayah Papua

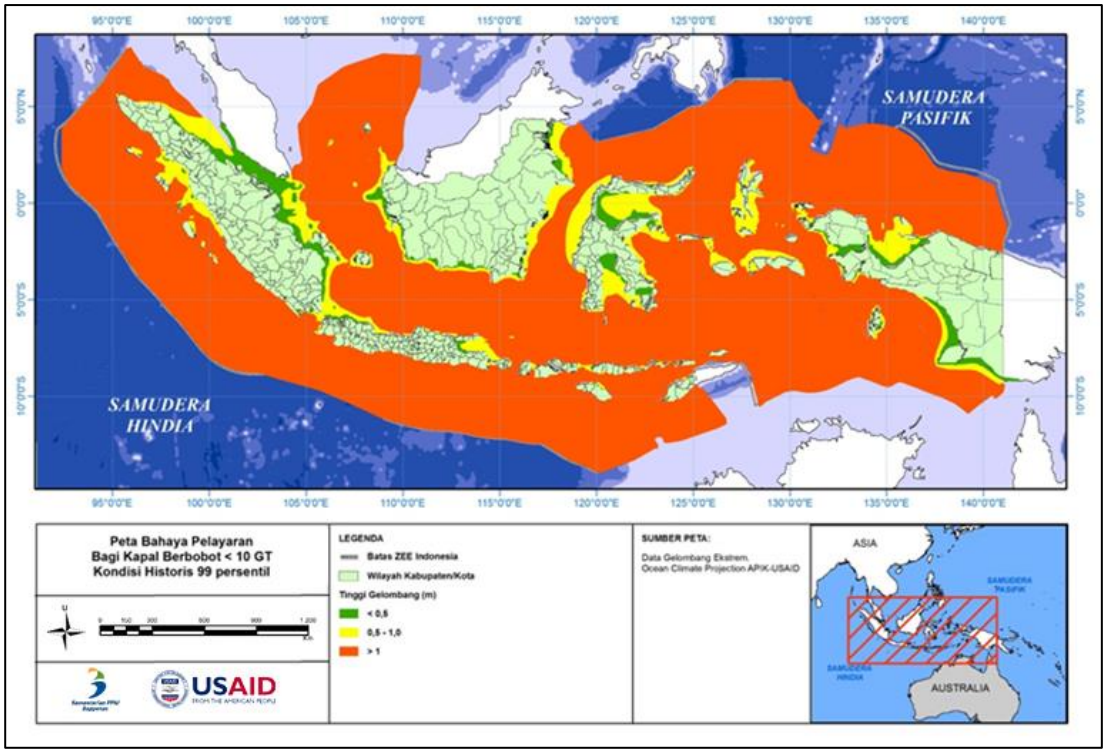
Perairan pantai di utara dan selatan Papua memiliki tinggi gelombang berkisar antara 0,5-1 dan 2 m di lepas pantainya. Perubahan iklim mengakibatkan tinggi gelombang mencapai lebih dari 3 m diproyeksikan mendekati pantai utara Papua dibandingkan pada kondisi historisnya.

3.4. Bahaya Keselamatan Pelayaran

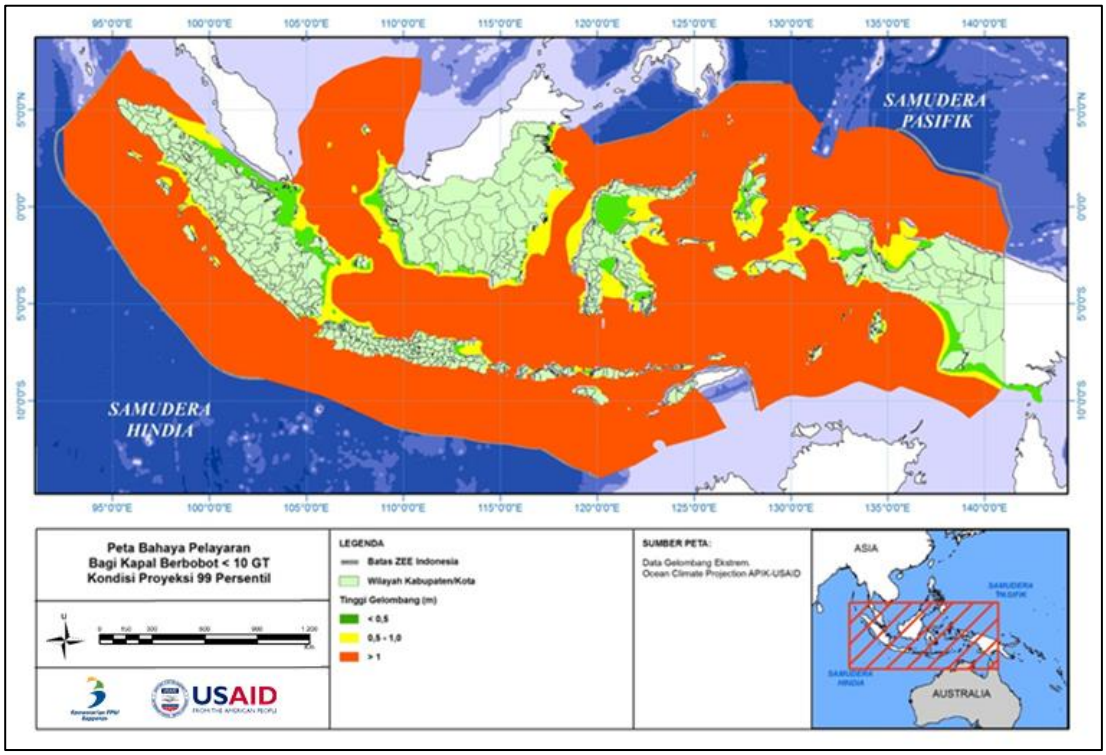
Untuk mendapatkan Peta Bahaya Keselamatan Pelayaran bagi kapal dengan klasifikasi tertentu, kisaran tinggi gelombang pada peta bahaya iklim gelombang (Gambar 2-7) disesuaikan dengan klasifikasi kapal pada Tabel 1-2. Peta bahaya pelayaran bagi kapal dengan bobot di bawah 10 GT untuk kondisi historis dan proyeksi diperlihatkan pada Gambar 2-15a dan 2-15b.

Warna hijau menunjukkan zona pelayaran yang aman, warna kuning merupakan zona waspada dan warna merah bata menunjukkan daerah pelayaran yang berbahaya. Pada umumnya untuk periode historis dan untuk periode proyeksi, wilayah pelayaran yang aman bagi kapal-kapal dengan bobot di bawah 10 GT hanya terbatas pada wilayah pelayaran yang dekat dengan pantai/daratan.

Bagi kapal dengan bobot di bawah 10 GT, wilayah dengan tinggi gelombang yang aman dan memenuhi kriteria stabilitas kapal adalah wilayah dengan tinggi gelombang minimum (di bawah 0,5 m). Sedangkan gelombang dengan tinggi antara 0,5-1 m masih merupakan gelombang yang aman, tetapi kewaspadaan dalam pelayarannya perlu diutamakan. Sedangkan daerah dengan gelombang di atas 1 m tidak disarankan sebagai daerah pelayaran kapal dengan bobot di bawah 10 GT.



(a) historis

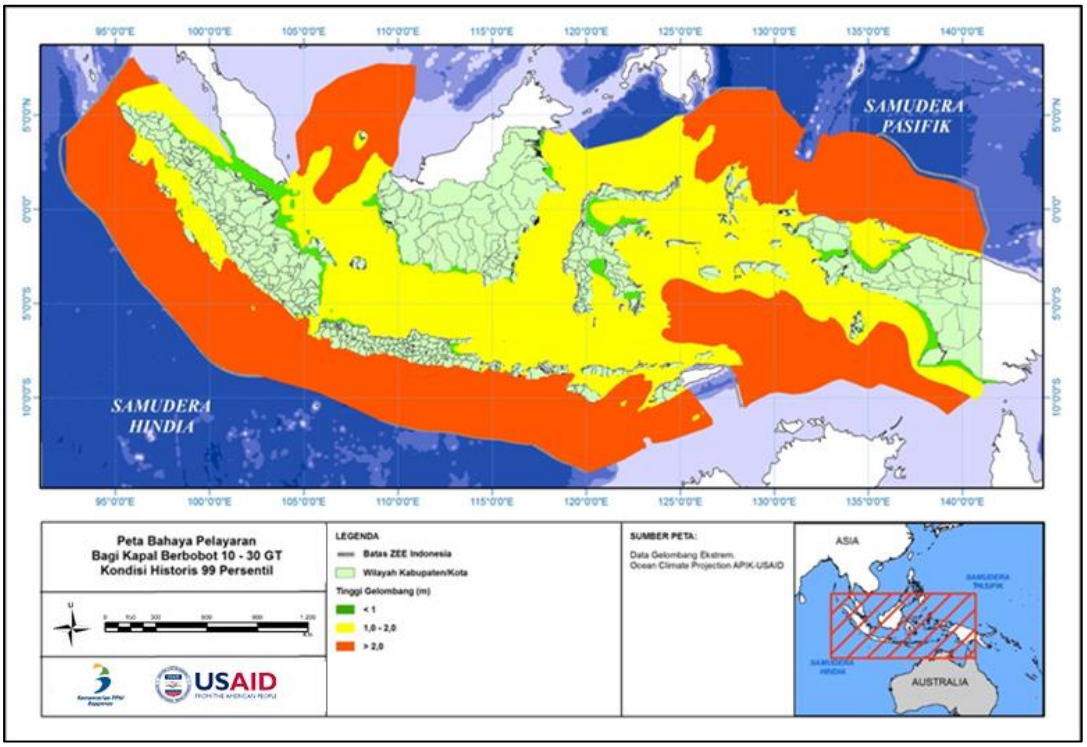


(b) proyeksi

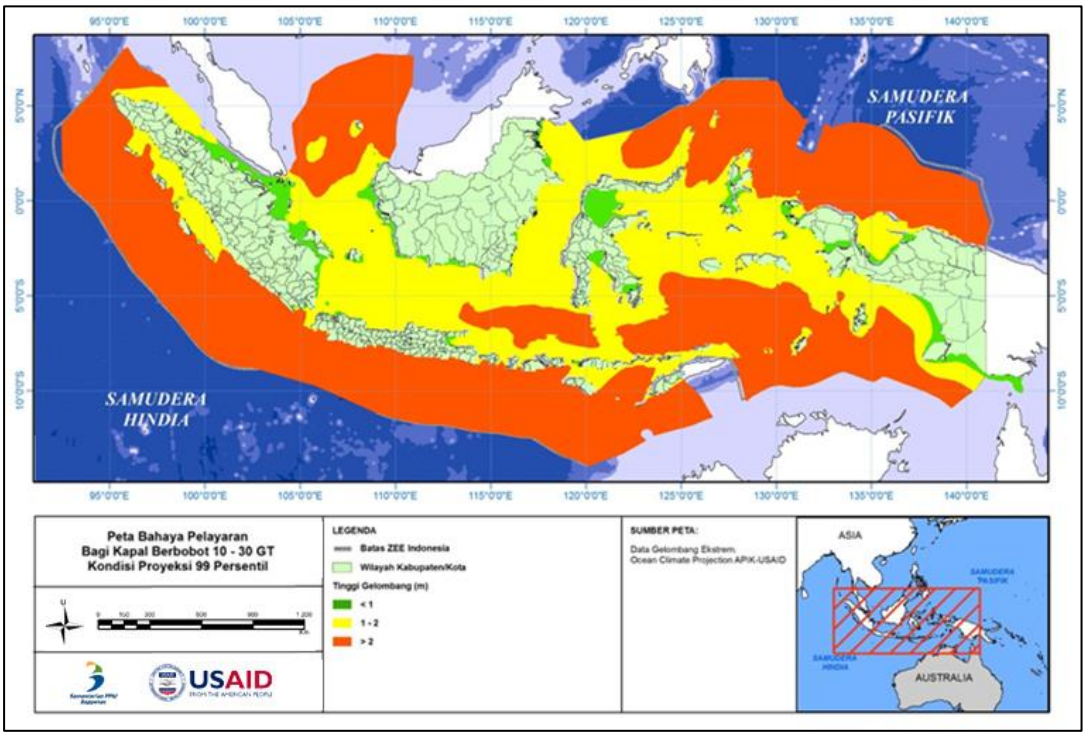
Gambar 2-15 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di bawah 10 GT kondisi (a) historis dan (b) proyeksi

Pada Gambar 2-16a dan b, daerah pelayaran yang aman bagi kapal-kapal dengan bobot 10-30 GT yaitu daerah yang tidak terlalu jauh dengan pantai dan memiliki batas tinggi gelombang aman di bawah 1 m. Pada daerah pelayaran di wilayah laut internal indonesia, kapal dengan klasifikasi 10-30 GT masih dapat berlayar dengan aman, tetapi dibutuhkan kewaspadaan lebih jika tinggi gelombang mendekati

2 m. Namun, pada daerah dengan tinggi gelombang lebih dari 2 m, maka kapal-kapal tersebut disarankan untuk tidak berlayar.



(a) historis

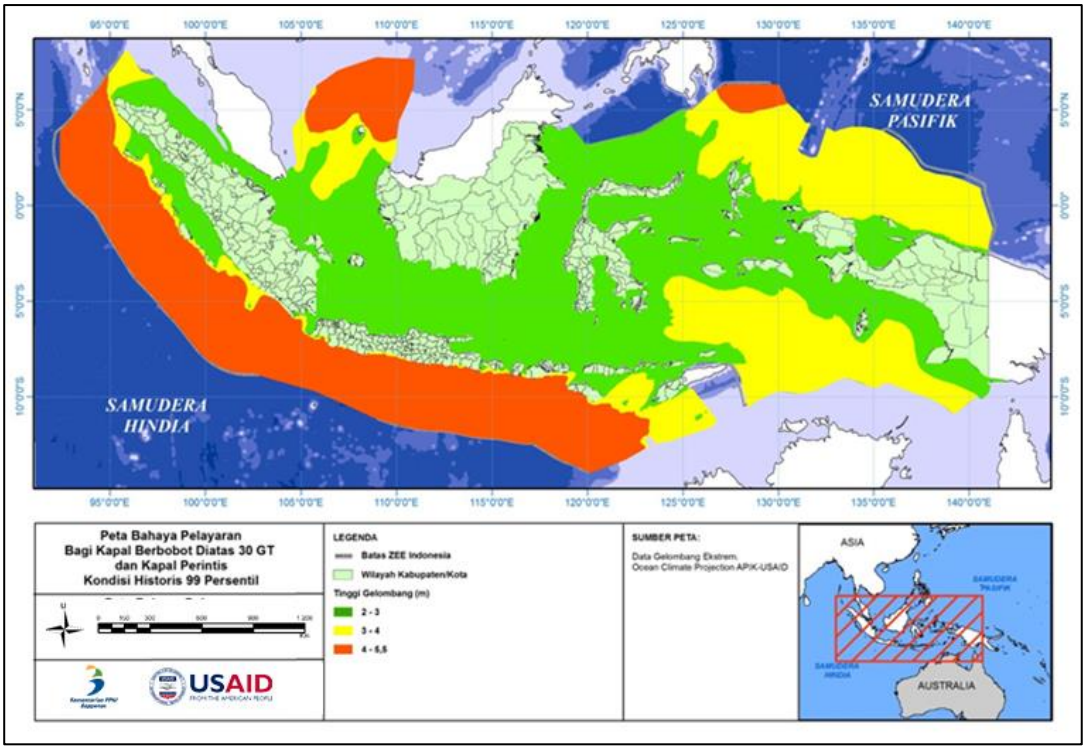


(b) proyeksi

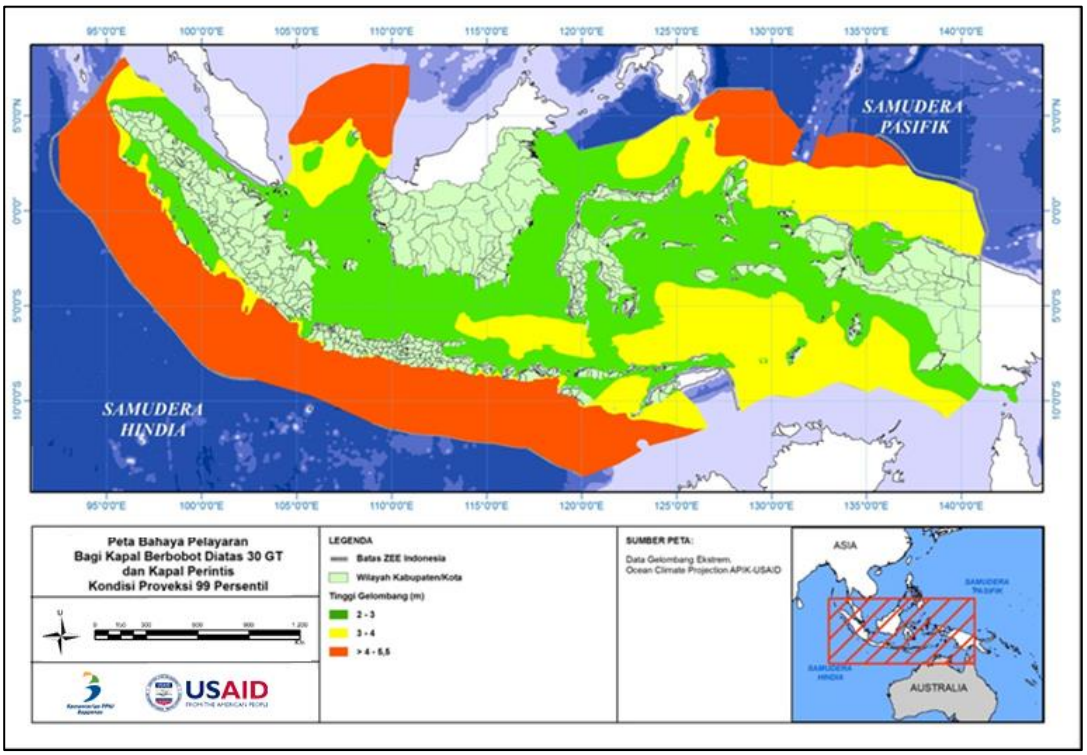
Gambar 2-16 Peta Bahaya Keselamatan Pelayaran bagi kapal dengan bobot 10-30 GT kondisi (a) historis dan (b) proyeksi

Pada kondisi proyeksi (Gambar 2-16b), terlihat adanya perluasan wilayah yang berbahaya (tinggi gelombang lebih dari 2 m, warna merah bata) bagi kapal-kapal dengan bobot 10-30 GT di perairan Indonesia bagian timur. Daerah berbahaya ini meluas ke arah barat Laut Banda hingga perairan utara

Flores bagian timur dan barat hingga perairan utara pulau Madura. Daerah dengan tinggi gelombang berbahaya juga bertambah luas di perairan sebelah timur Halmahera dan perairan sebelah utara Sulawesi Utara. Di wilayah Laut Tiongkok Selatan juga terlihat perluasan daerah berbahaya hingga memasuki perairan Selat Karimata.



(a) historis



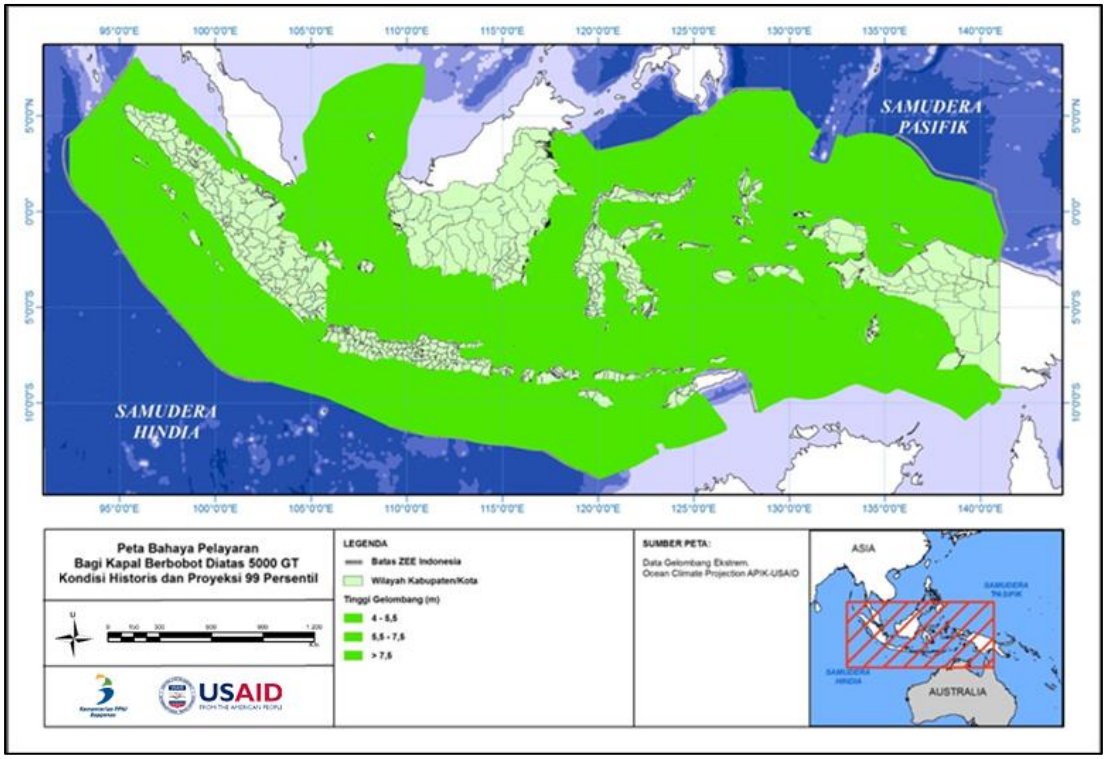
(b) proyeksi

Gambar 2-17 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di atas 30 GT hingga kapal perintis kondisi (a) historis dan (b) proyeksi

Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot 30-5000 GT termasuk pada kelas Kapal Perintis diperlihatkan pada Gambar 2-17a dan 2-17b. Dari Gambar 2-17a dan 2-17b, terlihat daerah pelayaran yang aman bagi kapal dengan klasifikasi tersebut terutamanya berada pada sebagian besar perairan internal Indonesia dengan tinggi gelombang amannya mencapai 3 m. Kapal-kapal jenis ini juga dapat bertahan dengan kondisi gelombang 3-4 m (wilayah perairan berwarna kuning), tetapi disarankan untuk berhati-hati (waspada) dalam pelayarannya. Sedangkan kondisi yang berbahaya bagi kapal-kapal dengan bobot 30-5000 GT termasuk kelas Kapal Perintis adalah kondisi gelombang yang melebihi 4 m yang umumnya berada pada area ZEE perairan Indonesia (warna merah bata).

Pada kondisi proyeksi (Gambar 2-17b), terlihat adanya pertambahan wilayah waspada (tinggi gelombang 3-4 m, warna kuning) bagi kapal-kapal dengan bobot 30-5000 GT di perairan Indonesia bagian timur. Zona waspada bagi kapal dengan kelas ini meluas ke arah barat Laut Banda hingga perairan utara Flores bagian timur. Zona ini juga terdapat di wilayah perairan utara Flores bagian barat hingga perairan utara Pulau Madura. Daerah waspada juga bertambah luas di perairan timur Halmahera dan perairan Laut Sulawesi serta di wilayah Laut Tiongkok Selatan hingga memasuki Selat Karimata.

Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal PELNI dan ASDP yang bobotnya di atas 5000 GT untuk kondisi periode historis dan periode proyeksi diperlihatkan pada Gambar 2-18. Gambar 2-18 memperlihatkan bahwa seluruh wilayah perairan Indonesia aman bagi kapal-kapal dengan bobot di atas 5000 GT. Kapal-kapal dengan bobot di atas 5000 GT dalam perhitungannya mampu menahan gelombang dengan tinggi antara 5-8 m, namun dalam operasional pelayarannya disarankan untuk memperhatikan keamanan bila terdapat gelombang dengan tinggi di atas 5 m.



Gambar 2-18 Peta bahaya keselamatan pelayaran bagi kapal dengan bobot di atas 5000 GT (Kapal PELNI dan ASDP) kondisi historis dan proyeksi

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

4.1. Kesimpulan

1. Hasil simulasi iklim gelombang untuk kondisi historis (*baseline*) maupun proyeksi hingga 2045, memperlihatkan perairan laut internal Indonesia terpapar oleh gelombang dengan tinggi antara 0-2 m, sedangkan area laut luar (Area ZEE) terpapar oleh gelombang dengan tinggi lebih dari 3 m. Proyeksi tahun 2045 menunjukkan adanya perubahan iklim yang mengakibatkan pertambahan tinggi gelombang dalam kisaran 0,5 m terutama di perairan Indonesia bagian timur dan gelombang tinggi lebih mendekat ke arah pantai.

2. Secara umum untuk kondisi historis dan kondisi proyeksi perairan Indonesia bagian timur merupakan daerah rawan untuk pelayaran karena gelombang yang tinggi terutama untuk kapal-kapal di bawah 30 GT. Cuaca buruk yang mengakibatkan gelombang tinggi membahayakan keselamatan pelayaran yang berakibat pada penurunan frekuensi penyeberangan antar pulau dan menurunkan efisiensi kapal (penggunaan bahan bakar yang lebih banyak).

3. Pada periode proyeksi hingga tahun 2045 menunjukkan tidak ada perubahan yang berarti bagi daerah aman kapal-kapal di bawah 10 GT. Daerah aman bagi kapal-kapal di bawah 10 GT hanya terbatas di sekitar pantai.

4. Pada periode proyeksi hingga tahun 2045 memperlihatkan pertambahan luas daerah bahaya (tinggi gelombang di atas 2 m), meliputi daerah utara Madura hingga utara Flores, selatan Kendari, Selat Karimata bagian barat, dan perairan utara Sulawesi Utara untuk kapal-kapal dengan bobot antara 10 GT–30 GT.

5. Perairan internal Indonesia relatif aman bagi kapal-kapal di atas 30 GT, hanya wilayah di Indonesia bagian timur yang perlu meningkatkan kewaspadaan. Pada periode proyeksi hingga tahun 2045 memperlihatkan pertambahan luas daerah “waspada” (tinggi gelombang 3-4 m), yaitu meliputi daerah utara Madura hingga utara Flores bagian barat, selatan Kendari, Selat Karimata bagian barat, dan perairan utara Sulawesi Utara. Cakupan daerah berbahaya (tinggi gelombang di atas 4 m) juga bertambah luas, yaitu meliputi daerah di utara Halmahera dan Selat Karimata bagian barat.

6. Perairan Indonesia relatif aman bagi kapal-kapal dengan ukuran 30-5000 GT dan aman bagi kapal-kapal ukuran lebih besar daripada 5000 GT (Kapal PELNI).

4.2. Rekomendasi Kebijakan

1. Berdasarkan hasil proyeksi, kapal perikanan dengan ukuran di bawah 10 GT (pada tahun 2015 jumlahnya lebih dari 150.000) akan banyak mengalami dampak tidak dapat melaut atau kemungkinan mengalami kecelakaan di laut akibat gelombang tinggi di dekat pantai. Untuk menghindari kecelakaan tersebut, peringatan dini mengenai kondisi gelombang beberapa hari ke depan yang dikeluarkan oleh BMKG perlu disosialisasikan kepada para nelayan. Selain itu, perlu diberlakukan peraturan yang ketat yang melarang kapal-kapal dengan ukuran di bawah 10 GT melaut bila prakiraan tinggi gelombang di atas 1 m.
2. Bantuan pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan kepada nelayan berupa kapal ukuran 10 GT perlu disertai dengan penyuluhan untuk merubah budaya melaut yang hanya sehari menjadi lebih dari sehari. Hal ini dikarenakan hasil proyeksi menunjukkan kondisi

gelombang yang bertambah tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi kapal. Dengan demikian, maka perlu diberikan subsidi bahan bakar bagi para nelayan.

3. Perlunya pemberlakuan peraturan yang mengharuskan kapal-kapal dengan ukuran 10-30 GT menunda pelayaran apabila prakiraan tinggi gelombang di atas 2 m, dan untuk kapal-kapal dengan ukuran 30-5000 GT apabila tinggi gelombang di atas 4 m.
4. Perlunya koordinasi antara Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, dan Kementerian Perhubungan dalam memproduksi peta bahaya (*hazard*) kelautan dan pembuatan peraturan terkait keamanan pelayaran untuk mencegah atau meperkecil terjadinya kecelakaan kapal akibat cuaca buruk. Peningkatan ketelitian prakiraan kondisi cuaca dan kondisi gelombang perairan Indonesia yang dikeluarkan oleh BMKG merupakan suatu keharusan untuk dapat menghasilkan peta bahaya kelautan yang dapat dipercaya.
5. Proyeksi gelombang yang bertambah tinggi di masa depan dapat membuat pulau-pulau kecil terisolir dari pulau-pulau besar. Dengan demikian maka diperlukan antisipasi dari Kementerian Perhubungan agar keterhubungan antar pulau-pulau tersebut tetap terjaga.
6. Dari Lembaga Swadaya Masyarakat diperoleh informasi bahwa dalam kondisi sekarang, nelayan yang menggunakan kapal dengan ukuran kurang dari 10 GT tidak dapat melaut selama kurang lebih 6 bulan karena kondisi gelombang yang tinggi. Dengan bertambahnya tinggi gelombang di masa depan, maka terdapat kemungkinan bahwa nelayan tidak melaut selama lebih dari 6 bulan. Oleh karena itu, diperlukan antisipasi dari Kementerian Tenaga Kerja dan Kementerian Sosial untuk menyiapkan alternatif pekerjaan pada saat nelayan tidak melaut.
7. Sesuai dengan konsep Benua Maritim, demi keamanan dan kedaulatan Negara, perairan internal Indonesia yang relatif aman bagi kapal-kapal dengan ukuran di atas 30 GT harus dipastikan peruntukannya hanya untuk pelayaran kapal-kapal nasional dan tidak dibuka untuk pelayaran kapal-kapal asing yang bebas bergerak dari barat ke timur maupun sebaliknya.

5. DAFTAR PUSTAKA

ASDP. (2017). *Profil Perusahaan.* PT ASDP INDONESIA FERRY (Persero).

Badan Keamanan Laut. (2018). Diakses melalui https://www.bakamla.go.id/.

Bappenas (2010). *Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap - ICCSR: Synthesis Report*. Bappenas, Republik Indonesia, ISBN 978-979-3764-49-8.

Bappenas. (2017). *Kajian Basis Ilmiah: Rekonstruksi dan Proyeksi Iklim Laut untuk Kaji Ulang RAN API.* Bappenas, Jakarta, 61 hal.

Bialystocki, N. dan Konovessis, D. (2016). On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 1, 157–166.

Biran, A.B. (2003). *Ship Hydrostatics And Stability*. Butterworth-Heinemann.

Carlton, J. S. (2007). *Marine Propellers and Propulsion.-2nd Ed.* United Kingdom: Elsevier.

Djalal, H. (1996). Konsepsi Benua Maritim Indonesia. *Jurnal Ketahanan Nasional*.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2018). *Laporan Investigasi KNKT Laut*. Diakses melalui http://knkt.dephub.go.id/webknkt/investigasi_report.php?id=31

LPEM-FEUI. (2010). *Transportasi Barang di Nusa Tenggara Timur: Permasalahan dan Biaya*.

PELNI. (2016). *Laporan Tahunan: Transformasi Menuju Pertumbuhan Kinerja*.

Peraturan Presiden No. 16 Tahun 2017. Kebijakan Kelautan Indonesia.

PERMEN-KP/2016/no. 71 Tentang Jalur Penangkapan Ikan Dan Penempatan Alat Penangkapan Ikan Di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia.

Rancangan Kriteria di Bidang Transportasi Laut: Penetapan Kriteria Daerah Pelayaran Kapal Pelayaran Rakyat.

BAB 3
SEKTOR PESISIR

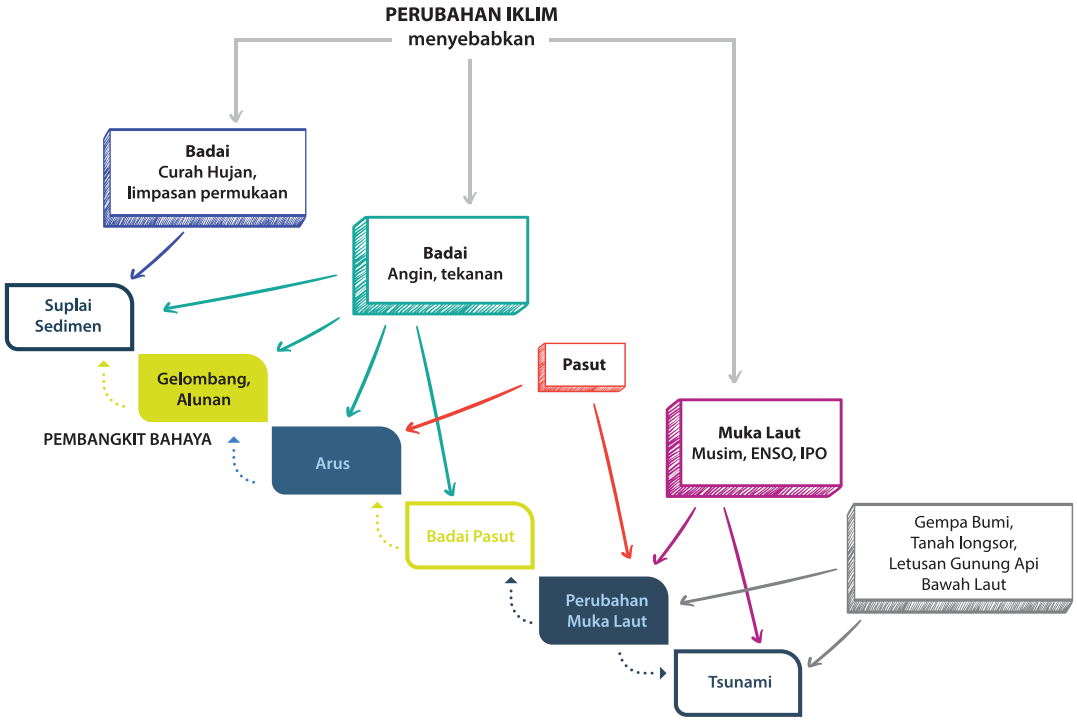
1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berbagai hasil kajian ilmiah menunjukkan bahwa perubahan iklim tidak hanya memberikan fluktuasi (naik-turun) yang signifikan tetapi juga perubahan (tren) yang sangat cepat yang mengindikasikan pemanasan permukaan bumi, atmosfer, dan laut yang terjadi secara global. Kajian dan bukti ilmiah mengenai itu telah dilaporkan secara sistematis dan terbuka, diantaranya: *Intergovermental Panel on Climate Change* (IPCC) dan *The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Sebagai contoh, laporan IPCC (2007) menyimpulkan bahwa: "Adanya bukti yang baru dan lebih kuat bahwa pemanasan global yang terjadi 50 tahun terakhir adalah akibat dari kegiatan manusia". Berbagai kajian ilmiah lainnya juga menjelaskan bahwa perubahan iklim menyebabkan perubahan pola curah hujan, kenaikan suhu laut, kenaikan muka laut, dan kejadian iklim ekstrem. Perubahan-perubahan tersebut akan memberikan bahaya yang mengancam kelangsungan hidup manusia.

Bumi semakin memanas seiring dengan peningkatan gas rumah kaca yang sangat cepat. Sebagai akibatnya, permukaan laut juga telah meningkat dan di masa mendatang, peningkatan muka laut diperkirakan akan semakin cepat. Walaupun masih ada ketidakpastian dalam proyeksi kenaikan muka laut, secara keseluruhan, hasil proyeksi memperlihatkan perubahan muka laut yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi alamiahnya selama 10000 tahun. Pada parameter yang lain seperti gelombang dan arus laut hanya terdapat sedikit pemahaman tentang bagaimana perubahan iklim dapat mempengaruhi arah dan besarnya parameter–parameter tersebut.

Pada sektor pesisir, perubahan iklim tersebut secara umum dapat menimbulkan dua jenis bahaya (*hazard*) yaitu penggenangan pesisir (*coastal inundation*) serta ketidakstabilan pesisir (*coastal instability*) yang berkaitan dengan proses abrasi/erosi dan akresi/sedimentasi pantai (Gambar 3-1).



Gambar 3-1 Jenis bahaya pesisir

Faktor-faktor yang mempengaruhi wilayah pesisir terutama berasal dari laut, antara lain kenaikan muka laut global (*global sea-level rise*), gelombang ekstrem/badai, peristiwa La Niña (ENSO), dan sebagainya; sedangkan faktor geomorfologi pantai (material sedimen pembentuk pantai) mempengaruhi sensitivitasnya.

Bahaya perubahan iklim di pesisir ini berkaitan dengan banyak sektor atau sub-sektor yang lain, seperti:

- Perhubungan laut dan darat, yaitu berkaitan dengan infrastruktur dermaga pelabuhan, *break water*, *sea wall*, jetty, serta proteksi jalan darat di sekitar pesisir.
- Pariwisata bahari dan pesisir yang mempengaruhi kenyamanan berwisata dan bangunan di pantai.

1.2. Tujuan

Isu kerentanan wilayah pesisir menjadi sangat relevan dengan pembangunan infrastruktur yang sedang digalakkan pada saat ini, yang mengajak masyarakat untuk kembali memberdayakan laut dan menjadi poros maritim dunia. Kajian ini merupakan pembaharuan kajian yang telah dilakukan sebelumnya oleh BRKP Kementerian Perikanan dan Kelautan (MMAF, 2010), agar sesuai dengan kondisi masa sekarang (historis) dan dapat digunakan untuk keperluan perencanaan (proyeksi) pembangunan wilayah Indonesia.

1.3. Cakupan Studi dan Metode

Dalam kajian ini, bahaya akibat perubahan iklim pada sektor pesisir dapat diwakili oleh faktor ketidakstabilan pesisir sepanjang garis pantai Indonesia, dengan menggunakan metode Indeks Kerentanan Pesisir (*Coastal Vulnerability Index*) yang dimodifikasi dari pendekatan serupa yang telah dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan pada tahun 2009. Kajian ini terutama merepresentasikan kondisi pada periode proyeksi yang dapat disesuaikan untuk tujuan perencanaan pembangunan seperti tertera pada RPJMN Indonesia, terutama pada kota-kota yang terletak di daerah pesisir. Data panjang garis pantai yang digunakan dalam studi ini menggunakan DEM yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG).

2. WILAYAH PESISIR

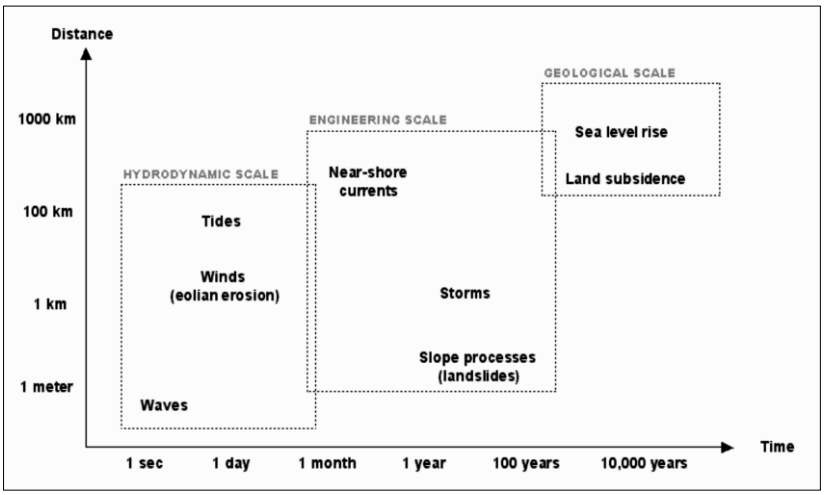
2.1. Definisi Kawasan Pesisir

Pesisir merupakan daerah yang sulit untuk didefinisikan secara pasti akibat proses dinamis alamnya. Secara sederhana, daerah pesisir dapat didefinisikan sebagai daerah interaksi antara darat dan laut. Menurut Ketchum (1972), pesisir adalah daerah antara daratan kering dengan laut (air dan daratan terendam) yang proses alam dan penggunaan lahannya dipengaruhi secara langsung oleh proses dinamis lautan. Selain itu, pesisir juga dapat diartikan sebagai penghubung antara darat dan laut, serta formasi geomorfologinya mengandung beragam material batuan.

Menurut Nicholls dkk. (2007) dalam *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change*, daerah pesisir terdiri dari dua sistem yaitu sistem alam dan sistem sosial. Sistem alam terdiri dari daratan seperti pantai, pantai berbatu dan pantai bertebing, delta sungai, muara, laguna, dan ekosistem pesisir seperti hutan bakau, lamun, dan terumbu karang. Sedangkan sistem sosial terdiri dari infrastruktur, manusia serta aktivitasnya. Kedua sistem tersebut sangat rentan terhadap bahaya dari perubahan iklim seperti kenaikan muka laut, gelombang badai, kenaikan temperatur, curah hujan, dan peningkatan konsentrasi CO_2.

2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi dan Genangan Pesisir

Pesisir merupakan daerah yang sangat penting bagi Indonesia mengingat begitu panjangnya garis pantai di Indonesia. Oleh karena itu, perubahan iklim dapat menganggu stabilitas pesisir. Kenaikan muka laut secara global berpengaruh terhadap bertambahnya daerah rendaman di pesisir, erosi pantai, dan sebagainya. Perubahan garis pantai sangat berkaitan dengan kenaikan muka laut, gelombang, dan transpor sedimen. Sedimen yang masuk ke wilayah pesisir berasal dari pasir fluvial, pasir dari dasar laut, pasir dari erosi tebing dan batuan, undukan pasir, dan proses lainnya. Ketidaksetimbangan antara sedimen yang bertambah dan berkurang dari daerah pesisir dapat menyebabkan erosi/abrasi atau sedimentasi.



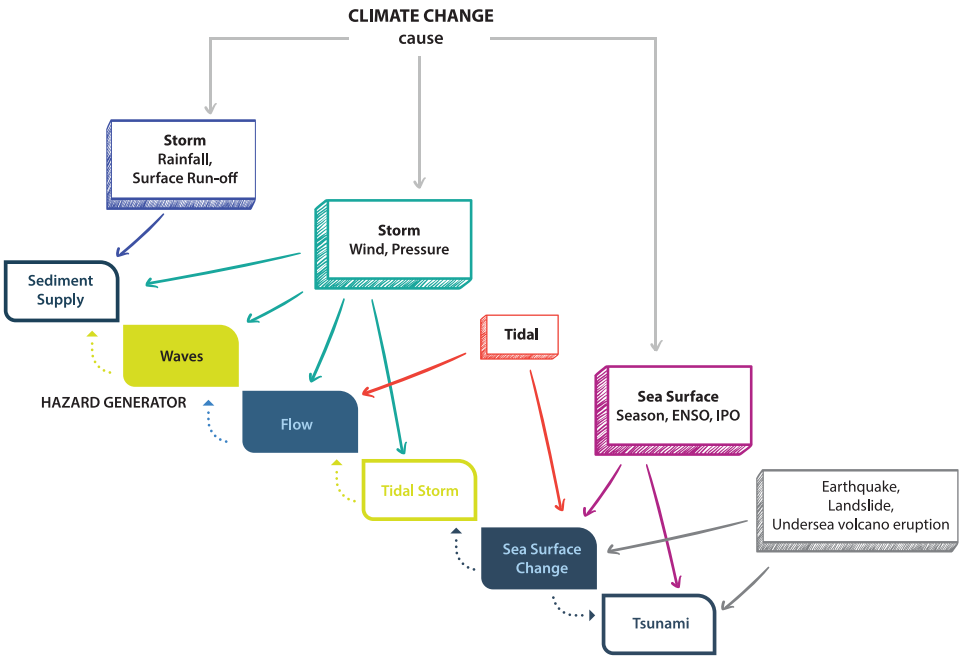
Gambar 3-2 Faktor alam terhadap erosi pantai dalam skala ruang dan waktu

Bentuk morfologi pesisir juga dapat berubah akibat faktor fisik seperti gelombang, angin, pasang surut (pasut), arus di dekat pantai, gelombang badai, longsor, kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah. Gambar 3-2 menunjukkan faktor fisik yang berpengaruh terhadap erosi pantai dan hubungannya terhadap ruang dan waktu. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh perubahan iklim baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga menyebabkan kenaikan muka laut yang juga

berpengaruh terhadap erosi pantai dan banjir pantai. Skala jarak pada Gambar 3-2 dipahami sebagai tingkat geografis ketika suatu kejadian berlangsung atau intensitas faktor berlangsung relatif stabil sedangkan skala waktu mencerminkan sejauh mana faktor-faktor tersebut terjadi dan menyebabkan perubahan (Bird, 1993).

The Australian Greenhouse Office (2005) mendeskripsikan pengaruh perubahan iklim terhadap kenaikan bahaya pada daerah pesisir dan laut yaitu badai yang mempengaruhi curah hujan dan *runoff,* badai yang menyebabkan gelombang tinggi atau *storm surge,* dan perubahan muka laut (variabilitas musiman, ENSO dan IOD). Aktivitas geologi seperti gempa bumi, erupsi vulkanik dan longsor yang dapat menyebabkan tsunami dan perubahan muka laut.

Hal tersebut memberi dampak terhadap pertambahan sedimen, gelombang dan *swell*, arus, gelombang badai, dan kenaikan muka laut. Faktor eksternal lainnya yang berhubungan langsung dengan perubahan iklim adalah pasang surut dan tsunami. Kedua hal tersebut juga dalam kondisi ekstrem dapat mempercepat perubahan garis pantai. Faktor lainnya yang memengaruhi perubahan garis pantai adalah geomorfologi pantai karena setiap tipe garis pantai memiliki ketahanannya sendiri terhadap erosi pantai. Gambar 3-3 menunjukkan faktor alam yang memberi dampak terhadap rendaman dan erosi pantai.



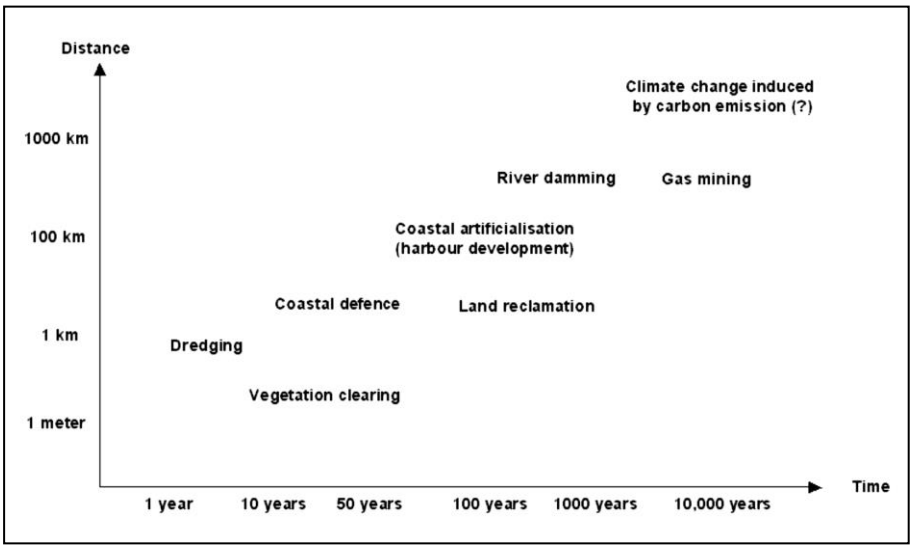
Gambar 3-3 Hubungan antara bahaya yang disebabkan perubahan iklim terhadap sektor pesisir, kelautan, dan perikanan (diadaptasi dari the Australian Greenhouse Office, 2005)

Faktor-faktor fisika yang berpengaruh terhadap erosi pantai dan penggenangan pesisir yaitu:

- Gelombang. Gelombang laut dibangkitkan oleh angin dan sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, lama angin berhembus, dan *fetch*. Energi gelombang sangat bergantung pada tinggi dan periode gelombang. Erosi pantai secara umum terjadi pada daerah yang berhubungan langsung dengan laut.
- Angin. Angin tidak hanya membangkitkan gelombang tapi juga menggerakan pasir yang menyebabkan perubahan garis pantai.
- Pasang Surut (pasut). Daerah pesisir dengan tunggang pasut lebih dari 4 m memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap kenaikan muka laut dibandingkan daerah tunggang pasut rendah (<1 m).

- Arus dekat pantai. Arus dekat pantai dibangkitkan oleh pasang surut dan gelombang pecah pada sudut tertentu terhadap garis pantai (arus sejajar pantai dan *rip currents*). Arus ini berkontribusi terhadap erosi dasar laut dan garis pantai.
- Badai. Badai yang menyebabkan kenaikan muka laut dibangkitkan oleh angin ekstrem. Kombinasi pasang tinggi dan badai menghasilkan gelombang pasang yang dapat merusak daerah pesisir seperti tsunami. Selain merusak infrastruktur, gelombang pasang juga dapat mengubah garis pantai.
- Kenaikan Muka Laut. Kenaikan muka laut merupakan bahaya yang paling berkaitan dengan isu perubahan iklim. Hal ini terjadi akibat dari kenaikan temperatur sehingga es di kutub mencair.
- Proses Kemiringan. Proses kemiringan termasuk luasan daerah interaksi darat dan laut yang menghasilkan runtuhan tebing pantai. Proses ini melibatkan proses-proses terestrial seperti hujan dan rembesan air dan pelapukan tanah, dan pemotongan pangkal tebing oleh kekuatan gelombang.
- Pergerakan Tanah secara Vertikal. Permukaan tanah dapat bergerak karena pembalikan isostatik, pemadatan akibat akumulasi sedimen pada delta, penurunan tanah dari pemindahan air dan minyak, serta gempa bumi.

Selain faktor-faktor fisika yang berpengaruh terhadap erosi pantai dan penggenangan pesisir, faktor manusia berperan paling besar terhadap kerusakan pantai. Aktivitas manusia mempercepat terjadinya erosi pantai, kerusakan pantai, dan juga kerusakan hutan bakau serta terumbu karang. Gambar 3-4 menunjukkan pengaruh faktor manusia terhadap erosi pantai dalam ruang dan waktu.



Gambar 3-4 Pengaruh faktor manusia terhadap erosi pantai dalam skala ruang dan waktu (Bird, 1993)

3. KARAKTER FISIK WILAYAH PANTAI INDONESIA

Secara geografis, Indonesia terletak di antara Benua Australia dan Asia, serta di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Sedangkan secara geografis, Indonesia terletak di 6°LU (Lintang Utara) - 11°LS (Lintang Selatan) dan 95°BT (Bujur Timur) - 141°BT (Bujur Timur).

3.1. Kondisi Geologi dan Geomorfologi

3.1.1. Kondisi Geologi

Indonesia adalah daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasifik. Di bagian utara berbatasan dengan lempeng Eurasia atau yang lebih dikenal sebagai Paparan Sunda. Di bagian barat dan selatan adalah lempeng Indo-Australia. Dan di sebelah timur dibatasi oleh lempeng dasar Samudra Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara, sampai di Kepulauan Aru, sedangkan dengan Pasifik di utara Papua dan Maluku Utara.

3.1.2. Kondisi Tektonik

Indonesia yang terletak di pertemuan tiga lempeng aktif (lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng pasifik) berpotensi sangat tinggi terhadap terjadinya gempa bumi. Zona subduksi dari pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia menyebabkan terbentuknya deretan gunung berapi yang berada di Bukit Barisan di Pulau Sumatera, deretan gunung berapi di sepenjang Pulau Jawa, Bali, dan Lombok. Lempeng tersebut terus bergerak sepanjang waktu, sehingga mengalami gesekan dan benturan yang cukup keras. Gesekan tersebut mengakumulasikan energi dalam jangka waktu yang panjang. Gempa-gempa yang cukup kuat bersumber dari titik pertemuan akumulasi energi lempeng tersebut di zona subduksi. Oleh karena itu, titik gempa di Indonesia tersebar hampir di seluruh nusantara.

3.1.3. Kondisi Geomorfologi, Topografi Dan Batimetri

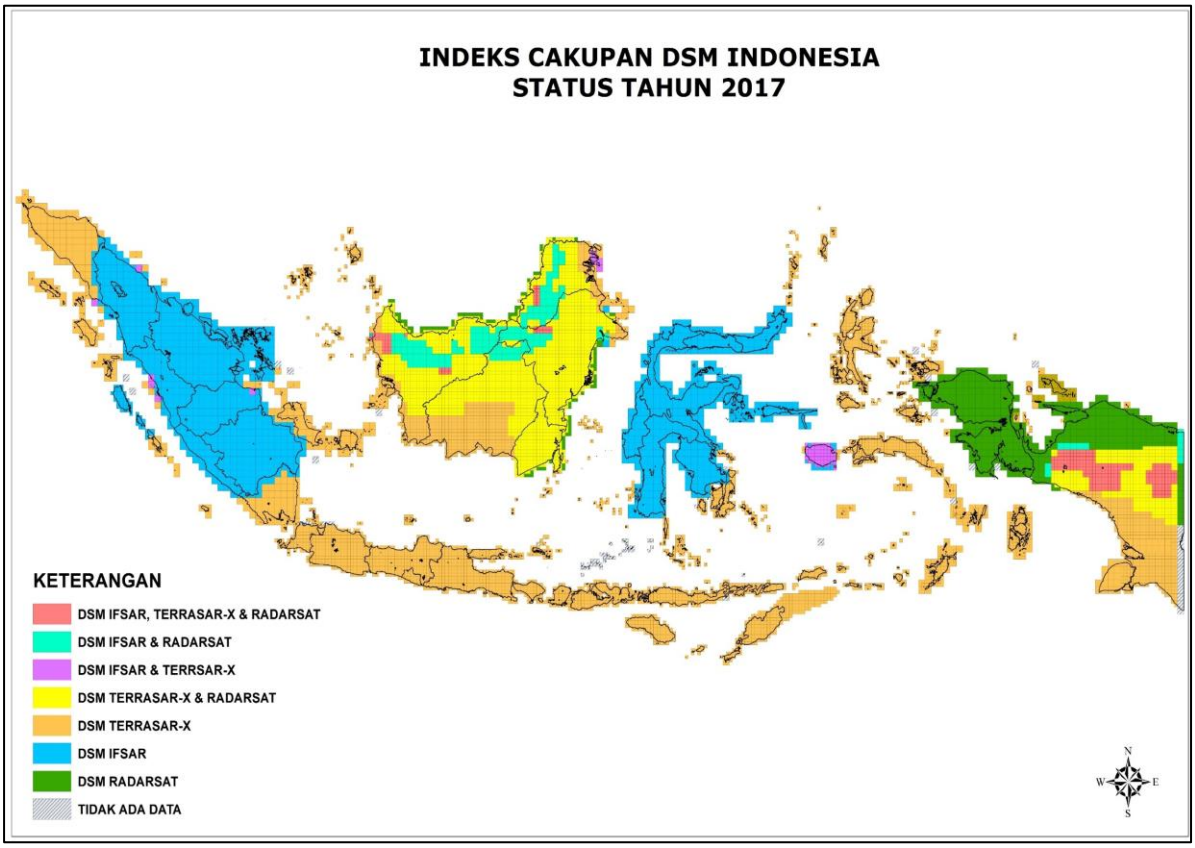
Secara fisiografis, Indonesia didominasi oleh dua paparan yaitu Paparan Sunda dan Paparan Sahul. Paparan tersebut tersusun dari kenampakan geologi berupa laut dalam, palung, dan busur kepulauan. Daerah paparan ini tersusun atas batuan sedimen pra-tersier dan batuan beku kristalin, serta batuan metamorf. Paparan Sahul merupakan bagian dari lempeng Australia yang terdiri dari Irian Jaya, Laut Arafuru, dan bagian selatan kearah Australia, sedangkan paparan Sunda merupakan bagian dari lempeng Eurasia yang terdiri dari selatan Malaka, Sumatera, Jawa dan Kalimantan, sebagian Laut Jawa, dan sebagian Laut Cina Selatan.

Secara topografi, Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17000 pulau. Pulau-pulau di Indonesia memiliki karakteristik yang berbeda-beda yang terdiri dari dataran rendah, dataran tinggi, bukit-bukit dan pegunungan. Kondisi batimetri di Indonesia pun sangat beragam. Pola batimetri yang berkembang memperlihatkan morfologi dasar lautnya mengikuti garis pantai dan pola hasil tektonik. Laut Jawa yang merupakan sistem Paparan Sunda (*Sunda Shelf*) mempunyai kedalaman dasar laut rata-rata 50 m, sedangkan Laut Flores dan Laut Banda yang merupakan laut tepi mempunyai kedalaman lebih 5000 m.

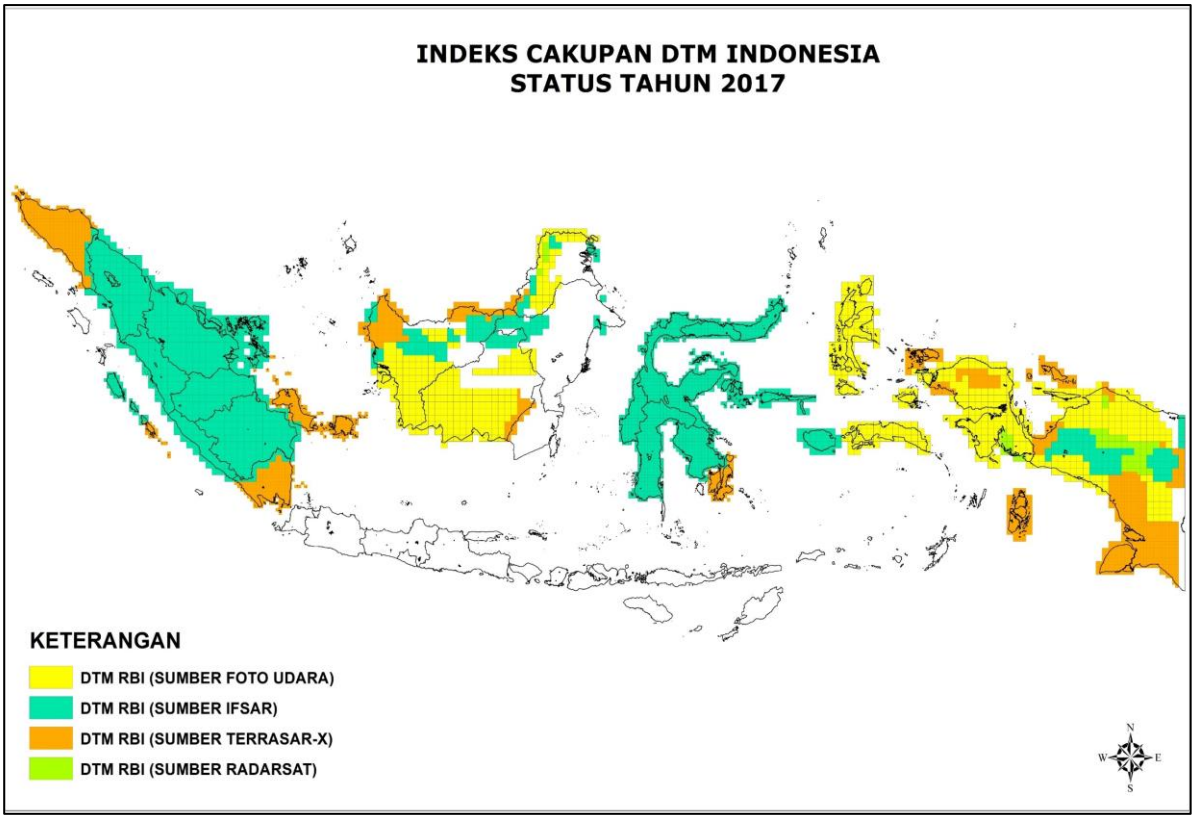
Kondisi geomorfologi, topografi dan batimetri di Indonesia memiliki peranan penting terhadap analisis kerentanan pesisir. Penyempurnaan yang dilakukan untuk pendekatan CVI pada kajian ini antara lain melalui analisis data *Digital Elevation Model (DEM)* yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data ini terdiri dari dua macam jenis data (ketersediaan datanya dpat dilihat pada Gambar 3-5 dan 3-6), yaitu:

a. *Digital Surface Model (DSM)* adalah data topografi yang masih mencakup seluruh informasi permukaan bumi dan
b. *Digital Terrain Model (DTM)* yaitu data topografi yang sudah diproses untuk "menghilangkan" informasi muka bumi untuk mendapatkan profil daratannya.

Kajian ini memerlukan data topografi (DTM) yang detail di daerah pesisir seluruh Indonesia, data topografi (DTM) ini sudah cukup banyak tersedia di Indonesia namun dengan kualitas data yang berbeda-beda. Topografi yang bagus cukup banyak tersedia di luar Pulau Jawa seperti di Sulawesi dan pesisir Sumatera, sedangkan di Pulau Jawa sendiri masih berbentuk DSM.



Gambar 3-5 Ketersediaan Data DSM Indonesia



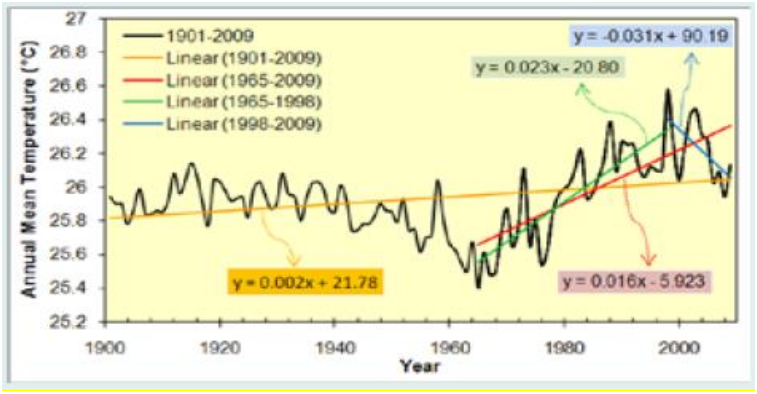
Gambar 3-6 Ketersediaan Data DTM Indonesia

3.2. Kondisi Iklim Wilayah Indonesia

Indonesia merupakan daerah beriklim tropis. Letaknya yang berada di ekuator menyebabkan Indonesia selalu dilintasi oleh matahari sepanjang tahun. Akibat pergerakan matahari yang melintasi ekuator, Indonesia mengalami dua musim utama yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Iklim di Indonesia secara umum dipengaruhi oleh sirkulasi muson yang mengendalikan pola tahunan curah hujan di sebagian besar wilayah. Musim kemarau terjadi ketika matahari sedang berada di Belahan Bumi Utara (BBU) sehingga angin bergerak dari Benua Australia membawa udara kering. Ketika matahari sedang berada di Belahan Bumi Selatan (BBS), angin bergerak dari Benua Asia yang mengandung uap air sehingga terjadi musim penghujan di Indonesia.

3.2.1. Kondisi Suhu Udara

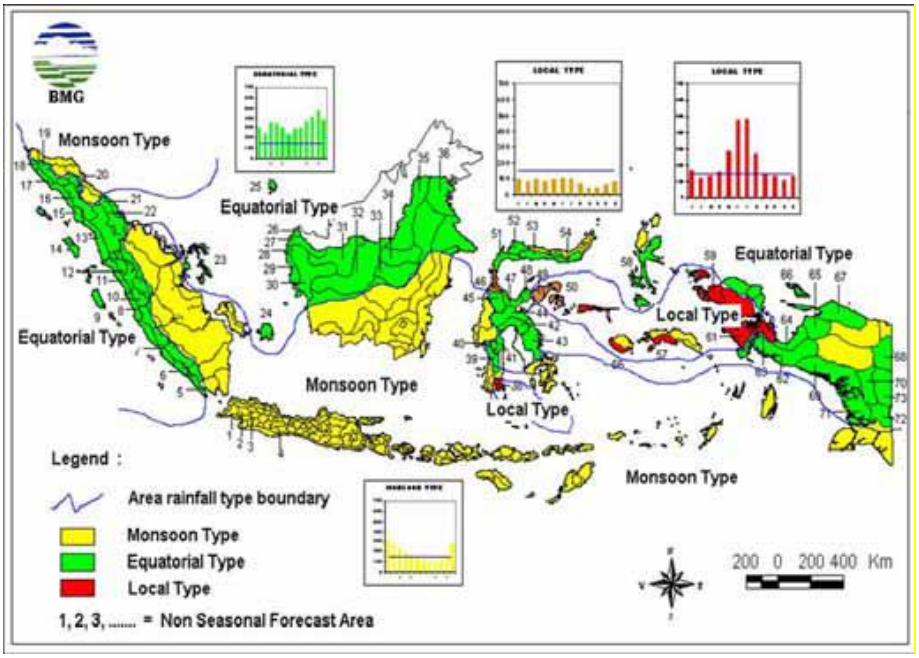
Variabilitas kondisi temperatur udara permukaan di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3-7. Berdasarkan gambar tersebut temperatur udara di Indonesia dari tahun 1901 hingga 2009 rata-rata temperatur udara tahunan paling rendah adalah sebesar 25,4^{o}C dan yang paling tinggi yaitu sekitar 26,6^{o}C. Pengaruh pemanasan global dalam kenaikan temperatur permukaan di Indonesia dapat diperkirakan tidak lebih besar dari 1,0°C selama abad ke-20. Kenaikan temperatur udara permukaan tersebut dapat terjadi sebagai indikasi dari adanya isu perubahan iklim akibat meningkatnya kandungan CO_2 dan emisi gas rumah kaca lainnya.



Gambar 3-7 Tren temperatur rata-rata tahunan untuk wilayah daratan di Indonesia (6°LU - 11°08'LS dan 95°BT - 141°45'BT) berdasarkan data dari CRU TS3.1. (Bappenas, 2014)

3.2.2. Kondisi Curah Hujan

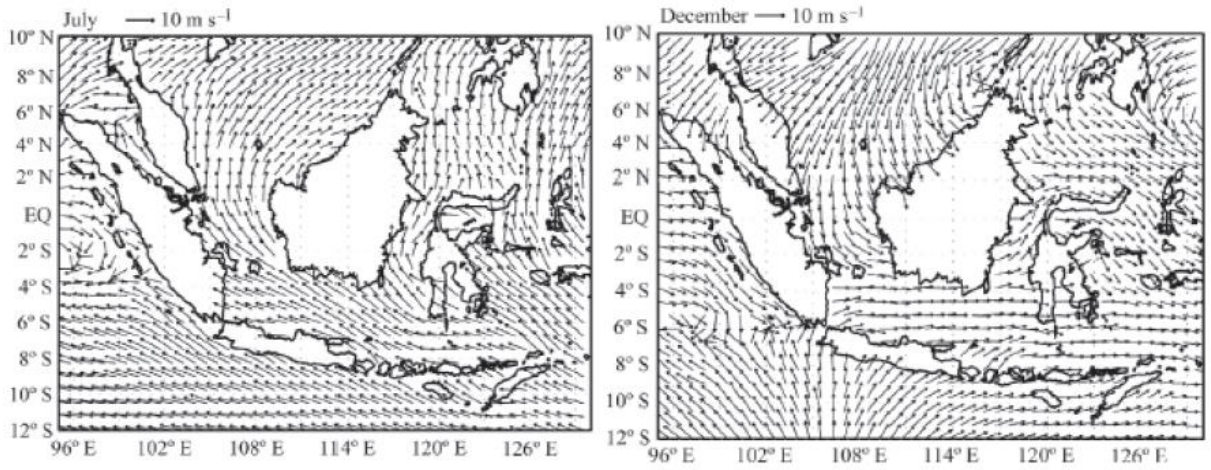
Indonesia memiliki kondisi curah hujan yang bervariasi secara spasial dan temporal. Banyaknya curah hujan yang diterima dipengaruhi oleh letak Indonesia yang berada di daerah tropis sehingga menyebabkan atmosfer di Indonesia mengandung banyak uap air. Beberapa kajian mencoba menggolongkan pola musiman curah hujan di berbagai wilayah di Indonesia berdasarkan tiga tipe hujan (Gambar 3-8), yakni monsunal, ekuatorial, dan lokal (Boerema, 1938; Aldrian dan Susanto, 2003).



Gambar 3-8 Peta tipe hujan di Indonesia yang digunakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG; Makmur dalam Bappenas, 2014)

3.2.3. Kondisi Angin Permukaan

Indonesia merupakan negara yang dipengaruhi oleh sistem angin antar-bulanan akibat angin monsun. Sistem angin monsun terjadi akibat adanya gerak semu matahari yang bergerak secara periodik melewati ekuator. Hal ini menyebabkan posisi matahari yang terkadang berada di BBS atau BBU sehingga terjadi perbedaan tekanan atmosfer dan perubahan arah angin. Angin monsun dibagi menjadi dua yaitu monsun barat dan monsun timur (Gambar 3-9).



Gambar 3-9 Sistem angin munson barat (kanan) dan munson timur (kiri) di Indonesia (Swardika dkk., 2011)

3.3. Kondisi Perairan Laut Indonesia

Laut Indonesia memiliki luas lebih kurang 5,6 juta km^2 dengan garis pantai sepanjang 81000 km, dengan potensi sumberdaya, terutama perikanan laut yang cukup besar. Baik dari segi kuantitas maupun diversitasnya, perairan Indonesia merupakan tempat melintasnya aliran arus lintas antara Samudera Pasifik dan Samudera Indonesia, sehingga merupakan wilayah yang memegang peranan penting dalam sistem arus global yang menentukan variabilitas iklim nasional, regional dan global dan berpengaruh terhadap distribusi dan kelimpahan sumberdaya hayati.

3.3.1. Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut (SPL) adalah salah satu parameter fisik oseanografi yang digunakan sebagai salah satu faktor penentu kualitas suatu perairan. SPL dipengaruhi oleh radiasi matahari, arus laut, dan gerak vertikal air laut (*upwelling* dan *downwelling*). Pada umumnya SPL di perairan Indonesia bernilai di atas 28^{o}C pada bulan Januari dan ketika bulan Agustus SPL lebih rendah dari 27^{o}C.

3.3.2. Tinggi Permukaan Laut

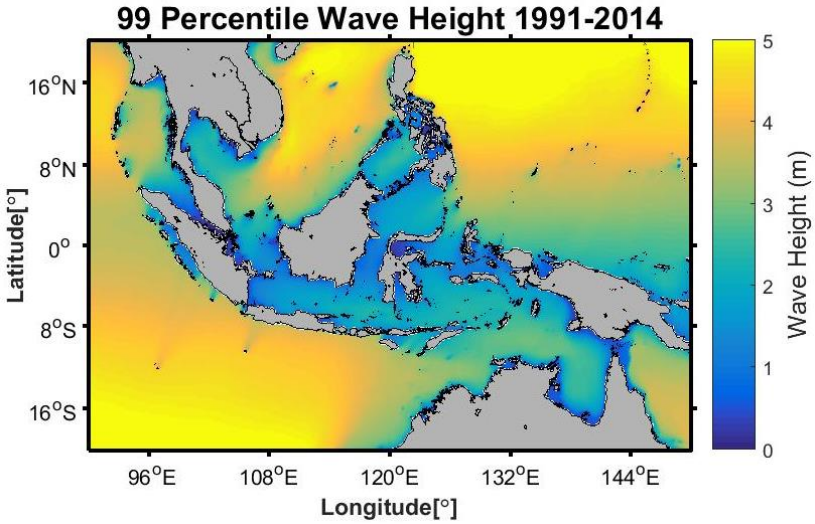
Tinggi permukaan laut (TML) adalah tinggi muka laut yang dihitung terhadap acuan titik nol. TML berfluktuasi harian akibat adanya pasang surut. Sirkulasi muson juga memberi pengaruh terhadap TML musiman. Secara umum, TML pada bulan Januari mengalami kenaikan dan pada bulan Agustus cenderung lebih rendah. Dalam Bappenas (2010b) dilaporkan bahwa pada saat terjadi El Niño, TML di wilayah Indonesia turun sekitar 20 cm di bawah normal dan pada periode La Niña naik sebesar 10-20 cm. Kenaikan TML secara sesaat dan dalam periode tertentu disebabkan juga oleh fenomena cuaca dan iklim yang lebih tidak teratur kejadiannya seperti badai tropis dan gangguan cuaca lainnya.

3.3.3. Arus Laut

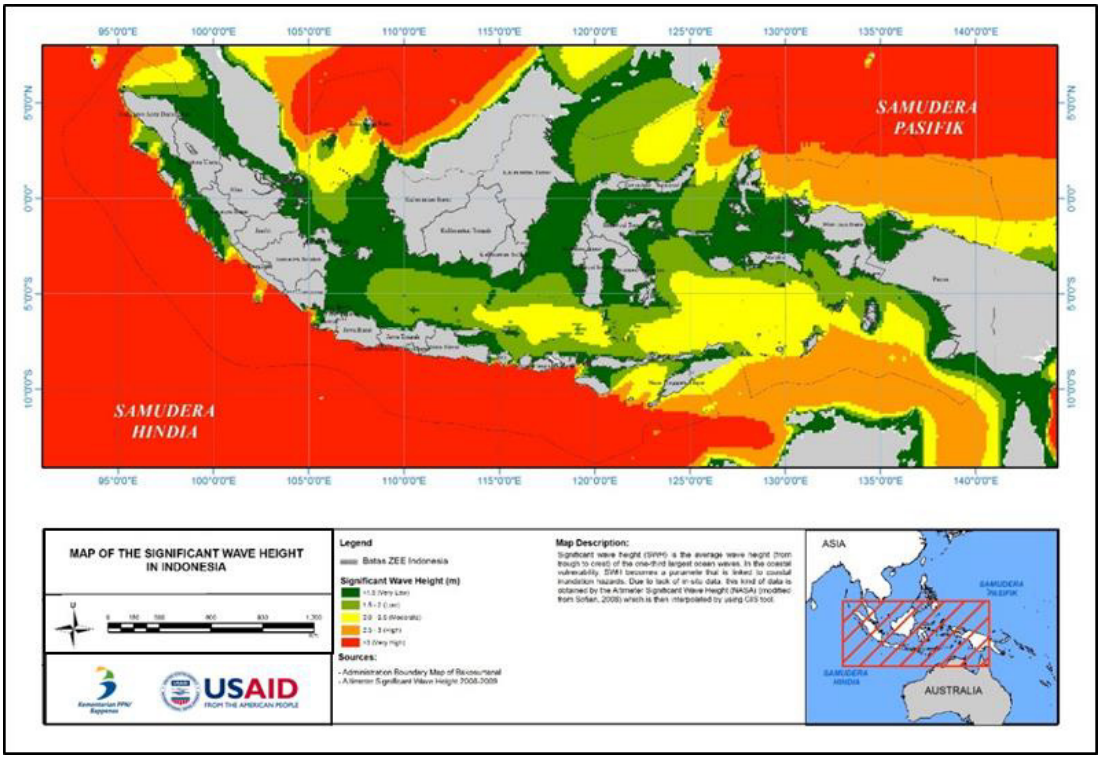
Arus adalah suatu proses pergerakan massa air menuju kesetimbangan yang menyebabkan perpindahan horizontal dan vertikal massa air. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Arus laut (*sea current*) adalah gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping). Sedangkan menurut Hadi dan Radjawane (2011), arus laut adalah gerakan horizontal massa air laut yang disebabkan oleh gaya penggerak yang bekerja pada air laut seperti stres angin, gradien tekanan (ditimbulkan oleh gradien densitas horizontal, pengaruh angin, dan gradien tekanan atmosfer), serta gelombang laut dan pasang surut.

3.3.4. Gelombang

Gelombang laut umumnya dipengaruhi oleh angin, dalam pembangkitannya sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, durasi angin serta daerah panjang pembentukan gelombang (*fetch*). Perbedaan angin monsun yang terjadi di Indonesia pada setiap musimnya menyebabkan terjadinya perbedaan tinggi gelombang dan arah penjalarannya. Gambar 3-10 menunjukkan 99 persentil rata-rata tinggi gelombang pada tahun 1991-2014 di Indonesia. Berdasarkan hasil plot spasial tinggi gelombang di daerah yang berbatasan langsung dengan laut lepas memiliki tinggi gelombang lebih dari 3 m. Sedangkan tinggi gelombang di perairan yang diapit oleh pulau tinggi gelombangnya berkisar antara 1-2 m. Sedangkan Gambar 3-11 memperlihatkan tinggi gelombang signifikan.



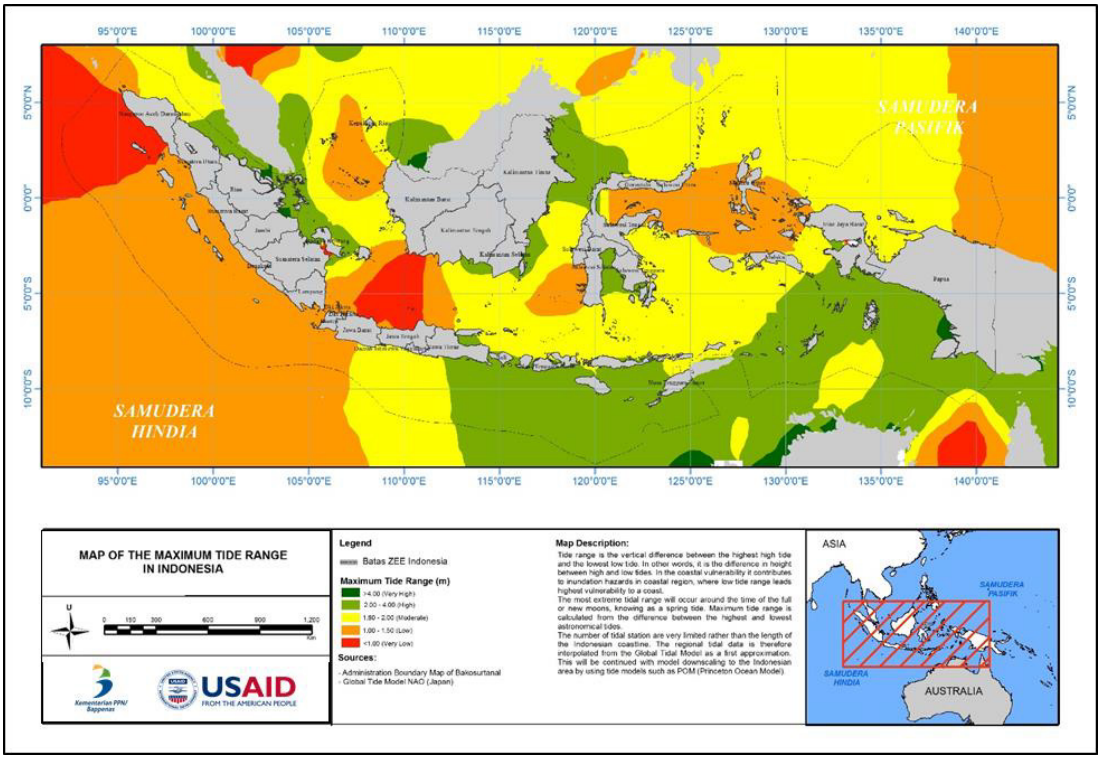
Gambar 3-10 Tinggi gelombang 99 persentil di Indonesia tahun 1991-2014 (Sofyan, 2014)



Gambar 3-11 Peta tinggi gelombang signifikan di Indonesia

3.3.5. Pasang Surut Laut

Pasang surut adalah fenomena naik turunnya muka laut terhadap suatu datum (*bench mark*) akibat pengaruh gaya tarik bulan, matahari, dan benda-benda langit lainnya, serta dimodifikasi oleh faktor-faktor lokal seperti bentuk garis pantai, topografi dasar, dan efek meteorologis. Tipe pasang surut di Indonesia dipengaruhi oleh pasang surut dari Samudera Hindia dan Samudera Pasifik sehingga membantuk berbagai tipe baik bertipe diurnal, semi diurnal maupun yang bertipe campuran semi diurnal, sangat tergantung pada lokasinya. Pada Gambar 3-12 berikut ini diperlihatkan rentang tunggang pasang surut di Indonesia.



Gambar 3-12 Tunggang pasang surut di perairan Indonesia

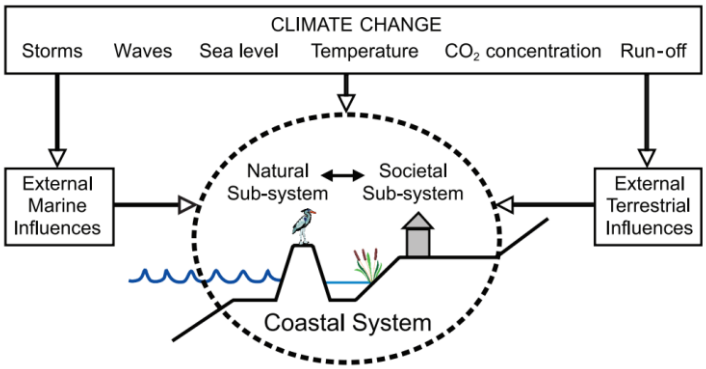
3.4. Peruntukan Wilayah Pesisir Indonesia

Pada umumnya, wilayah pesisir merupakan daerah dengan aktivitas yang sangat tinggi dalam segi ekonomi dan sosial. Fungsi wilayah pesisir pada dasarnya adalah untuk produksi makanan, pemasok air dan energi. Jika dilihat dari segi sosialnya, wilayah pesisir berfungsi sebagai kawasan permukiman dan rekreasi. Secara ekonomi, pesisir difungsikan sebagai kawasan transportasi komersil, pertambangan, dan pembangunan industri. Sedangkan fungsi publik pada pesisir yaitu sebagai transportasi umum, perlindungan dan distribusi air limbah. Kawasan pesisir juga merupakan sumber dari energi terbarukan seperti energi panas laut, energi arus, energi gelombang, energi pasang surut, energi konversi dari gradien salinitas, dan energi biokonversi laut.

3.5. Identifikasi Bahaya Pesisir Indonesia

Salah satu sektor yang secara langsung terancam terhadap bahaya kenaikan muka laut akibat perubahan iklim adalah sektor pesisir dan kelautan di mana didalamnya terdapat sub-sistem sosial (manusia dan aktivitasnya) dan sub-sistem alami (ekosistem) wilayah pesisir dan kelautan menghadapi bahaya dari laut akibat kenaikan muka laut serta perubahan parameter-parameter laut lainnya yang disebabkan perubahan iklim seperti badai pasut (rob), gelombang badai, ENSO terhadap wilayah

pesisir, serta pangaruh dari daratan seperti limpasan curah hujan, dan sedimentasi menyebabkan perubahan lingkungan (Gambar 3-13).



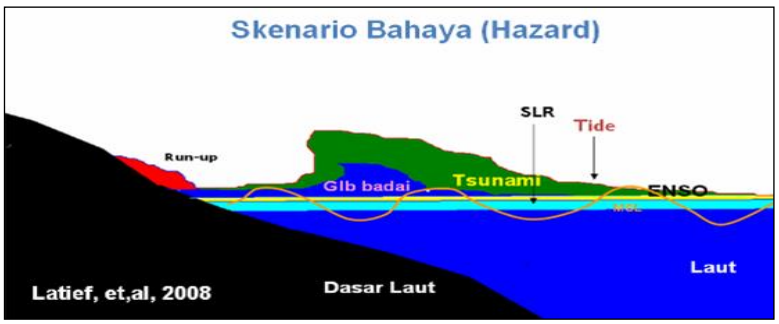
Gambar 3-13 Bahaya di dalam sistem pesisir (IPCC AR-4, 2007)

Potensi dampak dari ancaman yang berasal dari laut dan darat yang berpotensi menyebabkan perubahan lingkungan wilayah pesisir dan laut adalah sebagai berikut:

- Penggenangan lahan basah dan dataran rendah serta hilangnya pulau-pulau kecil
- Erosi pantai dan pengurangan lahan pesisir
- Perubahan kisaran pasang surut di teluk dan di muara sungai
- Kerusakan ekosistem pesisir (mangrove, terumbu karang, padang lamun, dan estuari)
- Intrusi air asin dan penurunan kualitas air.
- Banjir dan suplai sedimen ke wilayah pesisir akibat perubahan curah hujan dan limpasan permukaan
- Meningkatkan frekuensi *overtoping* pada bangunan pantai
- Perubahan pola arus, baik secara horisontal maupun vertikal (*upwelling* dan *downwelling).*

Potensi rendaman di wilayah pesisir sebenarnya adalah kenaikan permukaan laut relatif terhadap tinggi muka laut rata-rata (*mean sea level*/MSL) yang disebabkan oleh berbagai elemen bahaya (kombinasi dari elemen-elemen tersebut digambarkan secara skematis pada Gambar 3-14) yang dipicu oleh perubahan iklim seperti:

- Bahaya yang berhubungan dengan pasang surut (*tide*), seperti rob atau *storm tide*.
- Bahaya kenaikan muka laut global,
- Bahaya aikbat variabilitas oseanografi musiman atau dekadal (ENSO),
- Bahaya yang terkait dengan gelombang badai (*storm surge*).

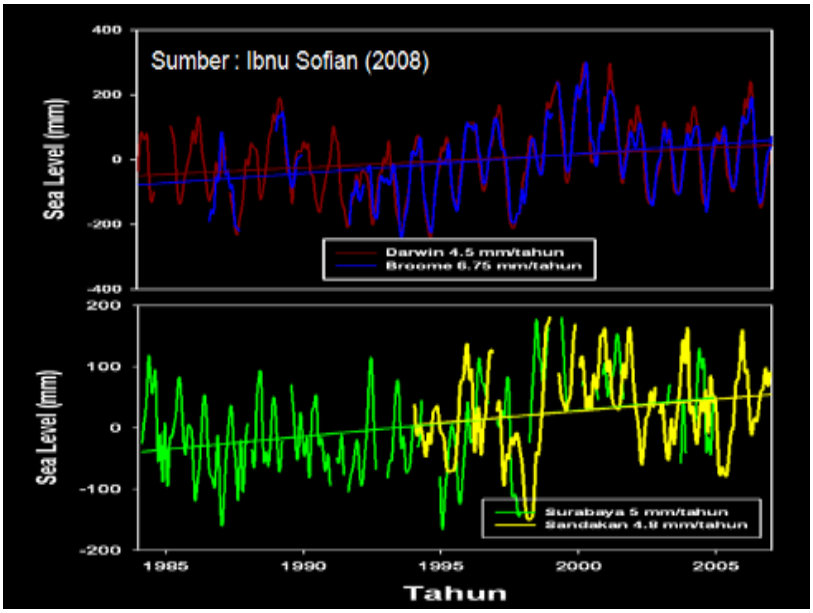


Gambar 3-14 Skematis kombinasi berbagai elemen penyebab kenaikan muka laut (Latief dkk, 2008)

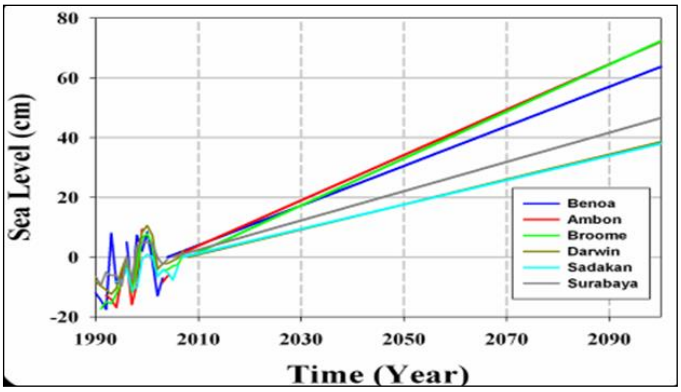
3.5.1. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Pasang Surut

Dalam menganalisis kenaikan muka laut, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah penentuan elemen bahaya berdasarkan tinggi pasang surut maksimum saat purnama (MHWS = *Mean High Water Springs*). Kondisi pasang surut dapat diwakili oleh data dari stasiun yang datanya tersedia. Tinggi pasang surut saat purnama ditentukan berdasarkan data prediksi pasang surut selama 1 (satu) tahun kemudian ditentukan tinggi maksimumnya.

Analisis tren kenaikan muka laut dilakukan dengan mengggunakan data pasang surut berdurasi panjang, sebagai contoh adalah data pasang surut yang tersedia dari stasiun Darwin, Brome (Australia), Surabaya dan Sandakan (Malaysia Timur) dengan periode data tahun 1980-2005. Data ini memperlihatkan bahwa terjadi tren kenaikan muka laut dengan besaran masing-masing 4,5 mm/tahun di Darwin, 6,75 mm/tahun di Brome, 5,0 mm/tahun di Surabaya dan 4,8 mm/tahun di Sandakan (Gambar 3-15). Dengan menggunakan analisis regresi linier memperlihatkan bahwa kenaikan muka laut pada tahun 2100 berkisar 39-42 cm terjadi di Surabaya, Sandakan dan Darwin, sedangkan di Benoa, Brome dan Ambon terjadi kenaikan muka laut berkisar 62-70 cm. Hasil perhitungan proyeksi kenaikan muka laut menggunakan data pasut secara regresi linear dan diekstrapolasi hingga tahun 2100 dapat dilihat pada Gambar 3-16.



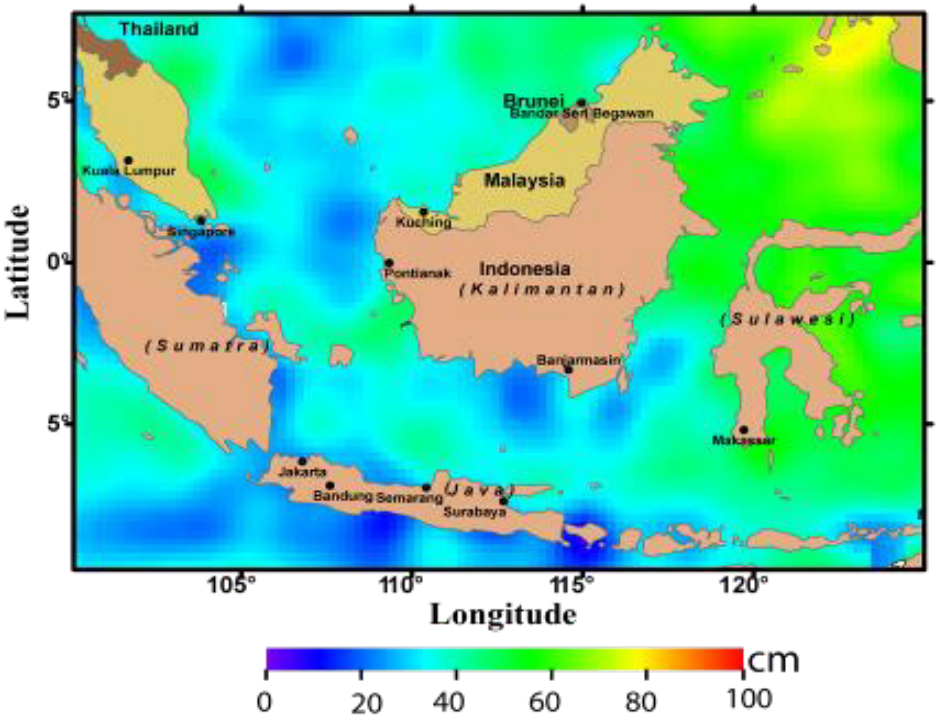
Gambar 3-15 Tren kenaikan muka laut di Darwin, Broome, Surabaya dan Sandakan dari data pasang surut (Sofian, 2008)



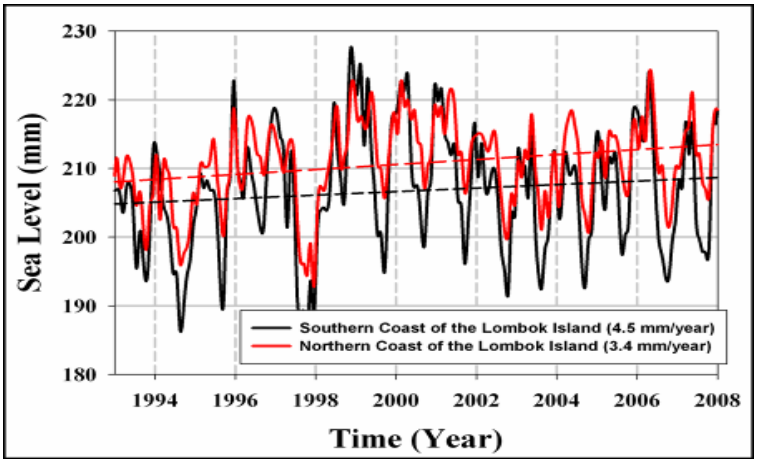
Gambar 3-16 Proyeksi kenaikan muka laut di Benoa, Ambon, Broome, Darwin, Sandakan dan Surabaya berdasarkan analisis regeresi linear (Sofian, 2008)

3.5.2. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri

Kenaikan tinggi muka laut di perairan Indonesia dapat dihitung berdasarkan data satelit altimetri (AVISO) seperti terlihat pada Gambar 3-17 Hasil *downscaling* data satelit altimetri Gambar 3-18 memperlihatkan bahwa laju kenaikan tinggi muka laut di utara dan selatan Pulau Lombok masing-masing sekitar 3,4 cm/dekade dan 4,5 cm/dekade. Disini terlihat jelas bahwa dinamika oseanografi di bagian Selatan lebih dinamis dibandingkan dengan bagian utara Pulau Lombok. Ini dikarenakan di bagian selatan merupakan perairan terbuka menghadap Samudera Hindia, sedangkan di bagian utara menghadap ke perairan tertutup Laut Jawa dan Laut Flores.



Gambar 3-17 Distribusi kenaikan tinggi muka laut sampai tahun 2100 berdasarkan data satelit altimetri (Sofian, 2008)

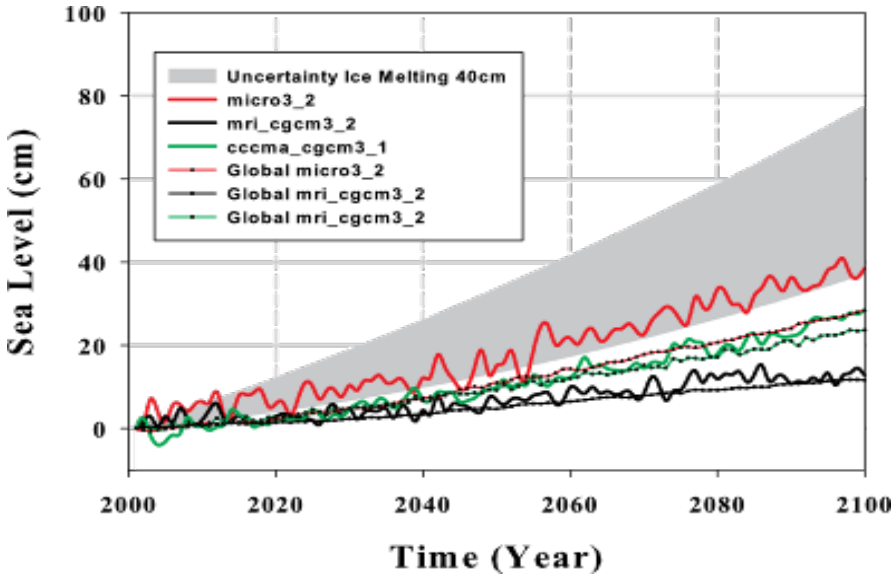


Gambar 3-18 Tren kenaikan tinggi muka laut berdasarkan data satelit altimetri (Sofian, 2008)

3.5.3. Analisis Kenaikan Muka Laut Berdasarkan Data Model IPCC

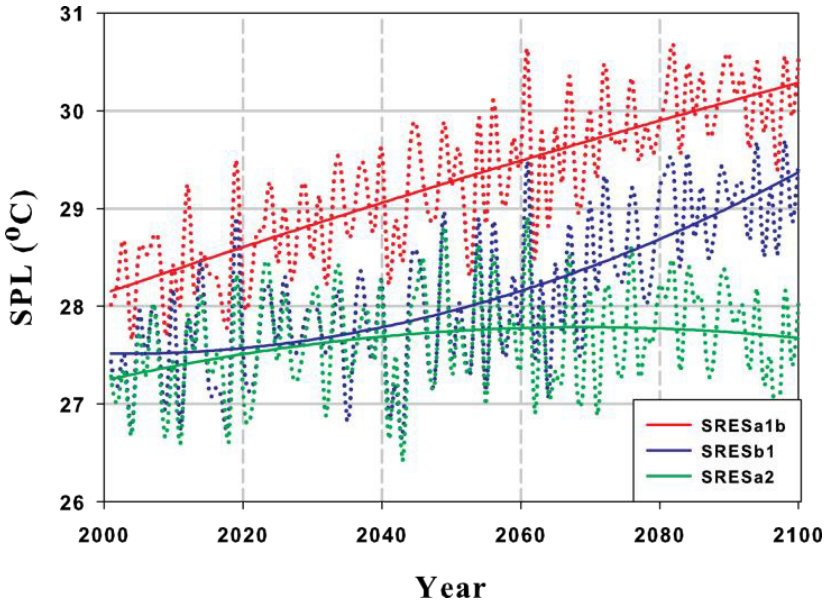
Kenaikan tinggi muka laut di perairan Lombok bervariasi antara 40 cm sampai 80 cm di tahun 2100. Besaran ini diperoleh berdasarkan hasil perhitungan model laut dari IPCC dengan nilai kenaikan muka

laut karena mencairnya es sebesar 40 cm (lihat Gambar 3-19). Perhitungan model kenaikan tinggi muka laut ini kurang sempurna karena adanya pengaruh pencairan es, baik di Kutub Utara maupun Kutub Selatan, sehingga tingkat kepercayaan dari hasil prediksi ini menjadi rendah.



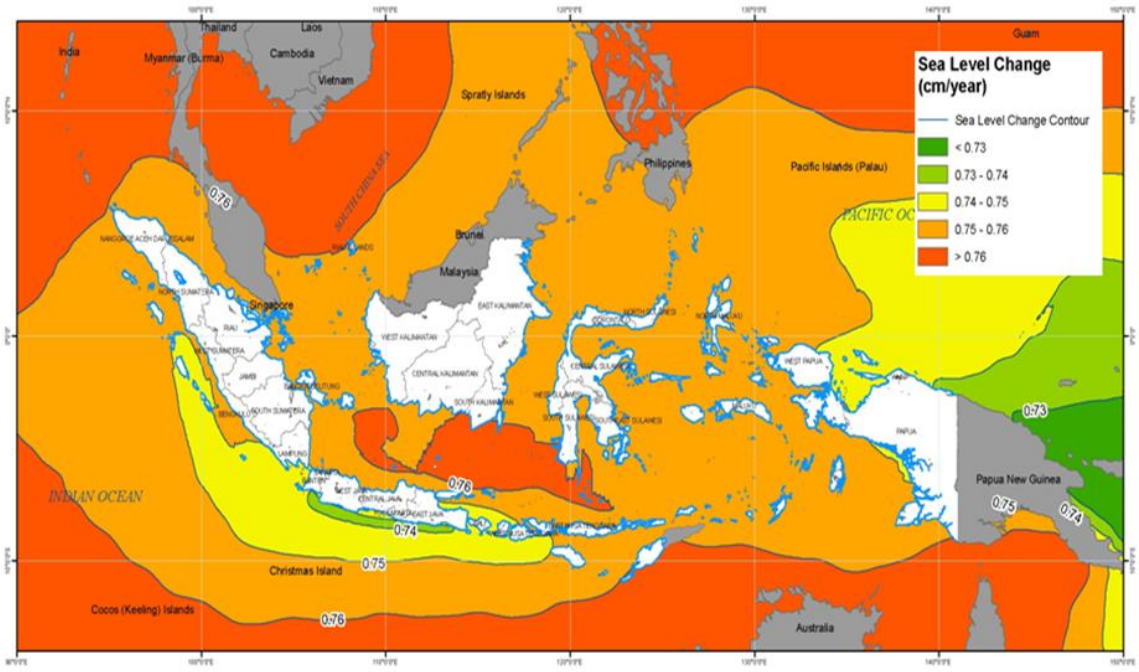
Gambar 3-19 Proyeksi kenaikan tinggi muka laut berdasarkan model IPCC (Sofian, 2008)

Gambar 3-20 memperlihatkan kenaikan suhu permukaan laut (SPL) sebesar 3^0C-$3{,}5^0$C pada tahun 2100. Dengan asumsi kenaikan 1^0C suhu permukaan laut (SPL) ekuivalen dengan kenaikan tinggi muka laut (TML) sebesar 20 cm, maka kenaikan muka laut pada tahun 2100 berkisar antara 60 cm-70 cm. Nilai kenaikan ini masih ada dalam kisaran kenaikan muka laut dari hasil perhitungan baik secara regresi data pasang surut maupun dengan model IPCC.



Gambar 3-20 Tingkat kenaikan SPL berdasarkan IPCC SRES, menggunakan model MRI_CGCM 3.2

Selanjutnya Gambar 3-21 memperlihatkan laju kenaikan muka laut global di perairan Indonesia yang didapatkan berdasarkan hasil di atas.



Gambar 3-21 Perubahan kenaikan muka laut di perairan Indonesia

Resume proyeksi kenaikan muka laut dari hasil perhitungan menggunakan data stasiun pasang surut, satelit altimetri, dan model IPCC tersebut beserta probabilitasnya dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti pada studi yang dilakukan di daerah pantai utara Pulau Lombok (Tabel 3-1).

Tabel 3-1 Detail hasil perhitungan proyeksi kenaikan muka laut di pantai utara Pulau Lombok

Tahun Proyeksi	Proyeksi Kenaikan Muka Laut dari Tahun 2000 Pantai Utara Pulau Lombok			Probabilitas
	Data Pasut	Data Satelit Altimetri	Model IPCC	
2020	10 cm	7 cm – 8 cm	5,1 cm – 12,9 cm	Moderat hingga tinggi
			3,4 cm – 9,4 cm	
			6,7 cm – 15,5 cm	
2050	25 cm	17,5 cm – 20 cm	13,6 cm – 33,4 cm	Moderat hingga tinggi
			11,2 cm – 20 cm	
			16,2 cm – 35 cm	
2080	40 cm	28 cm – 32 cm	27,1 cm – 59 cm	Tinggi
			24,1 cm – 55 cm	
			24,1 cm – 56 cm	
2100	50 cm	35 - 40 cm	37,8 cm – 78 cm	Tinggi
			5,1 cm – 12,9 cm	
			3,4 cm – 9,4 cm	

3.5.4. ENSO dan Badai Tropis

Fenomena El Niño secara umum menyebabkan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia menjadi berkurang. Sedangkan fenomena La Niña menyebabkan kenaikan curah hujan. Besar penurunan atau kenaikan curah hujan tergantung lokasi dan intensitas El Niño atau La Niña. Kejadian El Niño mempengaruhi penurunan elevasi rata-rata muka laut. Ketika terjadi El Niño, angin monsun timur melemah dan angin monsun yang berasal dari barat laut banyak mengandung uap air karena melewati banyak perairan. Sebagian besar angin tersebut berbelok menuju daerah yang bertekanan

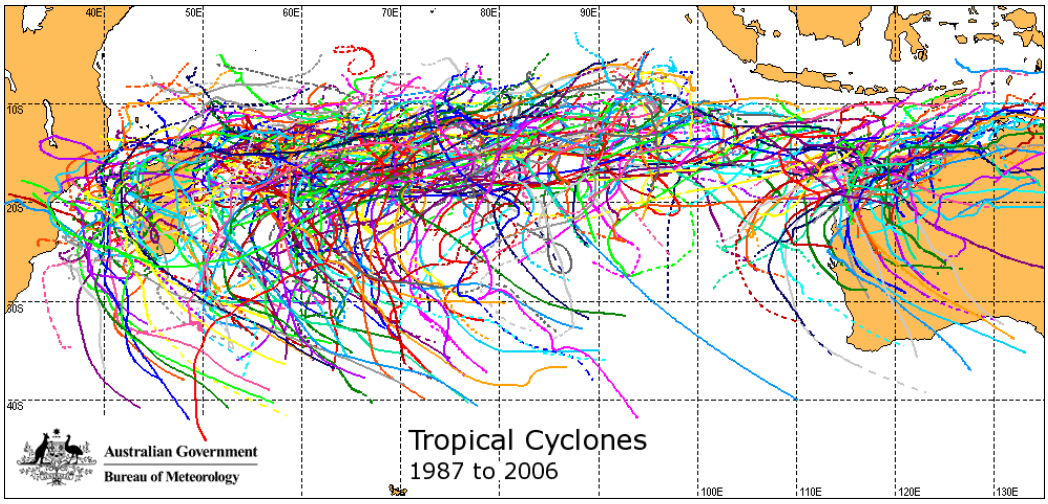
lebih rendah (pantai barat Amerika Selatan), sehingga Indonesia mengalami musim kemarau. Sedangkan kejadian La Niña mempengaruhi kenaikan elevasi rata-rata muka laut. Pada saat terjadi La Niña, angin monsun Timur cenderung menguat dan banyak membawa massa air ke arah barat. Sehingga Indonesia mengalami musim hujan. Kenaikan muka laut oleh pengaruh variabilitas oseanografi (ENSO) ini adalah berkisar 0,2 m.

Siklon tropis secara umum terjadi pada musim angin barat dan peralihan ke musim angin timur (Desember–April), di mana paling sering terjadi pada bulan Januari dan Februari (Hadi, 2008). Pola musiman inilah yang menjadi faktor bahwa kejadian cuaca ekstrem dapat dipengaruhi oleh perubahan iklim global, di mana pola tersebut akhir-akhir ini lebih sering "diganggu" oleh kejadian El Niño dan La Niña. Selama kejadian El Niño, daerah yang berpotensi siklon tropis di barat Pasifik cenderung bergeser ke arah timur menjauhi perairan Indonesia, sebaliknya siklon tropis semakin banyak terjadi selama kejadian La Niña karena suhu muka laut semakin meningkat.

Badai tropis dapat menimbulkan kondisi alam yang tidak beraturan. Kegiatan awan badai bisa disebut ekstrem bila terjadi:

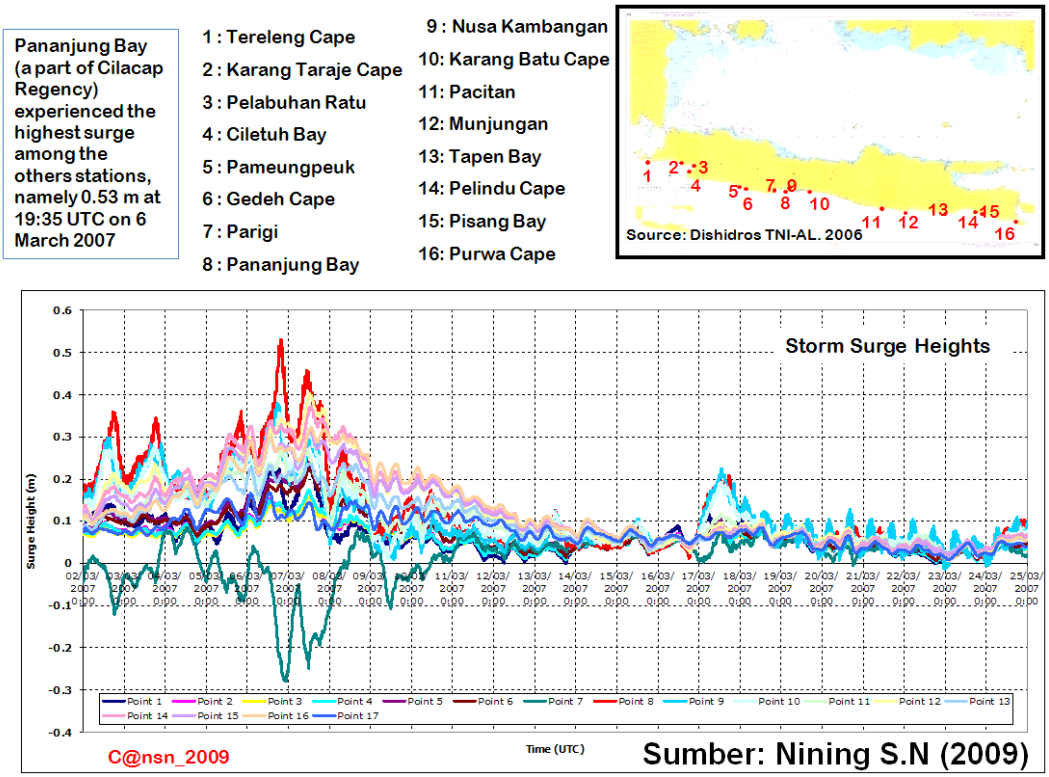
- hujan deras berintensitas tinggi (hujan badai), yang dapat menimbulkan dampak turunan (banjir, rusaknya infrastruktur jembatan dan bendungan).
- angin kencang yang berputar dan berubah arah dengan kecepatan 60-350 km/jam (angin badai) yang dapat menerbangkan atap rumah, dan merobohkan pohon dan papan reklame, serta menganggu sistem transportasi laut.
- gelombang badai *(storm surges*) yang dibangkitkan badai tropis

Lintasan badai tropis di Samudera Hindia diberikan oleh BOM Australia (2006) seperti diperlihatkan pada Gambar 3-22.



Gambar 3-22 Lintasan siklon tropis di Samudera Hindia (BOM Australia, 2006)

Apabila badai tropis terjadi di tempat yang relatif jauh maka gelombang badai yang dibangkitkan akan menjalar berbentuk alun (*swell*) yang dapat menjangkau pesisir Indonesia seperti Badai Jacob yang terjadi pada tahun 2007. Badai ini melanda pesisir selatan Jawa yang menyebabkan terganggunya transportasi laut dan para nelayan sukar untuk melaut. Melalui pemodelan badai, Ningsih (2009) menunjukkan adanya pengangkatan muka laut rata-rata (MSL) sekitar 50 cm relatif terhadap MSL normal, saat terjadi badai Jacob (Gambar 3-23).

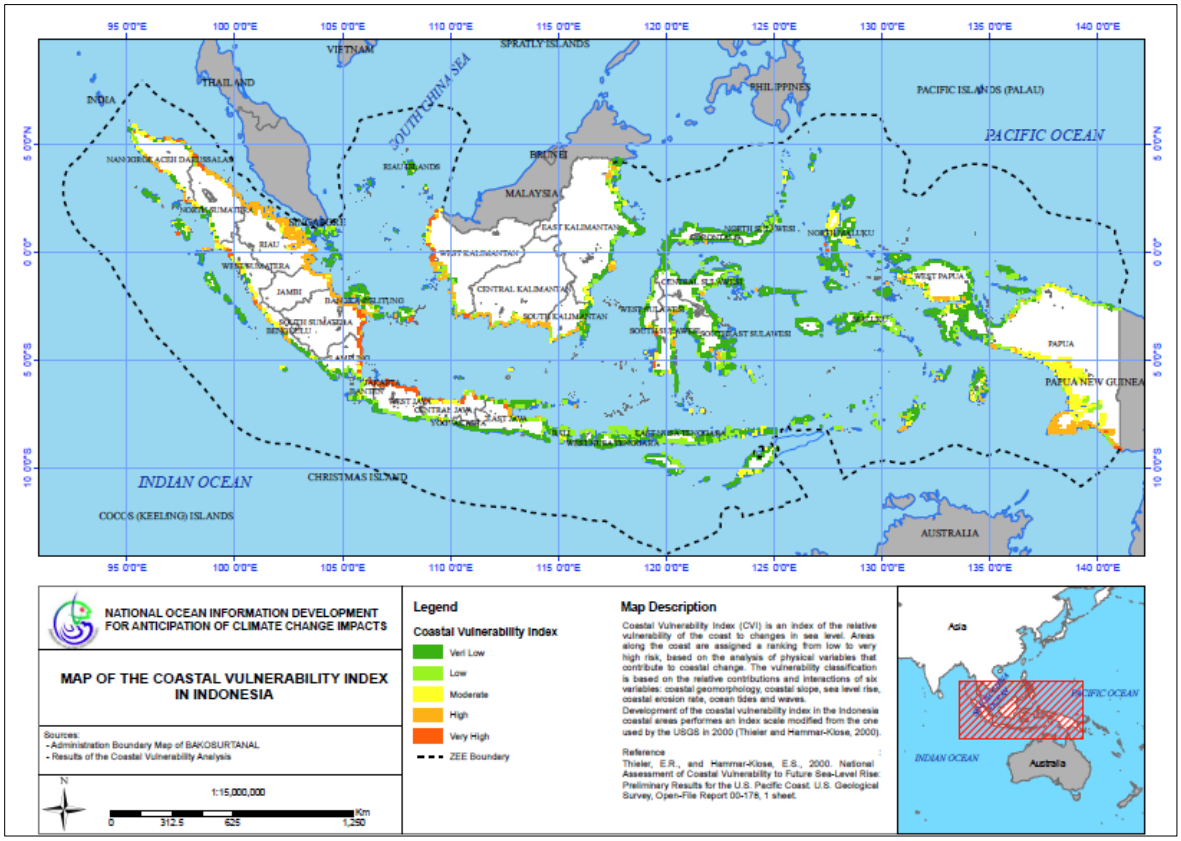


Gambar 3-23 Distribusi tinggi gelombang badai sebagai hasil simulasi model di pantai Selatan Pulau Jawa (Ningsih, 2009)

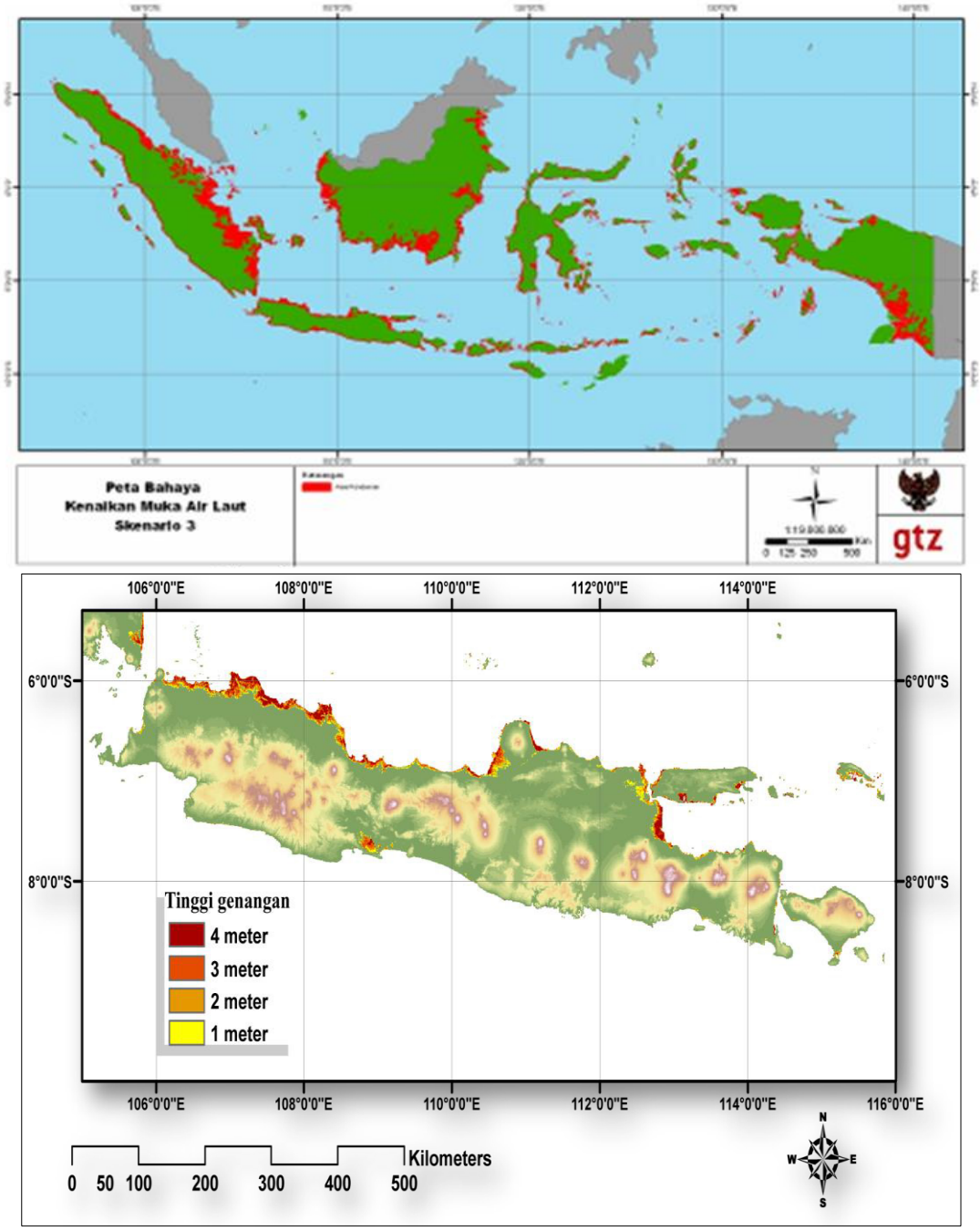
4. INDEKS KERENTANAN PESISIR

Terdapat tiga pendekatan pada kajian bahaya pesisir yang pernah dilakukan di Indonesia, yaitu:

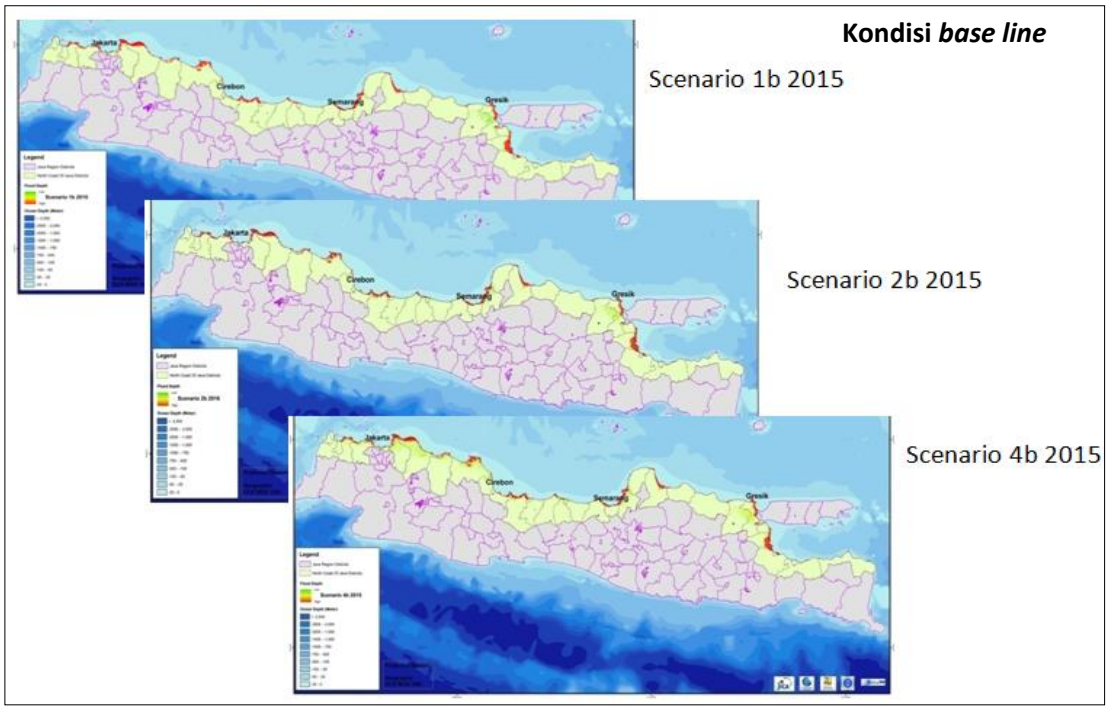
a. Indeks Kerentanan Pesisir (*Coastal Vulnerability Index*, CVI) yang dilakukan oleh Badan Riset Kelautan dan Perikanan – Kementerian Kelautan dan Perikanan atau MMAF di tahun 2010 (Gambar 3-24),
b. Bahaya penggenangan pesisir pada kajian *Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap* Bappenas di tahun 2010 (Gambar 3-25), dan
c. Bahaya penggenangan pesisir di pantai utara Pulau Jawa dan Pantai Mamminasata Sulawesi pada kajian Kementerian Agraria dan Tata Ruang pada tahun 2015 (Gambar 3-26).

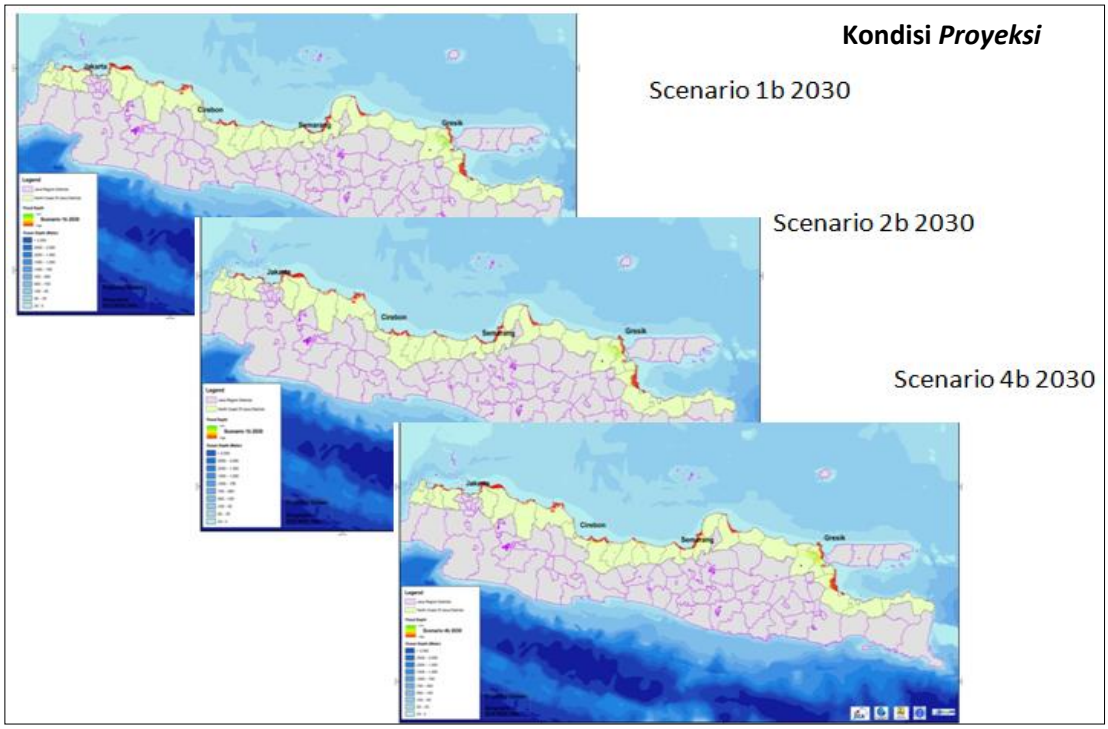


Gambar 3-24 Peta Indeks Kerentanan Pesisir (Coastal Vulnerability Indeks, CVI) (MMAF, 2010)



Gambar 3-25 Peta bahaya penggenangan pesisir pada kajian Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap Bappenas (2010): Seluruh Indonesia (atas) dan contohnya di Pulau Jawa (bawah)





Gambar 3-26 Bahaya penggenangan pesisir di Pantai Utara Pulau Jawa pada kajian Kementerian Agraria dan Tata Ruang (2015): Kondisi baseline (atas) dan proyeksi (bawah)

Pada kajian pembaharuan RAN API tahun 2018 pendekatan CVI akan dimodifikasi melalui pembaharuan data dan metodologi yang digunakan. Adapun metode Indeks Kerentanan Pesisir (*Coastal Vulnerability Indeks, CVI*) yang diuraikan melalui Metode Indeks Kerentanan Pesisir (Thieler dan Hammar-Klose, 2000) diadopsi untuk menilai wilayah pesisir khususnya untuk mengantisipasi kerusakan pantai (abrasi dan akresi) yang dipengaruhi oleh kenaikan muka laut. Metode ini telah digunakan oleh Badan Geologi Amerika Serikat (USGS) di pantai barat dan timur Amerika Serikat dan

Teluk Meksiko pada tahun 1999. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Republik Indonesia juga telah mengadopsi dan menerapkan metode ini untuk mengembangkan CVI Indonesia pada tahun 2010 (MMAF, 2010). CVI merupakan ukuran kerentanan fisik pesisir pada skala nasional. Pemberian indeks memungkinkan variabel fisik dihubungkan secara kuantitatif pada wilayah pesisir Indonesia, di mana dampak kenaikan muka laut mungkin menimbulkan dampak yang terbesar.

Metode ini mempertimbangkan enam parameter fisik yang semuanya terkait dengan bahaya dan potensi kerusakan pantai (atau kerentanan perusakan pantai), yaitu: geomorfologi pesisir, lereng pantai, kenaikan permukaan air laut, tingkat erosi pantai, pasang surut laut dan gelombang (lihat: USGS: Thieler dkk., 2002).

Tabel 3-2 Deskripsi Indeks Kerentanan Pesisir

No	Parameter	Satuan	Desckripsi
1.	Geomorfologi pantai	-	Indikasi kemampuan tererosi dari tipe bentuk daratan dalam satu segmen garis pantai
2.	Laju erosi dan akrasi garis pantai	m/tahun	Indikasi seberapa cepat suatu segemen garis pantai tererosi atau akrasi dan juga sebagai indikasi perubahan garis pantai
3.	Kemiringan lereng pantai	%	Terkait dengan suseptibilitas dari suatu pantai terhadap rendaman dan potensi kecepatan garis pantai maju atau mundur, Bila slop pantainya landau maka lebih cepat mudur dibandingkan dengan slop terjal
4.	Kenaikan muka laut global	mm/tahun	Berkorespondensi terhadap keneikan muka laut global (eustatik) dan juga pergerakan daratan secar isostatis atau tektonik yang mempengaruhi suatu segmen garis pantai
5.	Tenggang pasang surut	meter	Berkontribusi pada bahaya rendaman pesisir berulang atau permanen
6.	Tinggi gelombang	meter	Indikasi energi gelombang yang menggerakan budget sedimen yang mempengaruhi bahaya abrasi dan akrasi, dan juga penetrasi dari bahaya ke arah daratan

Indeks Kerentanan Pesisir yang diadopsi pada tahun 2009 digambarkan menggunakan persamaan berikut:

$$CVI = \sqrt{(a * b * c * d * e * f)/6} \quad (3\text{-}1)$$

Untuk menggambarkan tingkat CVI pada persamaan (3-1), maka Tabel 3-2 menunjukkan enam variabel fisik yang digunakan oleh USGS pada tahun 2000, pada skala linier pada nilai 1-5 untuk menunjukan tingkat kerentanan terhadap kenaikan permukaan laut. Dalam konteks ini, nilai 1 menunjukkan tingkat kerentanan terendah, sementara nilai 5 mewakili tingkat kerentanan tertinggi. Nilai parameter data-data di atas mencakup informasi kuantitatif dan kualitatif. Dengan demikian, variabel numerik diberikan tingkat kerentanannya berdasarkan rentang nilai data, sedangkan variabel geomorfologi non-numerik digolongkan berdasarkan resistansi relatif dari bentuk lahan yang diberikan terhadap erosi.

Tabel 3-3 Peringkat Indeks Kerentanan Pesisir (Kasus USGS: 2000)

No	Parameter	Satuan	Ranking				
			Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
			1	2	3	4	5
(a)	Geomorfologi pantai		Pantai tebing Berbatu,; Fjords; Fiards	Tebing sedang; Pantai berzig-zag	Tebing landai; Dataran alluvial	Pantai berbatu; Estuari; Laguna	Pantai berpasir; Rawa-rawa; daratan berlumpur; Delta; Bakau; Karang
(b)	kelerengan pesisir	%	>0,115	0,115-0,055	0,055-0,035	0,035-0,022	<0,022
(c)	Kenaikan muka laut relatif	mm/ tahun	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
(d)	Shoreline erosion/ akrasi	m/ tahun	>2,0	1,0-2,0	-1,0-+1,0	-1,1- -2,0	<-2,0
(e)	Kisaran pasut maksimum	m	>6,0	4,1– 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,9	<1,0
(f)	Tinggi gelombang signifikan rata-rata	m	<0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25

Metode penilaian kerentanan pesisir seperti diilustrasikan pada Tabel 3-3 kemudian dimodifikasi untuk diterapkan pada pesisir Indonesia. Tabel 3-4 adalah peringkat indeks kerentanan pesisir hasil modifikasi yang diterapkan untuk wilayah pesisir Indonesia. Modifikasi dilakukan sesuai dengan kondisi pesisir di Indonesia dengan mempertimbangkan ketersediaan data yang ada.

Tabel 3-4 Modifikasi Indeks Kerentanan Pesisir di pesisir Indonesia tahun 2010

No	PARAMETER	Satuan	Ranking				
			Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
			1	2	3	4	5
(a)	Kelerengan pesisir	%	>5,0	3,0 – 5,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	<1,0
(b)	Kisaran pasut maksimum	m	>4,0	2,0 – 4,0	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	<1,0
(c)	Tinggi gelombang signifikan rata-rata	m	<0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 1,25	1,25 – 1,50	>1,5
(d)	Kenaikan muka laut relatif	mm/ tahun	<7,3	7,3 – 7,4	7,4 – 7,5	7,5 – 7,6	>7,6
(e)	Geomorfologi pantai		Parameter ini direpresentasikan oleh kombinasi pengaruh dari tipe batuan geologis dan kemiringan lahan di pesisir dengan kriteria sebagai berikut:				
			Batuan vulkanik, terobosan; kemiringan > 5%	Batuan vulkanik, terobosan; kemiringan 3 – 5 %	Batuan sedimen; kemiringan 2 – 3 %	Sedimen lepas; kemiringan 1 – 2 %	Sedimen lepas; kemiringan < 1 %
(f)	Erosi/akresi garis pantai	m/ tahun	Paramater ini mewakili dari pembobotan kombinasi paremeter geomorfologi pantai, slop pantai, dan tinggi gelombang signifikan				

4.1. Data dan Metoda Pengolahan Data

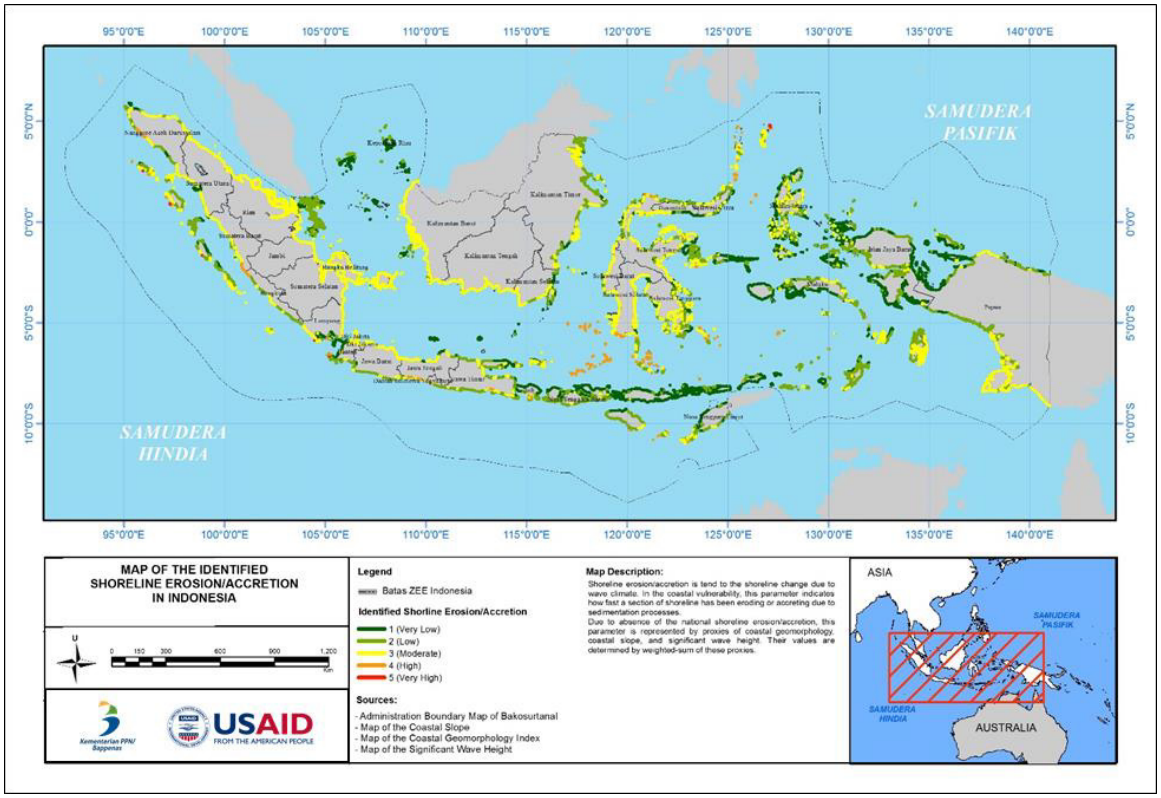
Metode dan data yang digunakan dalam menentukan tingkat kerentanan masing-masing parameter dijelaskan pada Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Data dan metode yang digunakan untuk penentuan CVI

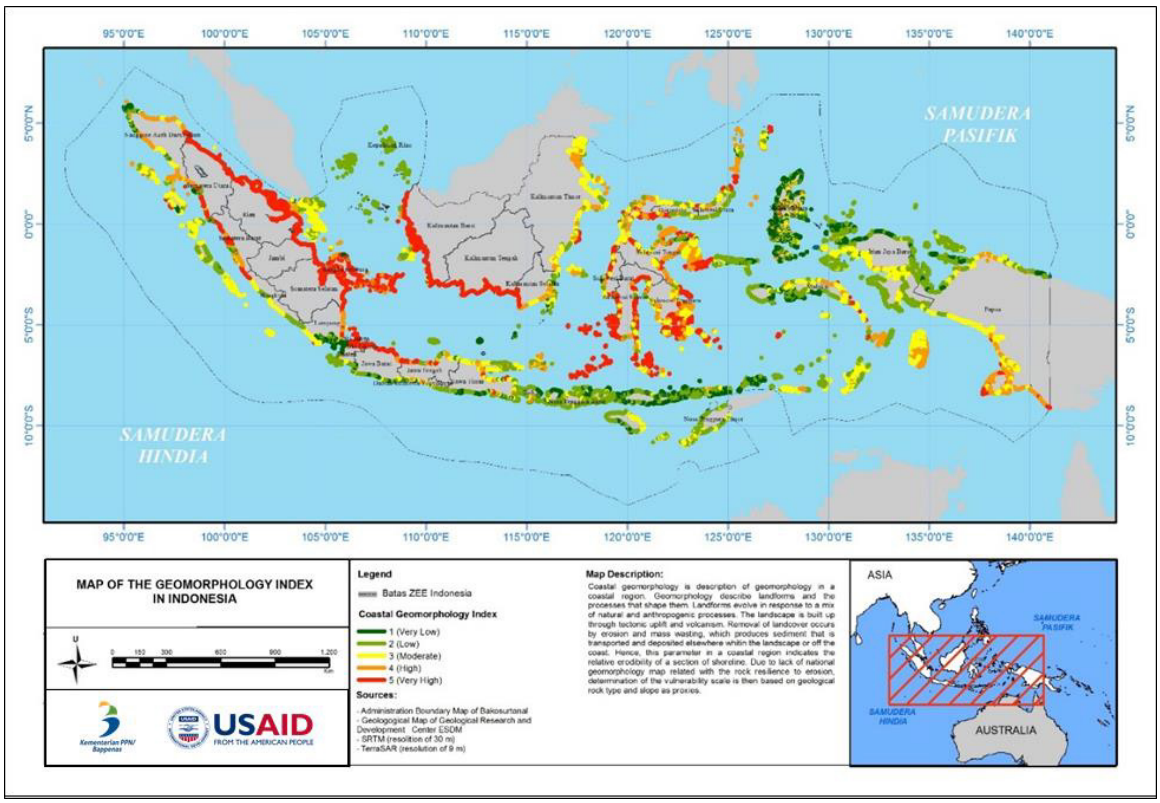
No	Parameter	Metode	Data dan Sumber	Catatan/Batasan
(a)	Kestabilan pantai	• Penentuan skala berdasarkan morfologi pantai, slope pantai, dan material sedimen (sebagai *proxies*)	• Peta geologi dengan resolusi 1 : 250.000 (Badan Geologi, 1996) • Peta batas adminstrasi • Data topografi (DEM) Terasar dari BIG dengan resolusi 9 meter	• Peta geomorfologi nasional dengan ketahanan batu terhadap erosi belum tersedia • Klasisfikasi kekuatan batuan (boulder, gravel, dan pabble) beulm tersedia
(b)	Kenaikan muka laut relatif	• Model IPCC Model melalui *Special Report on Emission Scenario* (SRES) A1B dengan proyeksi CO_2 tahun 2100 adalah 750ppm (*part per million*)	• Model IPCC dan skenario menggunakan Model MRI CGCM2.3 (Japan) • Data pasut dari station BIG sebagai model verifikasi	Distribusi spasial dan temporal dari stasion pasut yang melingkupi seluruh wilayah Indonesia masih sangat tebatas untuk data selama 30 years sebagai bahan untuk dikaji
(c)	Tenggang pasut	• Perhitungan pasut astrinoms terrtinggi (HAT) dan pasut astonois terendah (LAT)	•Data Global Model Pasut NAO.99 (Japan) pada TOPEX/ Poseidon, Jason satellite altimetri database (2004) •Data pasang surut dari BIG sebagai model verifikasi	Dsitribusi spasial dar data stasion pasut tidak mengcover seleuruh wilayah Indonesia
(d)	Tinggi gelombang rata-rata	• Perhitungan tinggi gelombang signifikan	*Live Access Server (LAS) Pasific Marine Enviromental Laboratory NOAA*	Data gelombang in-situ sangat terbatas

Berdasarkan hasil analisis data dari peta geologi dapat diidentifikasi daerah erosi/akrasi seperti pada Gambar 3-27. Sedangkan geomorfologi berdasarakan material penyusun sebagai proksi dapat dilihat pada Gambar 3-28. Selanjutnya Gambar 3-29 memperlihatkan peta kemiringan pantai yang diturunkan dari DEM.

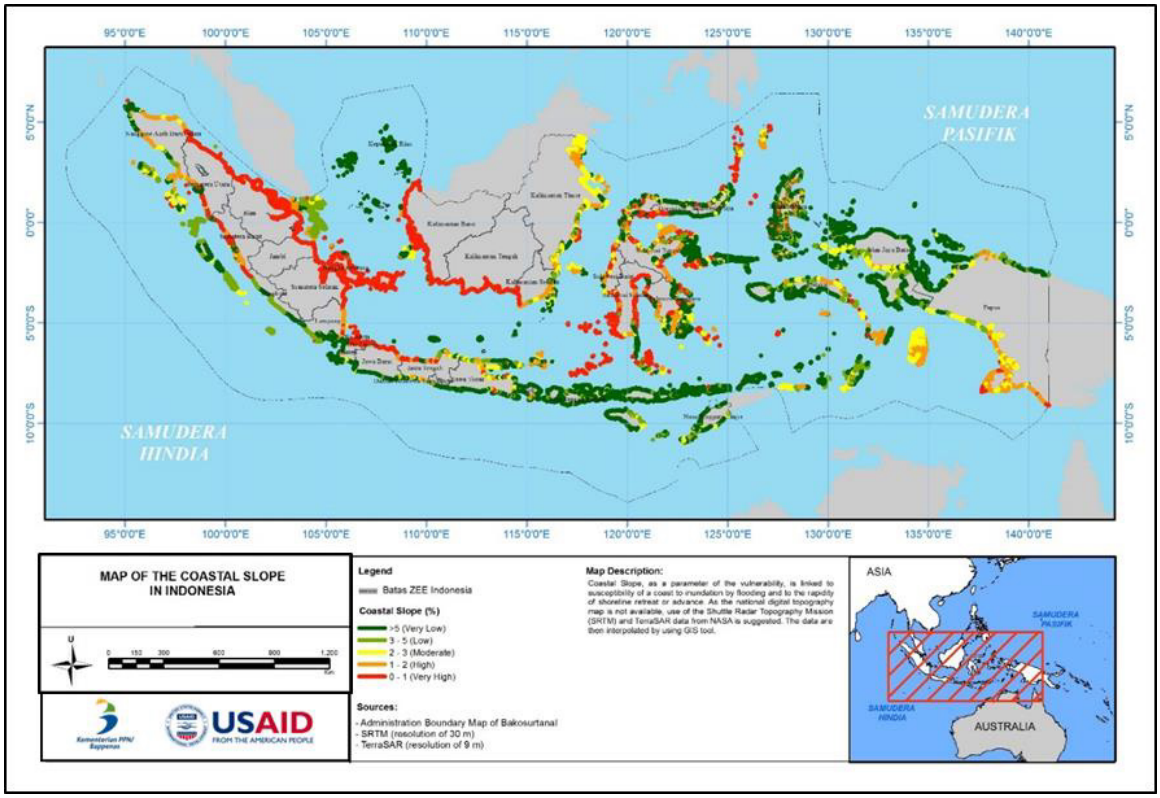
Peta kenaikan muka laut relative dengan menggunakan Model IPCC dan skenario SRES A1B menggunakan Model MRI CGCM2.3 (Japan) disajikan dalam Gambar 3-30. Sedangkan peta tunggang pasang surut disajikan pada Gambar 3-12 dan peta gelombang signifikan untuk proyeksi 2045 disajikan dalam Gambar 3-11.



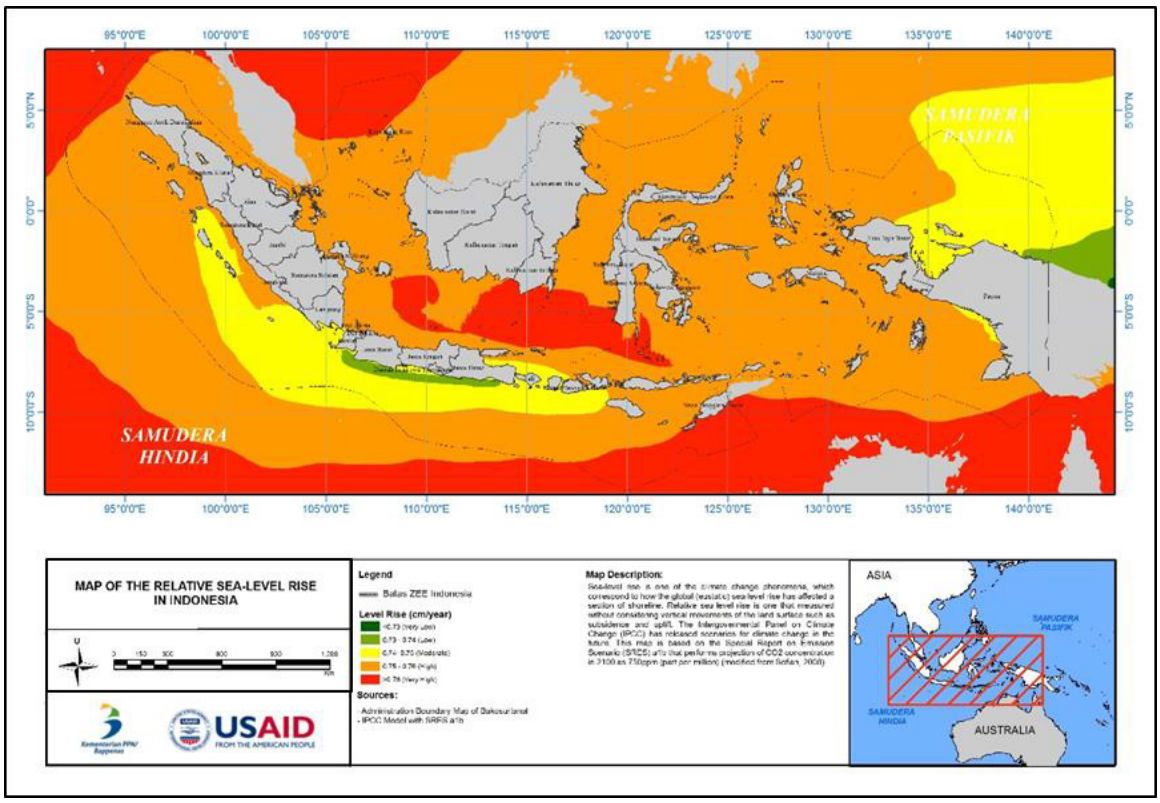
Gambar 3-27 Peta indentifikasi erosi/akresi pantai di Indonesia



Gambar 3-28 Peta indeks geomorfologi di Indonesia



Gambar 3-29 Peta kemiringan pantai di Indonesia



Gambar 3-30 Peta kenaikan muka laut relatif di Indonesia

4.2. Modifikasi Indeks Kerentanan Pesisir Indonesia

Perhitungan nilai CVI pada penelitian ini dilakukan dengan modifikasi dari perumusan yang telah ada sebelumnya. Pembaharuan formulasi indeks ini dilakukan mengikuti perubahan sumber data yang juga telah diperbaharui. Perumusan nilai CVI ini dilakukan dengan menerapkan pembobotan pada masing-masing parameter yang berkontribusi dan disesuaikan dengan kondisi terkini di Indonesia, sehingga dihasilkan persamaan berikut:

$$CVI = a * 0{,}3 + b * 0{,}1 + c * 0{,}2 + d * 0{,}1 + f * 0{,}3 \quad (3\text{-}2)$$

nilai erosi/akresi (*f*) didapatkan dengan persamaan :

$$f = \left(\frac{a+c+e}{3}\right) \quad (3\text{-}3)$$

Tabel 3-6 Modifikasi indeks kerentanan pesisir Indonesia tahun 2018

No	Parameter	Satuan	Ranking				
			Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
			1	2	3	4	5
(a)	Kelerengan pesisir	%	>5,0	3,0 – 5,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	<1,0
(b)	Kisaran pasut maksimum	m	>4,0	2,0 – 4,0	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	<1,0
(c)	Tinggi gelombang signifikan rata-rata	m	<0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 1,25	1,25 – 1,50	>1,25
(d)	Kenaikan muka laut relatif	mm/ tahun	<0,73	0,73 – 0,74	0,74 – 0,75	0,75 – 0,76	>0,76
(e)	Geomorfologi pantai	-	Parameter ini direpresentasikan oleh kombinasi pengaruh dari tipe batuan geologis dan kemiringan lahan di pesisir dengan kriteria sebagai berikut:				
			Batuan vulkanik, terobosan; kemiringan > 5%	Batuan vulkanik, terobosan; kemiringan 3 – 5 %	Batuan sedimen; kemiringan 2 – 3 %	Sedimen lepas; kemiringan 1 – 2 %	Sedimen lepas; kemiringan < 1 %
(f)	Erosi/akresi garis pantai yang teridentifikasi	m/tahun	Parameter ini direpresentasikan oleh kombinasi berbobot dari parameter geomorfologi pantai, kemiringan pantai, dan tinggi gelombang signifikan				
Nilai CVI			< 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,5	3,5 – 4,2	>4,2

Nilai peringkat input dari tiap parameter CVI seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3-6. Perhitungan CVI agregat dibagi menjadi 5 kelas: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi berdasarkan rentang nilai yang telah dijelaskan pada bagian metodologi. Parameter oseanografi (kenaikan muka laut relatif, tunggang pasut maksimal, dan tinggi gelombang signifikan) cenderung memberikan pengaruh dalam skala regional. Sedangkan, parameter ketidakstabilan pesisir yang dikembangkan, terutama dari parameter geologi, cenderung memiliki pengaruh distribusi dalam skala lokal. Faktor lokalitas ini sangat penting dalam penentu tingkat kerentanan pesisir suatu daerah, dan memberikan bobot yang tinggi dalam perumusan nilai CVI tahun 2018. Pada tahun 2018 ini, kualitas data yang digunakan pun ditingkatkan ketelitiannya, seperti penggunaan data topografi dengan data DEM TerraSAR yang mempunyai resolusi 10 meter dan data iklim gelombang maksimum yang telah diproyeksikan hingga tahun 2045.

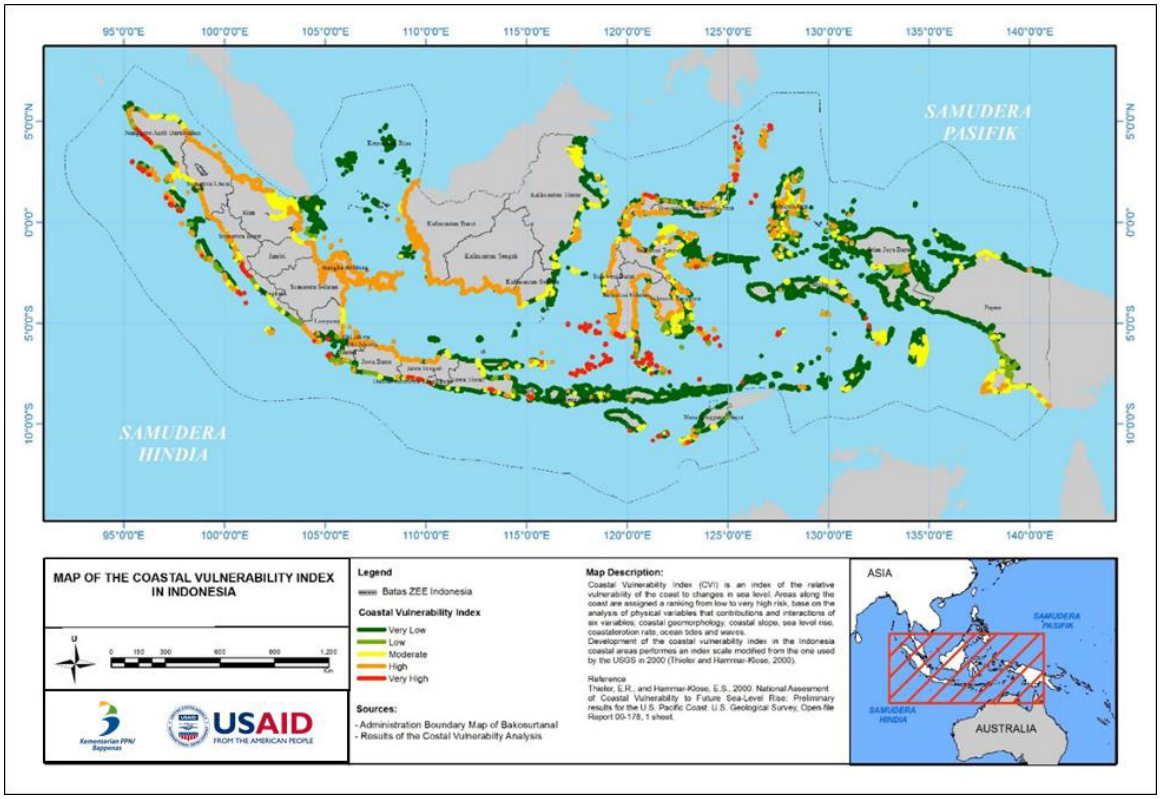
4.3. Hasil Indeks Kerentanan Pesisir Indonesia

Distribusi nilai CVI agregat tahun 2018 sebagai perioda baseline sepanjang garis pantai Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3-31. Sedangkan nilai CVI di wilayah Indonesia pada periode proyeksi 2020-2034 dan 2030-2045 tidak berubah secara signifikan terhadap kondisi baseline tersebut. Hal ini disebabkan oleh beberapa asumsi yang dipengaruhi oleh faktor tidak tersedianya data dan keterbatasan metode analisis dan pemodelan. Beberapa asumsi yang dipengaruhi oleh ketidaktersediaan data adalah: tidak berubahnya kondisi pasang surut yang dipengaruhi oleh faktor peredaran astronomis bulan dan matahari, kondisi geomorfologi pantai, kelerengan, dan akresi/erosi pantai.

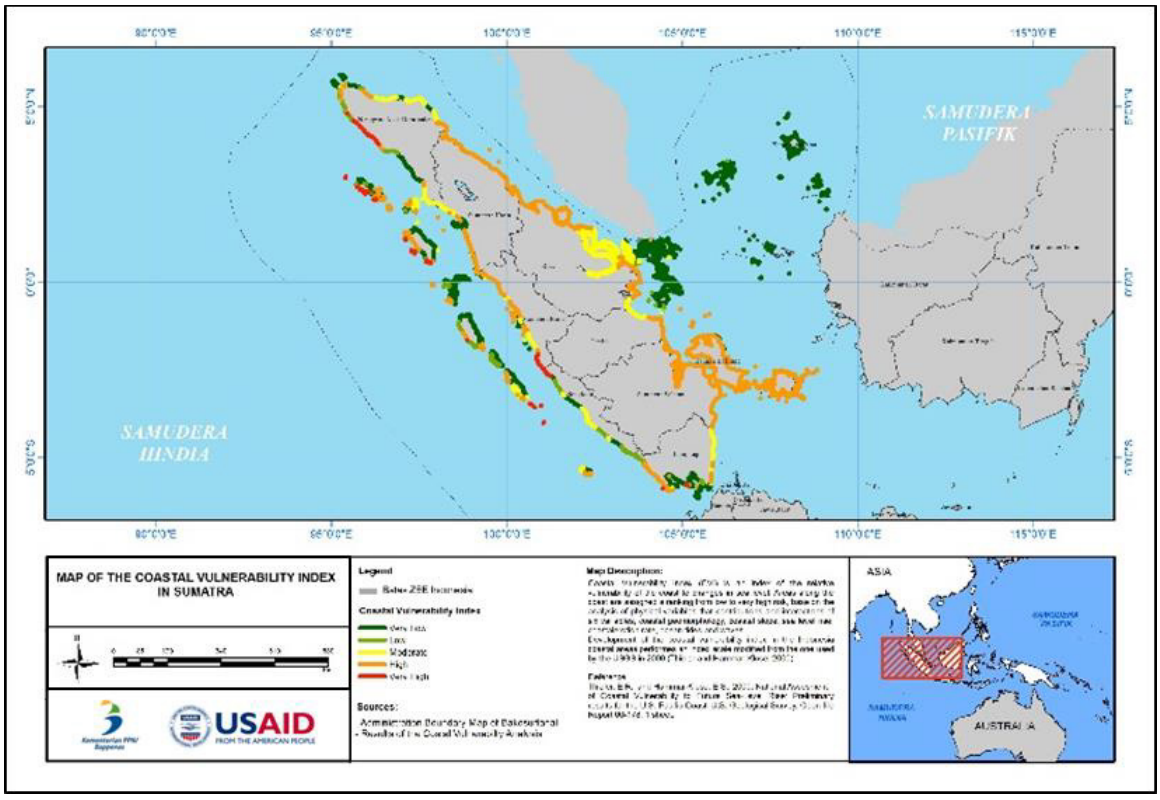
Gelombang laut secara teoritis cukup signifikan dalam mempengaruhi ketidakstabilan pesisir. Namun, pemodelan gelombang yang dilakukan pada kajian ini bersifat regional (wilayah Indonesia), sehingga memerlukan metode pemodelan lebih lanjut yang cukup detail. Dengan demikian maka dapat dimodelkan dampak peninggian gelombang akibat pendangkalan batimetri di sekitar pesisir. Hasil pemodelan ini menunjukkan potensi peninggian gelombang pada periode proyeksi terutama di perairan sekitar Maluku, Papua, Laut Cina Selatan, dan Samudra Hindia, potensi tersebut hanya ditunjukkan di perairan dalam (lepas pantai).

Faktor kenaikan muka laut global juga perlu dimunculkan dalam pemodelan detail pesisir yang disinergikan dengan pemodelan gelombang tersebut. Untuk memunculkan efek kenaikan relatif muka laut global dan efek perubahan tinggi gelombang proyeksi, maka perlu dilakukan analisis lanjut dan lebih detail untuk mendapatkan rendaman wilayah pesisir. Metode detail ini pernah dilakukan untuk wilayah pesisir Pulau Lombok, Pulau Tarakan, Provinsi Sumatera Selatan, Jakarta Utara, bagian utara Pulau Jawa, Maminasata (Sulawesi Selatan), dan Pulau Selayar.

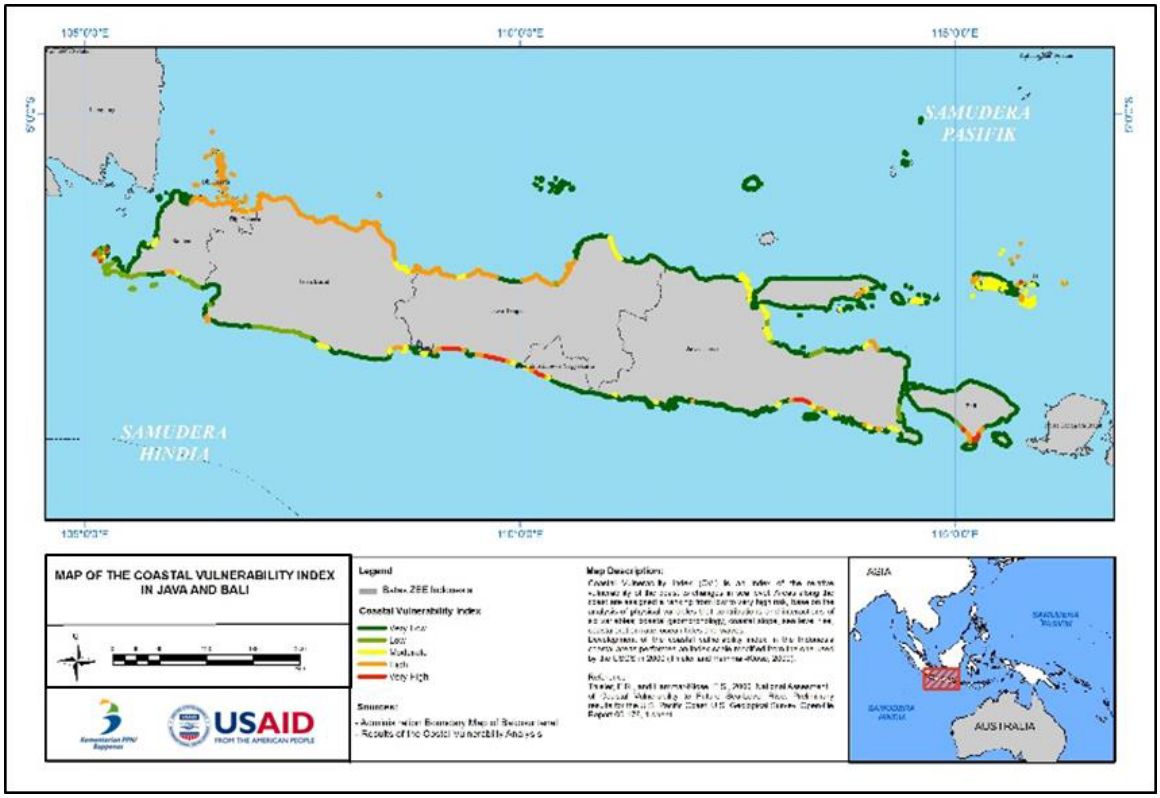
Gambar 3-31 menunjukkan distribusi CVI di Indonesia. Secara keseluruhan, daerah yang memiliki indeks kerentanan tinggi berada di wilayah barat Indonesia sedangkan wilayah Indonesia bagian timur pada umumnya memiliki indeks kerentanan yang lebih rendah. Hasil distribusi nilai CVI yang lebih rinci yang menunjukkan nilai CVI pada wilayah pulau-pulau besar masing-masing untuk Pulau Sumatera (Gambar 3-32), Pulau Jawa-Bali (Gambar 3-33), Pulau Kalimantan (Gambar 3-34), Kepulauan Nusa Tenggara (Gambar 3-35), Pulau Sulawesi (Gambar 3-36), Kepulaun Maluku Utara (Gambar 3-37), Kepulaun Maluku (Gambar 3-38), dan Pulau Papua (Gambar 3-39). Sedangkan Tabel 3-7 dan Tabel 3-8 serta Gambar 3-40 dan Gambar 3-41 menunjukkan total panjang garis pantai masing-masing nilai CVI pada setiap wilayah pulau dan provinsi.



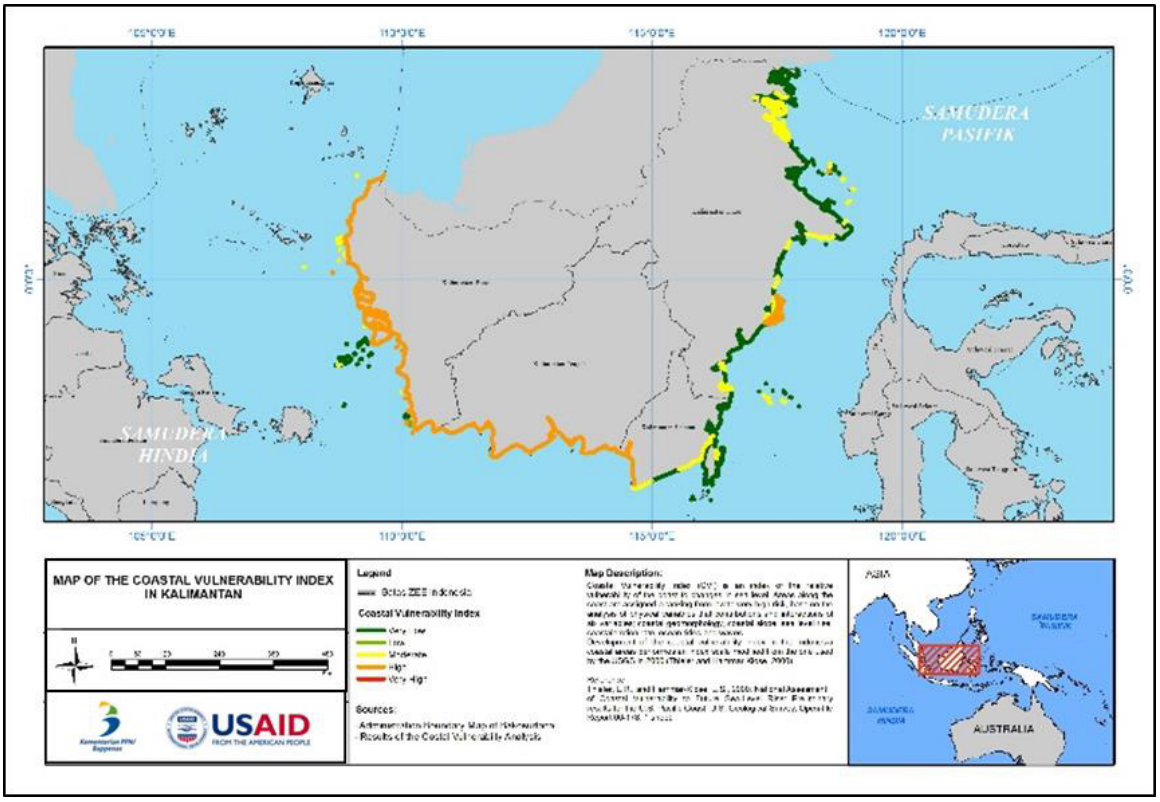
Gambar 3-31 Peta CVI di Indonesia



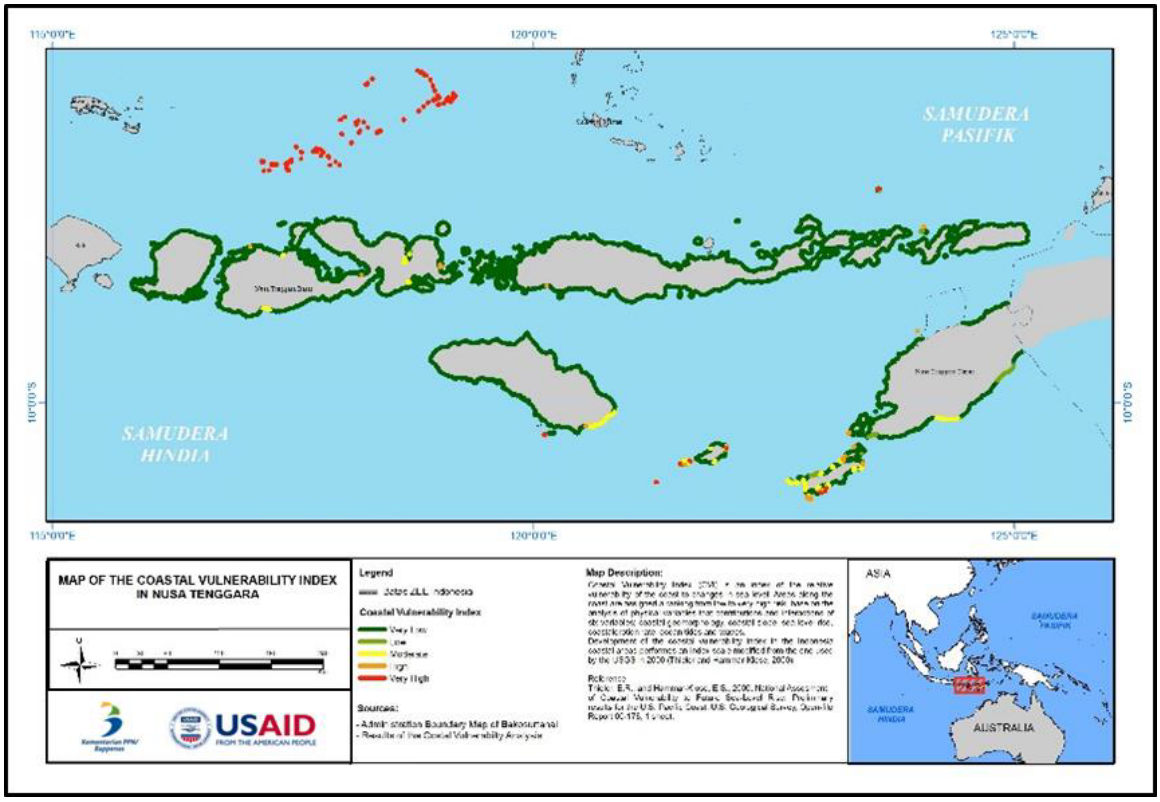
Gambar 3-32 Peta CVI di Pulau Sumatera



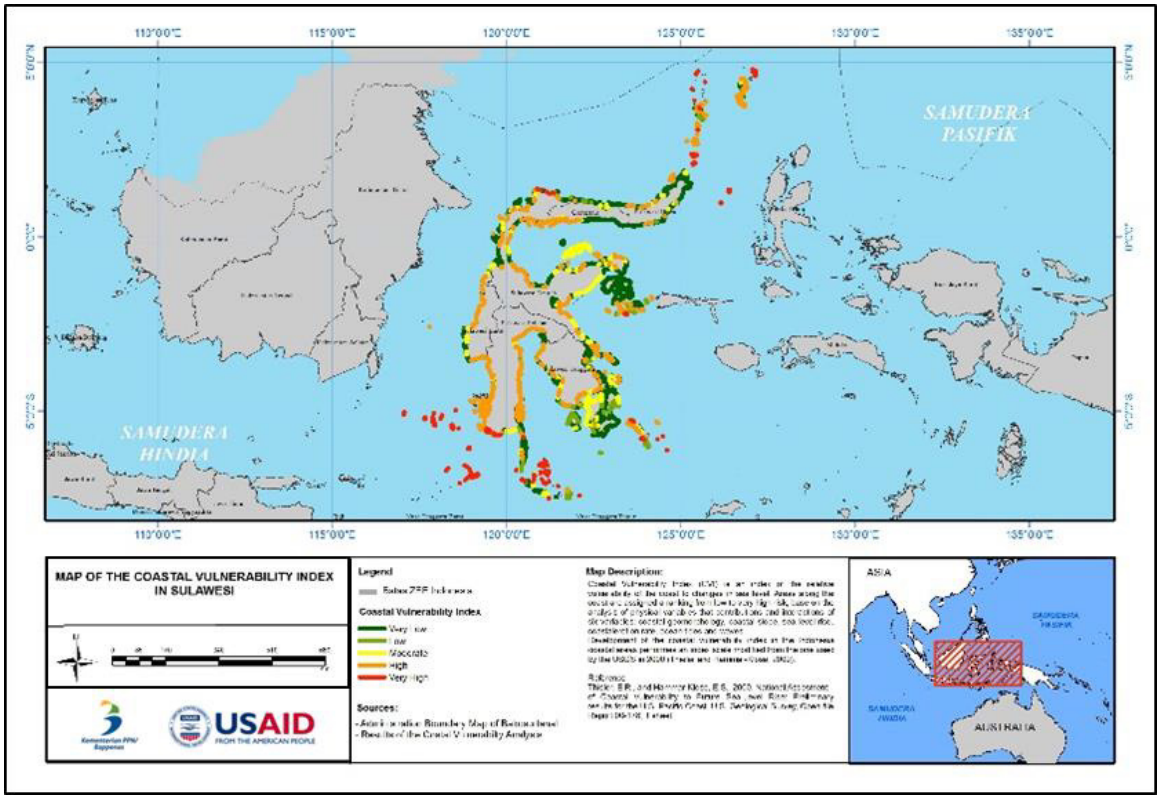
Gambar 3-33 Peta CVI di Pulau Jawa dan Bali



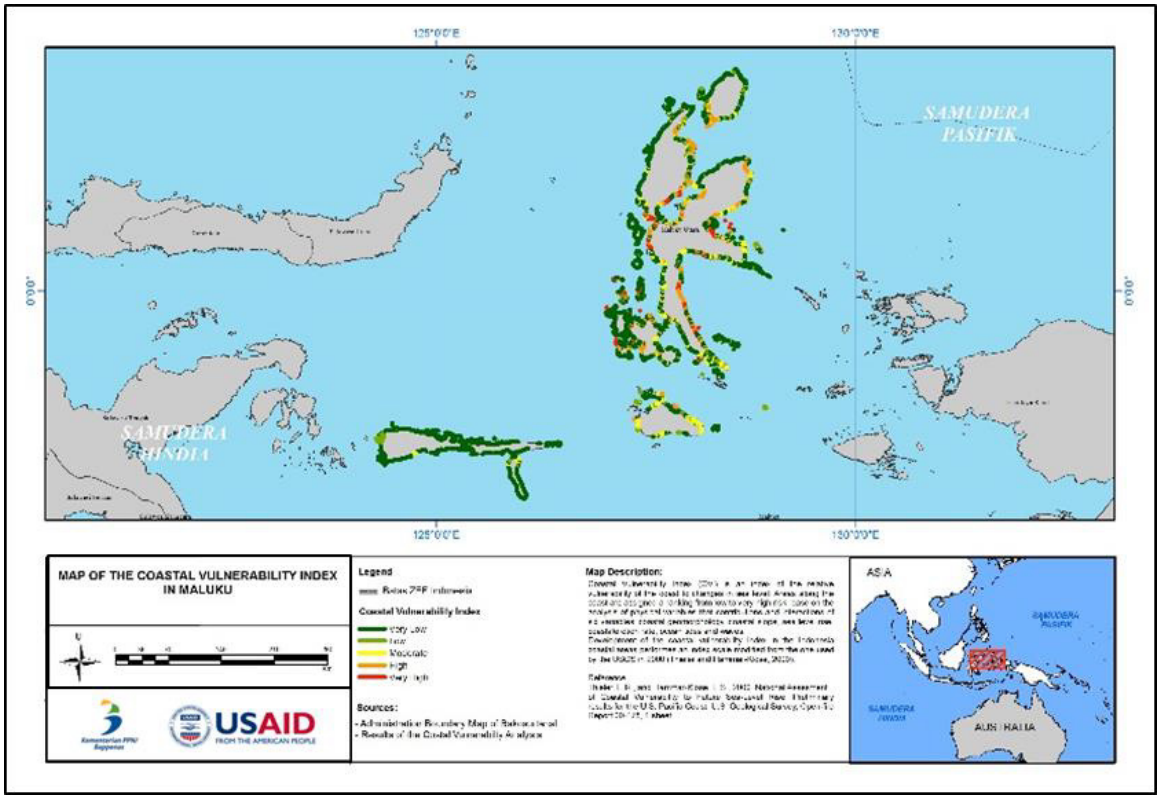
Gambar 3-34 Peta CVI di Pulau Kalimantan



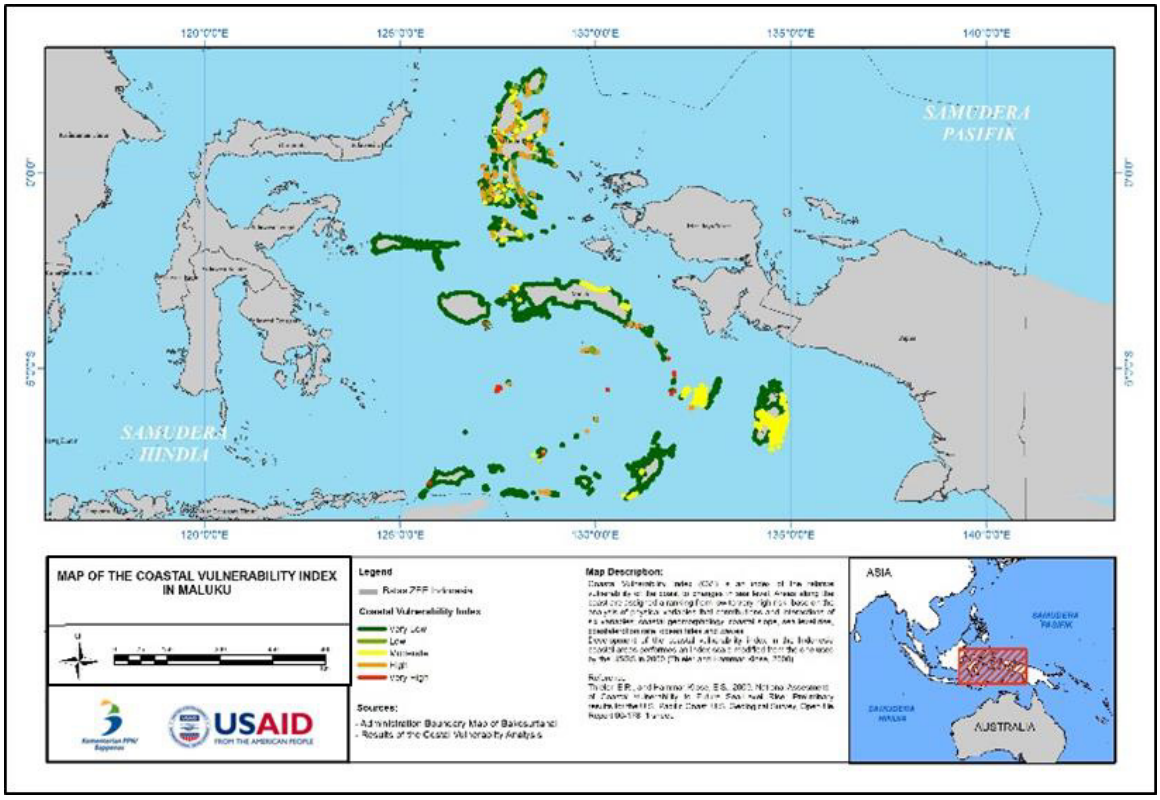
Gambar 3-35 Peta CVI di Kepulauan Nusa Tenggara



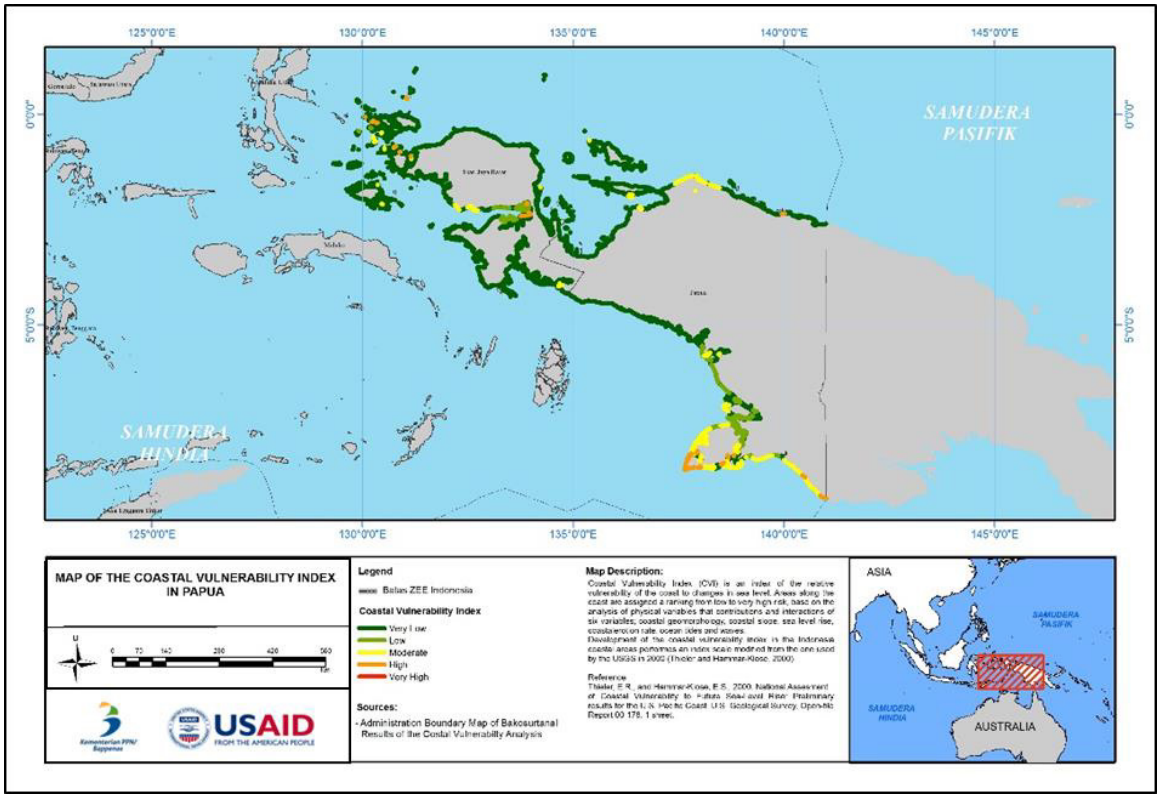
Gambar 3-36 Peta CVI di Pulau Sulawesi



Gambar 3-37 Peta CVI di Kepulauan Maluku Utara



Gambar 3-38 Peta CVI di Maluku



Gambar 3-39 Peta CVI di Pulau Papua

Tabel 3-7 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap pulau

Wilayah Pulau	Indeks CVI (Panjang Pantai, Km)				
	1	2	3	4	5
Sumatera	10824,93	1054,45	2989,37	6769,58	487,49
Kalimantan	4379,84	37,77	2008,24	3782,24	0,00
Jawa dan Bali	4368,09	420,13	760,27	1106,41	99,32
Sulawesi	8807,00	1102,99	2608,58	4134,06	904,51
Nusa Tenggara	8334,63	72,17	205,08	40,96	279,04
Maluku	12802,45	288,26	3276,91	472,97	49,15
Papua	16965,49	1211,83	1598,78	354,35	0,00
Total Km	66482,43	4187,59	13447,23	16660,57	1819,51

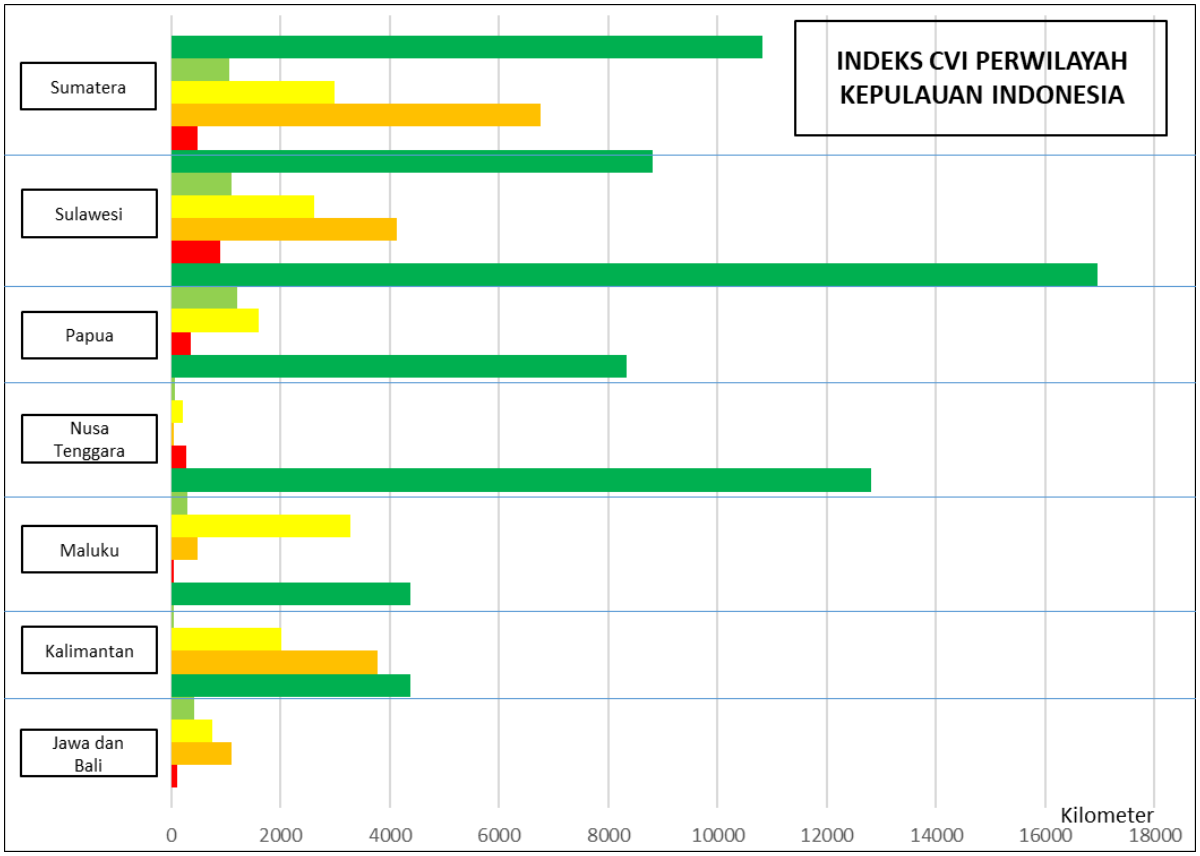
Tabel 3-8 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap provinsi

Provinsi	**Indeks CVI** (Panjang Pantai, Km)				
	1	2	3	4	5
Aceh	1036,43	316,83	539,29	420,91	251,97
Sumatera Utara	1100,04	76,79	96,16	953,54	108,29
Sumatera Barat	1216,85	220,87	261,80	384,65	82,95
Bangka Belitung	56,59	2,66	-	2238,18	-
Bengkulu	171,45	155,50	147,64	54,84	36,64
Jambi	-	3,02	88,13	162,80	-

Provinsi	**Indeks CVI** (Panjang Pantai, Km)				
	1	2	3	4	5
Sumatera Selatan	-	-	4,46	1190,90	-
Riau	-	-	1338,23	1146,24	-
Kep. Riau	6503,16	180,27	357,65	5,02	-
Lampung	740,40	98,52	156,00	212,49	7,63
Banten	422,38	213,02	15,07	116,08	1,15
Jawa Barat	304,12	81,14	92,39	390,76	-
DKI Jakarta	0,03	-	33,54	187,90	-
DIY	93,78	-	17,57	11,49	9,97
Jawa Tengah	411,14	23,08	73,55	276,64	49,81
Jawa Timur	2568,29	91,34	528,14	92,24	19,39
Bali	568,35	11,53	-	31,30	19,00
Kalimantan Barat	310,31	27,50	91,92	2121,77	-
Kalimantan Tengah		-	-	802,09	-
Kalimantan Selatan	787,52	10,27	206,35	198,61	-
Sulawesi Barat	200,20	15,13	107,80	303,26	-
Sulawesi Selatan	607,66	188,72	208,46	1258,17	573,23
Sulawesi Tengah	3729,51	149,14	1452,55	1133,76	53,91
Sulawesi Utara	1280,81	146,38	69,53	672,19	223,84
Gorontalo	609,49	8,97	122,25	153,21	-
Sulawesi Tenggara	2379,34	594,66	647,99	613,47	53,53
Nusa Tenggara Barat	2896,48	4,38	37,36	2,14	270,33
Nusa Tenggara Timur	5438,15	67,78	167,72	38,81	8,71
Maluku	7264,53	43,04	3033,23	131,26	49,15
Maluku Utara	5537,92	245,21	243,68	341,71	-
Papua	5886,79	772,74	1449,15	277,12	-
Papua Barat	11078,70	439,10	149,63	77,23	-
Total	66482,43	4187,6	13447,2	16660,6	1819,5

Pada Indonesia bagian barat, wilayah pulau yang memiliki tingkat kerentanan paling tinggi adalah pulau Sumatera (Gambar 3-32). Total garis pantai yang memiliki indeks kerentanan paling tinggi di Pulau Sumatera yaitu sepanjang 487,49 km. Wilayah pulau lainnya di Indonesia bagian barat yang cukup rentan yaitu sepanjang pesisir Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, pesisir utara Banten, DKI Jakarta dan pesisir utara Jawa. Indeks kerentanan yang tinggi hingga sangat tinggi terletak di sepanjang pesisir timur Pulau Sumatera, pesisir barat Sumatera Utara, Sumatera Barat, dan Bangka Belitung.

Di Pulau Sumatera, pesisir pantai Provinsi Aceh menjadi wilayah yang paling tinggi kerentanannya di Pulau Sumatera dengan total garis pantai yang memiliki indeks sangat tinggi yaitu sepanjang 251,97 km. Sementara itu, di Pulau Jawa dan Bali, daerah yang tingkat kerentanannya rendah dapat terlihat pada pesisir selatan (Gambar3-33). Secara keseluruhan Pulau Jawa dan Bali memiliki indeks kerentanan yang bervariasi dari rendah ke tinggi di mana nilai indeks yang rendah (indeks 1) berada mayoritas di daerah selatan Jawa dan Utara bali sepanjang 4368,09 km dan nilai indeks yang tinggi (indeks 4) mayoritas berada di pantai utara Jawa dan selatan Bali sepanjang 1106,41 km.

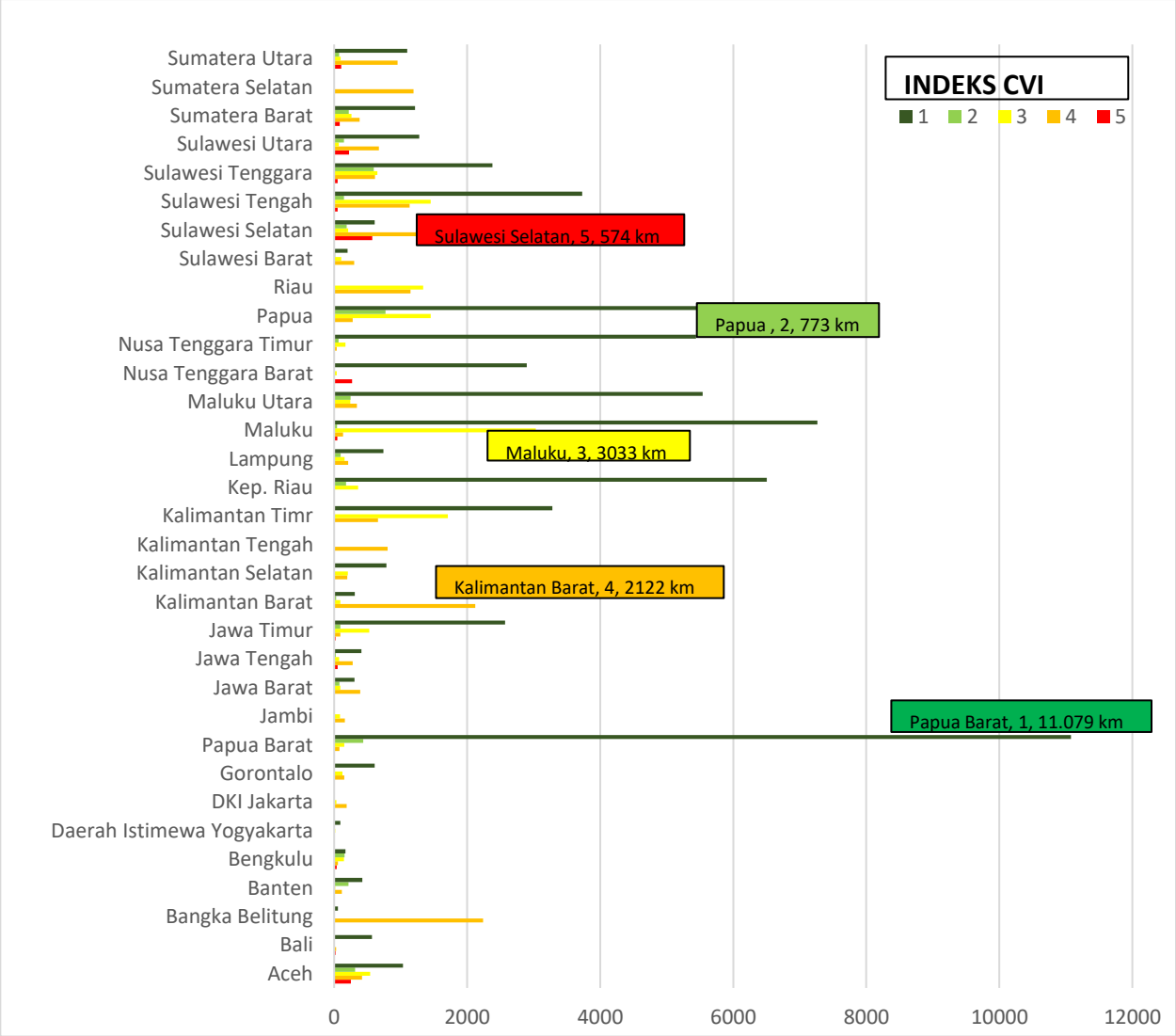


Gambar 3-40 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap pulau

Pada wilayah Indonesia bagian timur, umumnya terlihat memiliki tingkat kerentanan yang rendah. Walaupun demikian, Provinsi Papua Barat menjadi menjadi wilayah yang mempunyai tingkat kerentanan terrendah (indeks 1) di Indonesia dengan garis pantai sepanjang 11078,70 km (Gambar 3-33). Di Pulau Papua, wilayah yang tercakup pada indeks kerentanan rendah tersebut didominasi di pesisir pantai Papua Barat (Gambar 3-38). Berdasarkan Tabel 3-8, Provinsi Papua dan Papua Barat dapat dikategorikan sebagai daerah yang mempunyai kerentanan rendah dengan tidak adanya wilayah pesisir dengan indeks kerentanan yang sangat tinggi (indeks 5).

Di Pulau Sulawesi terdapat daerah yang mempunyai kerentanan tinggi, yaitu terletak di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu pada indeks 5 dan indeks 4, secara berturut-turut mencapai 573,23 km dan 1258,17 km (Gambar 3-36). Hal ini patut diperhatikan lebih mendalam lagi, sebab wilayah Provinsi Sulawesi Selatan merupakan wilayah penghubung antar kota-kota Indonesia Timur lainnya.

Berdasarkan peta identifikasi erosi/akresi (Gambar 3-7), wilayah Pulau Sumatera, pesisir Utara Pulau Jawa, pesisir Kalimantan serta pesisir sebagian pesisir Sulawesi adalah wilayah yang rentan mengalami erosi/akresi. Hal ini dapat disebabkan oleh karakteristik wilayah pesisirnya karena faktor geomorfologi pesisir (Gambar 3-28) yang tinggi, kelerengan pantai (Gambar 3-29), dan tinggi gelombang (Gambar 3-30). Wilayah di timur Indonesia mempunyai indeks erosi/akresi pantai yang rendah yang dapat disebabkan oleh rendahnya perubahan pada faktor geomorfologi dan kelerengan pantai (Gambar 3-28). Gambar 3-41 memperlihatkan indeks CVI tiap provinsi.



Gambar 3-41 Panjang garis pantai pada masing-masing CVI di setiap provinsi

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan bahwa wilayah Indonesia bagian barat adalah daerah yang memiliki wilayah pesisir yang paling rentan terkena dampak perubahan iklim. Sedangkan wilayah Indonesia bagian timur memiliki daerah yang cukup aman dari pengaruh perubahan iklim umumnya. Faktor yang paling dominan dalam menentukan indeks kerentanan adalah kemiringan pantai dan erosi/akresi. Daerah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi merupakan daerah yang kemiringan pantainya tergolong landai dan memiliki indeks erosi/akresi yang besar. Daerah yang memiliki tingkat kerentanan rendah yaitu daerah yang memiliki kemiringan pantai yang curam dan indeks erosi/akresinya rendah.

5.2. Rekomendasi Kebijakan pada Tujuan Pembangunan

Wilayah pesisir di Indonesia memiliki potensi besar dalam mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Namun, kerentanan psisir dan bahaya alam lainnya mengancam keberadaan infrastruktur di dekat pantai dan juga daerah permukiman di sekitarnya. Oleh karena itu, ada kebutuhan mengenai pengelolaan wilayah pesisir terpadu dari berbagai sektor. Dalam hal ini, pemerintah pusat, pemerintah daerah, pihak swasta, masayarkat dan pemangku kepentingan harus dilibatkan.

Permasalahan pesisir meningkat dengan adanya perubahan iklim global dan dapat menciptakan potensi kerusakan lebih parah bila dilakukan pengembangan wilayah pesisir. Pemerintah Indonesia telah menetapkan kebijakan dan program untuk pengelolaan kawasan pesisir terpadu yang dapat memberikan konteks kebijakan yang lebih luas tentang pengelolaan wilayah pesisir. Kementerian yang terlibat dalam mengelola wilayah pesisir adalah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) yang memainkan peran utama dalam menentukan kebijakan pengelolaan pesisir, serta Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang bertanggung jawab untuk meningkatkan kualitas lingkungan pesisir.

Dalam konteks pengambilan keputusan kebijakan, perlu diketahui dengan jelas tentang nilai dan fungsi pantai, termasuk memastikan keselamatan publik atau menjaga integritas ekologi dari sistem pesisir. Keputusan yang jelas dalam hal ini harus diambil oleh pemerintah nasional dan digunakan untuk memandu tanggapan mereka terhadap peristiwa erosi pantai dan pengelolaan kawasan pesisir yang terintegrasi dalam jangka panjang. Oleh sebab itu, perlu adanya keputusan politik yang harus diambil dan dikomunikasikan pada tingkat nasional dan sub-nasional tentang jenis intervensi (tindakan), intensitas pembangunan pesisir, waktu yang akan diambil dan jumlah dana untuk mencapai atau mempertahankan kondisi yang diinginkan.

Sejauh ini, belum ada landasan hukum dan peraturan yang mengatur secara khusus dan langsung tentang erosi pantai, adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil seharusnya mengisi kesenjangan ini di pemerintah pusat, pemerintah daerah dan masyarakat. Bencana yang disebabkan oleh perubahan iklim tidak selalu sama atau mirip dengan karakter bencana yang disebutkan dalam Undang-Undang tersebut. Dalam peraturan ini dan kebijakan pemerintah mengasumsikan bahwa bencana alam harus selalu masif dan tiba-tiba seperti banjir, angin topan, gelombang badai, tsunami, dan sebagainya. Namun, bahaya yang dipicu oleh perubahan iklim merupakan kejadian yang lambat, termasuk erosi pantai, banjir pesisir, peningkatan suhu dan kenaikan permukaan laut. Untuk mengakomodasi kekhasan karakteristik erosi

pantai dan bencana alam yang dipicu oleh perubahan iklim, diperlukan Rencana Undang-Undang dan kebijakan tentang abrasi, adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

Perencanaan tata ruang dilakukan untuk menciptakan pemanfaatan ruang yang harmonis dengan kondisi alam dan membutuhkan penggunaan manajemen teknologi tepat guna. Berbagai masalah pesisir harus diatasi melalui manajemen terpadu dengan kerusakan seminimal mungkin. Permasalahna ini menjadi tugas dari Kementerian PUPR, KKP, KLHK dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), serta melibatkan pemerintah daerah.

Pengamanan wilayah pesisir di Indonesia memiliki permasalahan dalam aspek perlindungan hukum dan keterbatasan kemampuan pendanaan pemerintah. Sebagai contoh, yaitu dalam pelaksanaan undang-undang perlindungan pesisir, baik Undang-Undang Nomor 7 tahun 2007 tentang Sumber Daya Air dan Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Kepulauan Kecil.

Saat ini, Indonesia telah mengintegrasikan pengelolaan pesisir berdasarkan Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (PWP-PK). Undang-Undang ini memberikan arahan yang diperlukan, mengingat sebagian besar undang-undang dan peraturan yang mengatur sektor-sektor pembangunan telah menimbulkan konflik norma dan otoritas yang tumpang tindih, baik secara langsung ataupun tidak langsung yang terkait dengan pengelolaan sumber daya pesisir. Untuk meminimalkan norma-norma manajemen konflik, peraturan daerah mengenai pesisir dan laut perlu ditindaklanjuti dengan harmonisasi peraturan dan koordinasi antar-lembaga terkait baik secara horisontal maupun vertikal di berbagai tingkatan.

5.3. Rekomendasi atau Opsi Kebijakan (Intervensi)

Intervensi adalah proses yang dilakukan untuk mengatasi erosi pantai dan menetapkan kebutuhannya untuk didasarkan pada referensi hukum dan teknis. Belum ada landasan hukum yang mengarah langsung ke masalah pengendalian erosi pantai dan adaptasi perubahan iklim. Namun, masalah erosi pantai dan banjir pesisir dapat dilakukan berdasarkan Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, yang kemudian ditindaklanjuti dengan Peraturan Pemerintah Nomor 64 Tahun 2010 (PP 64, 2010), yang menyatakan bahwa Pengendalian Mitigasi Bencana di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (Pasal 14) dapat dilakukan melalui dua jenis kegiatan: struktural/fisik, dan non-struktural/ nonfisik. Kegiatan struktural lebih lanjut (Pasal 15, paragraf 7) untuk mengatasi erosi pantai dan kenaikan permukaan laut meliputi:

a. Konstruksi bangunan untuk perlindungan pesisir;
b. Penyediaan pompa air;
c. Bangunan yang beradaptasi dengan kenaikan permukaan laut;
d. Vegetasi pantai, dan
e. Pengelolaan ekosistem pesisir.

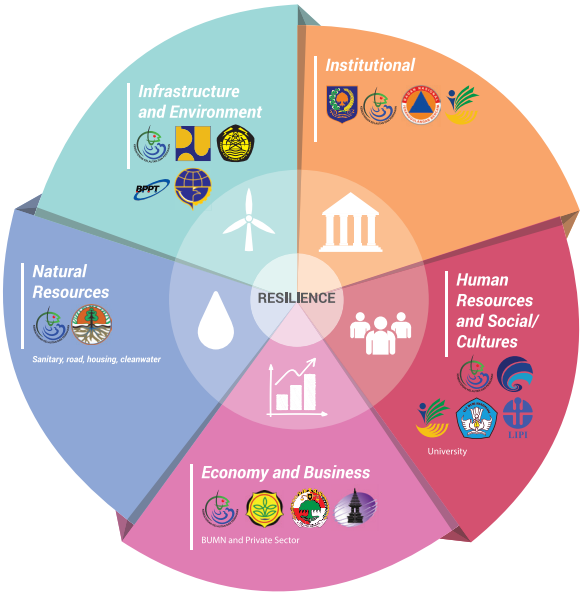
Pasal 15, paragraf 9 kegiatan struktural/fisik untuk jenis mitigasi bencana erosi pantai juga menyebutkan:

a. Konstruksi bangunan untuk perlindungan pesisir;
b. Peremajaan pantai;
c. Vegetasi pantai, dan
d. Pengelolaan ekosistem pesisir.

Mitigasi bencana non-struktural yang dijelaskan dalam Pasal 16a (1) Kegiatan non-struktural/ non-fisik untuk mengurangi erosi pantai dan mengadopsi dengan mengacu pada Pasal 14 huruf b meliputi:

a. Perumusan peraturan (norma, standar, prosedur, dan kriteria untuk mitigasi bahaya pesisir);
b. Persiapan peta bahaya (dalam hal potensi bencana atau ancaman bahaya);
c. Persiapan peta risiko bencana (kerentanan, bencana atau ancaman potensi bahaya dan tingkat kapabilitas dan kapasitas kelembagaanserta pemangku kepentingan);
d. Persiapan penilaian dampak lingkungan (termasuk penilaian kritis terhadap dampak bisnis dan/ atau kegiatan yang direncanakan pada lingkungan yang diperlukan untuk proses pengambilan keputusan mengenai bisnis dan/ atau kegiatan lainnya);
e. Perencanaan tata ruang (termasuk kegiatan yang terdiri dari pola spasial dan struktur mitigasi bencana berbasis ruang di daratan);
f. Persiapan zonasi (termasuk rencana zonasi pesisir dan pulau-pulau kecil berdasarkan mitigasi bencana); dan
g. Pendidikan, penyuluhan, dan kesadaran publik yang dilakukan melalui latihan, simulasi, serta peningkatan lokakarya kesiapsiagaan masyarakat tentang pengurangan risiko bencana.

Berdasarkan hal di atas, cukup memberikan dasar untuk intervensi di bidang-bidang yang terkait dengan mitigasi dan adaptasi pesisir terhadap erosi pantai dan kenaikan permukaan laut. Tujuan utamanya adalah pembentukan desa tangguh terhadap bahaya alam termasuk erosi pantai dan rendaman pesisir. Upaya-upaya untuk menyederhanakan langkah-langkah untuk desa tangguh, dibutuhkan sinergi antara kementerian dan lembaga yang menangani bencana termasuk erosi pantai sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 64 tahun 2010, Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 dan Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007. Sinergi tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 3-42.



Gambar 3-42 Sinergi antara kementerian/lembaga

Intervensi yang dilakukan di masa lalu terhadap erosi pantai umumnya reaktif dan parsial. Hal ini didasarkan pada metode tradisional seperti meletakkan karung pasir, kayu atau bambu, tumpukan batu, dan konstruksi sederhana tanpa melalui telaah teknik. Jenis-jenis intervensi ini tidak dapat secara optimal mengendalikan erosi pantai. Beberapa intervensi yang dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat untuk mengatasi erosi pantai terdiri dari struktur, namun tidak terencana dengan baik dan dilaksanakan tanpa koordinasi sehingga memberikan hasil yang tidak memuaskan. Intervensi struktural ini terkadang kurang baik dan merusak pemandangan pantai.

Intervensi di masa lalu untuk mengatasi erosi pantai masih merupakan solusi jangka pendek dan hasil yang diperoleh tidak optimal sehingga perlu dilakukan intervensi dengan perencanaan yang matang, terpadu dan komprehensif di masa mendatang. Hasil yang diharapkan dari metode intervensi yang baru yaitu mengoptimalkan fungsi dan estetika pesisir. Untuk mencapai target tersebut, perlu dilakukan studi yang lebih mendalam tentang karakteristik pantai baik fisik statis maupun dinamisnya, seperti jenis material pantai dan kekuatan yang menyebabkan erosi sehingga jenis-jenis intervensi dapat dipilih sesuai dengan kondisi pantai. Di samping itu, strategi pengelolaan erosi pesisir di masa depan harus dimulai dengan perencanaan tata ruang.

Kompleksitas permasalahan yang dihadapi di pantai harus ditangani dengan baik dan terencana, mengingat garis pantai yang dimiliki oleh Indonesia sangatlah panjang dan memerlukan pembiayaan yang sangat tinggi sehingga perlu strategi dan pendekatan dalam pengelolaan pesisir. Diperlukan rencana tata ruang yang mengatur peruntukan lahan di wilayah pesisir, seperti: kegiatan pengembangan tanpa batasan, kegiatan pengembangan terbatas, dan tidak ada kegiatan pembangunan sama sekali. Oleh karena itu, perumusan ruang lingkup pedoman dan manual yang harus disiapkan mencakup keterlibatan masyarakat dalam proses perencanaan dan mempertimbangkan ketersediaan bahan-bahan konstruksi yang bervariasi dari satu daerah ke daerah lain.

Keberhasilan pengelolaan wilayah pesisir sangat ditentukan oleh pemahaman menganai isu-isu pesisir, pemilihan strategi penanganannya, perencanaan teknis yang memenuhi aturan teknis disertai dengan kerangka hukum yang kuat dan dengan kesadaran dan dukungan dari masyarakat.

Dasar intervensi yang dijelaskan dan konsisten dengan program-program berikut:

1. Program intervensi fisik yang terdiri dari:
    a. Rehabilitasi hutan bakau
    b. Pemeliharaan dan rehabilitasi tindakan perlindungan pantai yang ada
    c. Konstruksi pemecah gelombang dan dermaga
    d. Pemeliharaan aliran sungai melalui pengerukan berkala
    e. Penyediaan infrastruktur dan pembuangan limbah yang memadai
2. Program intervensi non fisik terdiri dari:
    a. Pengkajian lebih rinci atas kerusakan dan kerugian pesisir yang disebabkan oleh: perubahan bentuk fisik pantai, perubahan pola aliran dan transpor sedimen, struktur dan fungsi pesisir, pengaruh struktur pantai terhadap lingkungan
    b. Persiapan AMDAL mengenai pembangunan struktur perlindungan pantai
    c. Persiapan desain rinci dari struktur pelindung pantai (termasuk perhitungan struktural, rencana, spesifikasi teknis, perhitungan volume dan perhitungan biaya)
    d. Diseminasi kebijakan larangan penebangan bakau dan hutan pantai, larangan penambangan di wilayah pesisir, mematuhi prosedur dan aturan pengembangan wilayah pesisir dengan peraturan yang relevan
    e. Pembentukan forum masyarakat dalam mendukung program rehabilitasi peduli lingkungan
    f. Pemberian insentif dan disinsentif dalam upaya rehabilitasi
    g. Relokasi permukiman pesisir berisiko tinggi ke bencana

5.4. Kebijakan Penguatan Kapasitas Kelembagaan

Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan penerapan Bab X dari Rencana Aksi Daerah, pengurangan risiko erosi pantai dapat diterapkan. Ini termasuk pengurangan dampak erosi pantai dan kenaikan permukaan laut, serta penilaian dan mitigasi yang bertujuan untuk mengurangi kerentanan sosial-ekonomi terhadap bencana dan menghadapi bahaya lingkungan laut

serta bahaya lainnya. Konsep pengurangan erosi pantai harus dipandang sebagai masalah kompleks yang memerlukan penanganan kolektif berbagai disiplin dan melibatkan berbagai kelompok lembaga. Ini merupakan pertimbangan penting ketika melihat karakteristik masyarakat yang terdampak terhadap erosi pesisir, karena lembaga itu sendiri harus menentukan di mana harus memfokuskan upaya mereka dan bagaimana bekerja dengan mitra untuk memastikan bahwa aspek-aspek penting lainnya yang diperlukan dalam mengatasi kerentana pesisir tidak terlupakan.

Langkah-langkah mitigasi dalam Rencana Aksi untuk penurunan erosi pantai perlu disiapkan berupa proses koordinasi antara pusat dan daerah serta partisipasi para pemangku kepentingan yang mencakup prioritas, rencana aksi dan mekanisme kelembagaan untuk implementasi dan realisasi penurunan erosi pantai di daerah tersebut. Dengan demikian, ini adalah kumpulan kegiatan yang komprehensif dan sinergis dari semua pemangku kepentingan dan tanggung jawab semua pihak yang terkait. Rencana aksi ini berisi prioritas dan strategi pemerintah daerah (provinsi dan kabupaten) dalam mengurangi risiko erosi pantai guna membangun kesiapsiagaan dan ketahanan masyarakat dalam menghadapi ancaman erosi pantai. Dalam menentukan kegiatan pengurangan risiko, Rencana Aksi Daerah harus didahului oleh persiapan Rencana Pengelolaan erosi pantai, karena fakta bahwa kegiatan pengurangan risiko merupakan langkah yang lebih rinci.

Terdapat perbedaan antara Rencana Aksi Nasional dan Rencana Aksi Daerah dalam hal kedalaman kajian erosi pantai. Di tingkat nasional, rencana aksi disusun secara komprehensif dari pra-bencana – bencana – pascabencana, akan tetapi terbatas pada kegiatan yang akan dilakukan dan oleh siapa serta sumber dana yang akan digunakan. Rencana ini terbatas pada pra-bencana (pencegahan, mitigasi dan kesiapsiagaan) yang lebih rinci tentang waktu penerapan, lokasi pelaksanaan, jumlah dana yang dibutuhkan, dll. Untuk tingkat kabupaten atau sub-provinsi, pada umumnya mengikuti prioritas yang ditetapkan oleh provinsi melalui fungsi fasilitator kabupaten, mediator dan pemantauan pelaksanaan dan penyesuaian untuk menetapkan standar spasial.

5.5. Spesifik Sektor dan Aktor

Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) Nomor 4 tahun 2008 Pedoman Rencana Penanggulangan Bencana mengacu pada Bab VII Alokasi dan Peran Pengurangan bencana Bencana, Point A (Peran dan Fungsi Pemerintah), dan titik B (Peran dan Fungsi Masyarakat. Dalam pelaksanaan kegiatan manajemen erosi pesisir maka Perka BNPB dapat diadopsi sebagai dasar perencanaan dan pelaksanaan rencana aksi. Peran dan fungsi pemerintah dalam melaksanakan mitigasi erosi pantai di daerah akan memerlukan koordinasi dengan sektor yang dikoordinasikan di tingkat pusat (nasional). Secara garis besar, peran lintas sektor dapat digambarkan sebagai berikut:

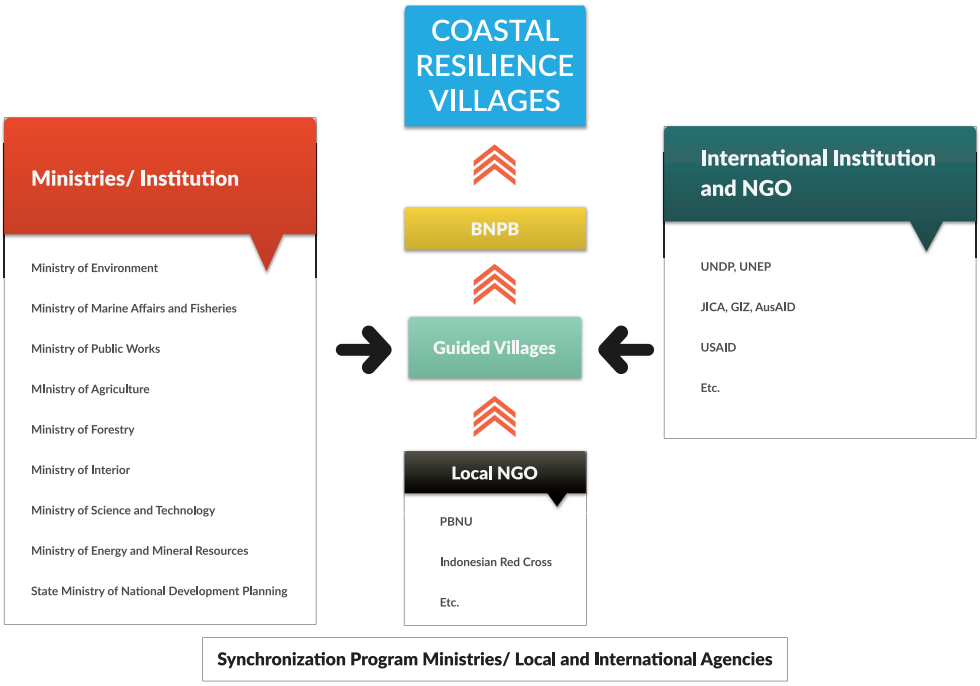
a. Sektor Pemerintahan Pusat - kegiatan termasuk pengembangan pembangunan daerah
b. Sektor Pekerjaan Umum - perencanaan tata ruang detail, persiapan lokasi, dan fasilitas pemulihan dan kebutuhan infrastruktur
c. Sektor Transportasi - deteksi dini dan informasi cuaca / meteorologi dan kebutuhan rencana komunikasi dan transportasi
d. Sektor Energi dan Sumber Daya Mineral - perencanaan dan pengendalian upaya mitigasi di bidang bencana geologi dan bencana buatan manusia
e. Sektor Tenaga Kerja dan Transmigrasi - penyebaran dan penempatan ulang korban erosi pantai ke daerah yang aman
f. Sektor Keuangan - kegiatan persiapan anggaran dalam pengendalian erosi pantai
g. Kehutanan - perencanaan dan pengendalian upaya mitigasi, rehabilitasi mangrove dan hutan pesisir

h. Sektor Lingkungan - perencanaan dan pengendalian upaya pencegahan, advokasi, dan deteksi dini dalam pencegahan erosi pantai
i. Sektor Kelautan - perencanaan mitigasi dan upaya pengendalian di bidang tsunami, erosi pantai dan kenaikan permukaan laut
j. Sektor Pendidikan Tinggi dan Lembaga Penelitian - melakukan studi dan penelitian untuk administrasi rencana pengendalian erosi pantai, rehabilitasi dan rekonstruksi
k. Militer / Polisi - membantu dalam kegiatan SAR, termasuk keadaan darurat dan keamanan sambil mengamankan lokasi yang ditinggalkan bagi penduduk untuk dievakuasi

Tanggung jawab dan peran potensial masyarakat, sektor swasta, LSM dan komunitas publik yang lebih besar adalah sebagai berikut:

a. Sektor Masyarakat - Sebagai pelaku awal dan korban pengendalian erosi pantai, dalam batas-batas tertentu, ia harus mampu menghadapi erosi pesisir sehingga dampaknya tidak diharapkan berkembang menjadi skala yang lebih besar.
b. Sektor swasta, meskipun tidak secara optimal memberdayakan peran utamanya adalah di belakang penyediaan rehabilitasi pantai erosi pesisir saat ini. Partisipasi yang lebih luas dari sektor swasta akan sangat berguna untuk peningkatan ketahanan nasional dalam menghadapi erosi pesisir dan kenaikan permukaan laut.
c. Lembaga Non-Pemerintah. Pada dasarnya memiliki fleksibilitas dan kapasitas yang memadai dalam menanggulangi erosi pantai. Dengan koordinasi yang baik mereka akan dapat berkontribusi pada upaya untuk mengatasi erosi dari perencanaan hingga tahap pelaksanaan.
d. Perguruan Tinggi/ Lembaga Penelitian. Mitigasi Bencana dapat efektif dan efisien jika dilakukan dengan penerapan sains dan teknologi dan membutuhkan masukan dari para ahli dari lembaga pendidikan dan penelitian.
e. Media. perannya adalah mampu membentuk opini publik dalam membangun ketahanan masyarakat untuk menghadapi dampak erosi pantai melalui kecepatan dan ketepatan dalam penyediaan informasi. Juga informasi tentang kejadian upaya mitigasi pantai, dan edukasi kepada masyarakat tentang erosi pantai.
f. Lembaga Internasional. Pemerintah pada dasarnya dapat menerima bantuan dari organisasi internasional, dalam pencegahan erosi pantai, tetapi mereka harus mengikuti aturan dan peraturan yang berlaku.

Sinkronisasi kementerian dan lembaga untuk meningkatkan ketahanan di daerah pesisir dirangkum pada Gambar 3-43. Di tingkat provinsi, perencanaan kebijakan dan intervensi pembangunan untuk mendukung koordinasi yang lebih baik antara lembaga-lembaga yang ada berada di bawah wewenang kementerian yang ada di tingkat nasional. Koordinasi umumnya dilakukan oleh gubernur (Kepala Pemerintah Provinsi) yang mewakili ketua Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) untuk memfasilitasi dan mengakomodasi usulan dari pemerintah kabupaten dan kemudian proposal akan dikirim ke pemerintah pusat (tingkat nasional). Jika proposal diterima maka pelaksanaannya akan dilakukan oleh pemerintah daerah di tingkat kabupaten. Di bawah koordinasi Bappeda sebagai fasilitator, mediator dan memantau pelaksanaan dan menyesuaikan dengan perencanaan tata ruang kabupaten yang ada.



Gambar 3-43 Sinkronisasi kementerian dan lembaga dalam melakukan intervensi

Untuk meningkatkan kapasitas dalam mengatasi erosi pantai dan kenaikan permukaan laut, dilakukan pelatihan tentang erosi pantai, kesadaran publik, penelitian dan pengembangan bekerjasama dengan instansi terkait seperti Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Transfer pengetahuan dilakukan dengan pelatihan serta persiapan manual dan pedoman teknis, serta disiminasi informasi untuk kesadaran publik.

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) kabupaten memiliki wewenang untuk mengusulkan program ke provinsi di daerah yang memerlukan intervensi ke tingkat nasional. Jika proposal diterima maka kabupaten akan mengawasi pelaksanaan yang disesuaikan dengan perencanaan tata ruang (penataan ruang) kabupaten yang ada. Oleh karena itu, staf pemerintah yang terkait dengan pelaksanaan pengendalian erosi pantai membutuhkan kemampuan administratif serta pengetahuan tentang erosi pantai. Selain itu, pemerintah daerah perlu melakukan pendekatan persuasif terhadap masyarakat di tingkat kabupaten dan desa untuk menjaga pantai serta mengatasi gejala dan kejadian erosi pantai dan dampak kenaikan permukaan laut.

Dengan mengadopsi Undang-Undang No. 24 tahun 2007 tentang Bencana dan Peraturan Kepala BNPB No. 4 tahun 2008 dalam Pedoman tentang Rencana Mitigasi Bencana, memberikan arahan mengenai pembagian tanggung jawab antara pusat dan daerah, serta partisipasi dalam Penanggulangan Bencana.

Pelaksanaan intervensi adalah tanggung jawab sebagai berikut:

1. Program intervensi fisik yang terdiri dari:
    a. Rehabilitasi hutan bakau oleh KKP-P3K dan Kementerian Kehutanan
    b. Pemeliharaan dan rehabilitasi struktur perlindungan pantai yang ada oleh Kementerian Pekerjaan Umum
    c. Pembangunan pemecah gelombang dan dermaga oleh Kementerian Pekerjaan Umum
    d. Pemeliharaan muara sungai melalui pengerukan berkala oleh Kementerian Pekerjaan Umum
    e. Penyediaan infrastruktur dan pembuangan limbah yang memadai oleh Kementerian Lingkungan Hidup

2. Program intervensi non fisik terdiri dari:
    a. Kajian lebih rinci tentang kerusakan dan kerugian pantai yang disebabkan oleh: perubahan bentuk fisik pantai, perubahan pola aliran dan transportasi sedimen, struktur dan fungsi pesisir dan pengaruh struktur pantai terhadap lingkungan oleh Kementerian Pekerjaan Umum;
    b. Persiapan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (EIA) mengenai pembangunan struktur perlindungan pantai oleh Kementerian Pekerjaan Umum;
    c. Persiapan desain terperinci dari struktur perlindungan pantai (termasuk perhitungan struktural, rencana, spesifikasi teknis, perhitungan volume dan perhitungan biaya) oleh Kementerian Pekerjaan Umum;
    d. Sosialisasi kebijakan larangan penebangan / tanaman bakau, melarang penambangan di wilayah pesisir, pemanfaatan prosedur perbatasan pesisir, dan peraturan yang relevan, oleh Pemerintah Daerah dan Kementerian Kehutanan;
    e. Pembentukan forum masyarakat dalam mendukung program rehabilitasi lingkungan oleh LSM dan Pemerintah Daerah;
    f. Pemberian insentif dan disinsentif upaya rehabilitasi oleh Pemerintah Daerah;
    g. Mengkaji relokasi permukiman pesisir berisiko tinggi terhadap bencana oleh Pemerintah Daerah (Penataan Ruang) dan oleh Kementerian Agraria dan Tata Ruang;

Tanggung jawab institusional dan masyarakat juga dapat dilihat dalam Lampiran-3 dari Rencana Aksi Nasional untuk Adaptasi terhadap Perubahan Iklim (RAN-API) untuk wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (Bappenas, 2012).

6. DAFTAR PUSTAKA

Bappenas. (2014). *Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN API).*

Hadi, S., & Ivonne, M.R. (2009). *Arus Laut*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Latief, H., Ismoyo, D.O., Fadli, M., Syahrani, A., & Putri, I.U. (2015). *Integrasi Adaptasi Perubahan Iklim akibat Bahaya Pesisir ke dalam Perencanaan Tata Ruang dengan Wilayah Kajian KSN Maminasata, Kota Makassar dan Pulau Selayar*. Dirjen Tata Ruang – Kementerian ATR, PPI-ITB dan JICA.

Latief, H., Ismoyo, D.O., Fadli, M., Syahrani, A., & Putri, I.U. (2015). *Integrasi Adaptasi Perubahan Iklim ke dalam Perencanaan Tata Ruang, dengan Wilayah Kajian Pantai Utara Jawa, Kabupaten Cirebon dan Kota Cirebon*. Dirjen Tata Ruang – Kementerian ATR, PPI-ITB dan JICA.

Latief, H., Sunendar, H., & Ismoyo, D.O. (2011). *Climate Risk and Adaptation Assessment of Coastal Sector in the Tarakan City East Kalimantan Province*. Ministry of Environment 2012 (book in English and Indonesian).

Latief, H., Sunendar, H., Ismoyo, D.O., Fitriyanto, M.S., & Bisri, M.B.F. (2011). *Climate Risk and Adaptation Assessment of Coastal Sector in the South Sumatera Province*. Ministry of Environment 2012 (book in English and Indonesian).

Latief, H. & Fitriyanto, M.S. (2010). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap – ICCSR*. *Marine and Fishery Sector Report*. Bapenas-Indonesia (book in English and Indonesian).

Latief, H. (2010). Risk and Adaptation Assessment on Climate Change in Lombok Island, West Nusa Tenggara Province*. Technical Report*. Ministry of Environment 2010 (book in English and Indonesian).

MMAF. (2010). *Map Album, National Ocean Information Department for anticipation of Climate change Impacts.*

Soeroso, D.S.A., Hadi, T.W., Sofyan, I., Latief, H., Salim, W., Fitriyanto, M.S., Surjaningsih, R.D., Adhadriady, I., & Nurmadiansyah, E. (2015). *Rancangan Pedoman Integrasi Perubahan Iklim Ke Dalam Perencanaan Tata Ruang.* Dirjen Tata Ruang – Kementerian ATR, PPI-ITB dan JICA.

Swardika, I. K., Tanaka, T., & Ishida, H. (2012). Study on the characteristics of the Indonesian seas using satellite remote-sensing data for 1998–2007. *International journal of remote sensing*, *33*(8), 2378-2394.

BAB 3

SEKTOR PERTANIAN

1. PENDAHULUAN

Gambaran rentan tentang dampak perubahan iklim di Indonesia sampai saat ini sebagian besar masih mengacu/menganalogikan pada hasil penelitian dan pendapat para ahli di dunia. Di samping itu, proses perubahan iklim khususnya kenaikan suhu secara global bersamaan dengan peningkatan jumlah penduduk yang berdampak terhadap perubahan lahan di muka bumi seperti deforestasi dan perubahan tata-guna lahan (*land-use change*), sehingga terjadi interaksi yang tidak terpisahkan (*confounding*) antara proses pemanansan global yang menyebabkan isu perubahan iklim dengan laju peningkatan jumlah penduduk yang sangat tinggi pada beberapa dekade terakhir.

Walaupun diyakini telah terjadi perubahan iklim dengan berbagai dampaknya, tetapi berapa besar perubahan iklim tersebut di Indonesia masih sangat sedikit tolak ukurnya. Akibatnya, prediksi dampak perubahan iklim terhadap berbagai sektor juga belum banyak diketahui. Informasi dari hasil perhitungan berdasarkan data statistik yang banyak tersedia sampai saat ini adalah emisi gas-gas rumah kaca serta rata-rata konsentrasi udara ambien di dunia, sedangkan dampak perubahan iklim terhadap berbagai sektor masih mengandalkan pada skenario atau model-model simulasi yang mengalami penyempurnaan dari waktu ke waktu.

Dampak perubahan iklim yang diduga semakin besar dan meluas, mungkin akan sangat mahal dan bisa jadi mustahil untuk melakukan pencegahan atau rehabilitasinya. Oleh sebab itu, strategi adaptasi perubahan iklim untuk komoditas pangan strategis saat ini akan lebih murah dan *feasible* daripada melakukan rehabilitasi dan menanggulangi bencana karena perubahn iklim tersebut. Analisis keterkaitan perubahan iklim dengan produksi pangan strategis ditunjukan untuk mendapatkan berbagai opsi dan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim.

1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim yang ditandai oleh peningkatan suhu yang m mengakibatkan penurunan produksi pertanian yang signifikan. Peningkatan suhu tersebut seiring dengan peningkatan gas rumah kaca berupa metana dan gas CO_2 yang terjadi sejak jaman revolusi industri. Penurunan terhadap sektor pertanian makin diperparah dengan penurunan curah hujan yang terjadi akibat perubahan iklim. Perubahan curah hujan yang terjadi sampai saat ini belum sepenuhnya dipahami secara jelas.

Iklim sendiri merupakan rata-rata cuaca jangka panjang. Perubahan ilkim didefinisikan sebagai perubahan pada iklim yang dipengaruhi langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer, yang akan memperbesar keragaman iklim teramati pada periode yang cukup panjang (Trenberth dkk., 1995). Perubahan iklim alamiah terjadi secara gradual dalam rentang waktu yang panjang sedangkan sejak jaman revolusi industri pembakaran bahan bakar fosil meningkat secara nyata. Peningkatan laju pertambahan penduduk dunia yang tinggi, industrilisasi dan pemakaian bahan bakar fosil serta eksplorasi sumber daya alam yang dilakukan yang mengubah dan mempercepat perubahan susunan atmosfer bumi. Walau *trend* peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca meningkat pesat sejak awal revolusi industri atau periode awal revolusi industri atau tahun awal 1970an. Fenomena iklim ini perlu dipelajari melalui pengamatan iklim jangka panjang, namun ketersedian data merupakan hal umum yang dihadapi negara berkembang seperti Indonesia. Oleh karena itu, fenomena perubahan iklim global perlu dikaji secara mendalam dan disikapi dengan hati-hati untuk mengantisipasi berbagai skenario buruk akibat terjadinya perubahan iklim.

Di negara-negara berkembang, diperkirakan 11% dari lahan pertanian dipengaruhi oleh perubahan iklim, yang dampaknya telah mengurangi produksi bahan pangan biji-bijian di 65 negara, dan telah mengakibatkan 16% penurunan GDP (FAO *Committee on Food Security*, *Report of 31st Session*, 2005).

Fischer dkk., (2002) memberikan dampak perubahan iklim terhadap produksi pangan dunia selama 90 tahun ke depan (1990-2080). Selama produksi tersebut, proyeksi produksi bahan pangan (serealia) dunia akan mengalami penurunan 0,6% hingga 0,9%. Di Asia Tenggara, penurunan produksi serealia diproyeksiakn sebesar 2,5% hingga 7,8%.

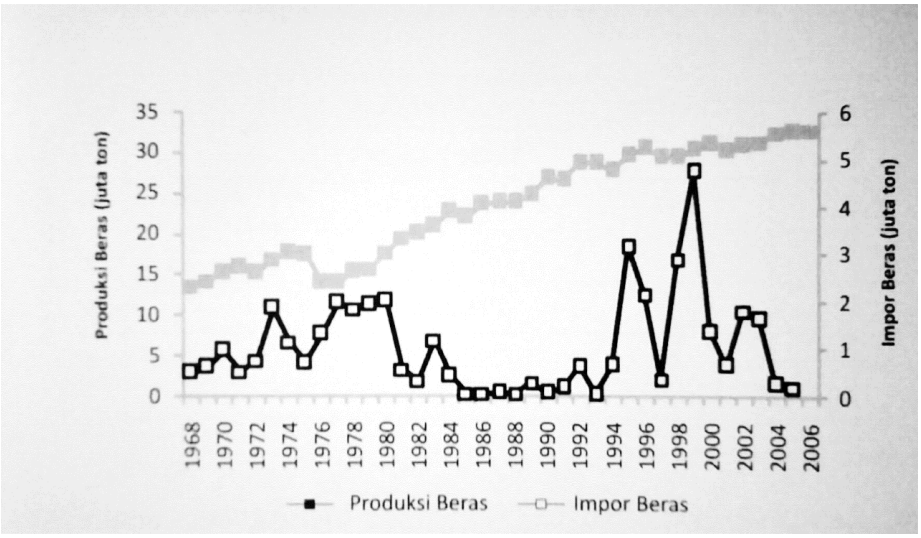
1.1.1. Produksi Padi di Dunia

Peningkatan produksi beras dunia disebabkan oleh faktor peningkatan produktivitas dan perluasan area panen sebagai akibat dari investasi irigasi dan perluasan area panen sebagai akibat dari investasi irigasi dan perluasan area panen sebagai akibat dari investasi irigasi dan perluasan area panen sebagai akibat dari investasi irigasi dan perluasan area pertanian (Kasryno dkk., 2004). Area panen padi dunia meningkat dengan laju rata-rata 0,66% per tahun selama periode 1962-2000, yakni dari 118,90 juta ha menjadi 152,56 juta ha. Pada periode yang sama, produksi beras dunia mengalami peningkatan dengan laju pertumbuhan rata-rata 2,48% per tahun, yakni dari 157,14 juta ton menjadi 399,37 juta ton. Peningkatan produksi ini terjadi karena pertumbuhan produktivitas padi sebesar 1,82% per tahun. Lonjakan produktivitas padi dunia terjadi sekitar 1970-an akibat dari terobosan teknologi revolusi hijau (*green revolution*). Perkembangan produktivitas beras yang tertinggi terjadi di Cina. Namun, produktivitas tersebut masih lebih rendah dibandingkan laju pertumbuhan produksi beras di negar-negara maju. Akibatnya, terkait dengan jumlah penduduk, negara-negara maju mengalami surplus beras, sedangkan negara-negara berkembang mengalami defisit beras. Tantangannya adalah bagaimana dapat terus meningkatkan produktivitas padi pada masa yang akan datang meskipun ketersedian lahan semakin terbatas.

Penurunan produktivitas padi pada dua dekade terakhir antara lain disebabkan oleh penurunan harga beras di pasar dunia (Kasryno, 2002). Penurunan harga beras ini menyebabkan pergeseran penggunaan lahan untuk komoditas lain yang lebih menguntungkan dengan terobosan baru setelah IR8 dan IR64 dilepas. Selain itu, penggunaan pupuk dan pestisida pada monokultur padi menurunkan kualitas tanah dan irigasi (Pingali dkk., 1997).

1.1.2. Produksi Padi di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara produsen sekaligus konsumen beras yang senantiasa dilanda masalah. Sejak 1960an hingga 1980an, Indonesia merupakan pengimpor beras terbesar dunia. Untuk mengurangi impor beras dan mencapai swasembada beras nasional, Indonesia mengadopsi teknologi revolusi hijau. Setelah penerapan teknologi hijau, peningkatan produktivitas rata-rata Indonesia masih lebih tinggi dibandingkan dengan perkembangan produktivitas rata-rata di Asia. Namun, setelah swasembada beras tercapai pada 1984, kesenjangan produktivitas padi di Indonesia dan Asia semakin menurun. Hal ini menggambarkan terjadinya *leveling off* (pelandaian) atau stagnansi produktivitas padi Indonesia sejak 1990. Faktor penyebab terjadinya *leveling off* yaitu dukungan pemerintah terhadap petani padi yang melemah, misalnya dengan menghapuskan kredit usaha pertanian, penghapusan subsidi dan tataniaga pupuk, serta penghapusan harga dasar pemeblian beras oleh BULOG. Akibatnya, sejak 1997 Indonesia kembali menjadi negara pengimpor beras. Puncaknya terjadi pada tahun 2002, saat Indonesia mengimpor 3,25 juta ton beras dari pasar dunia (setara dengan 10,2% dari total perdagangan beras dunia yang hanya mencapai 25,8 juta ton). Setelah 2002, produksi beras Indonesia mengalami perbaikan, sehingga total impor beras Indonesia mengalami penurunan secara signifikan. Gambar 4-1 menunjukkan produksi dan konsumsi beras di Indonesia pada tahun 1968-2006.



Gambar 4-1 Produksi dan konsumsi beras Indonesia, 1968-2006 (Sumber: Laporan Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan)

Luas area dan produksi padi berfluktuasi sesuai musim. Panen raya umumnya terjadi pada periode Januari-April, dengan kontribusi sekitar 47% dari total produksi padi nasional (Bappenas, 2003). Pada Periode Januari-April (rata-rata tahun 2002 dan2003) total luas panen padi mencapai 44,6% periode Mei-Agustus sebesar 33,6%, sedangkan periode September-Desember mencapai 20,3% (Tabel 4-1). Fluktuasi produksi ini berdampak pada fluktuasi harga, yaitu rendah pada saat musim raya (panen periode Januari-April) dan tinggi pada saat musim paceklik (panen periode September-Desember).

Tabel 4-1 Persentase luas panen dan produksi padi menurut musim (Sumber: Bappenas, 2003)

TAHUN	Jan-Apr	Mei-Agt	Sep-Des
	Luas Panen (%)		
2002	47,7	32,9	19,4
2003	44,5	34,4	21,2
	Produksi (%)		
2002	47,2	33,5	19,3
2003	43,6	35,1	21,3

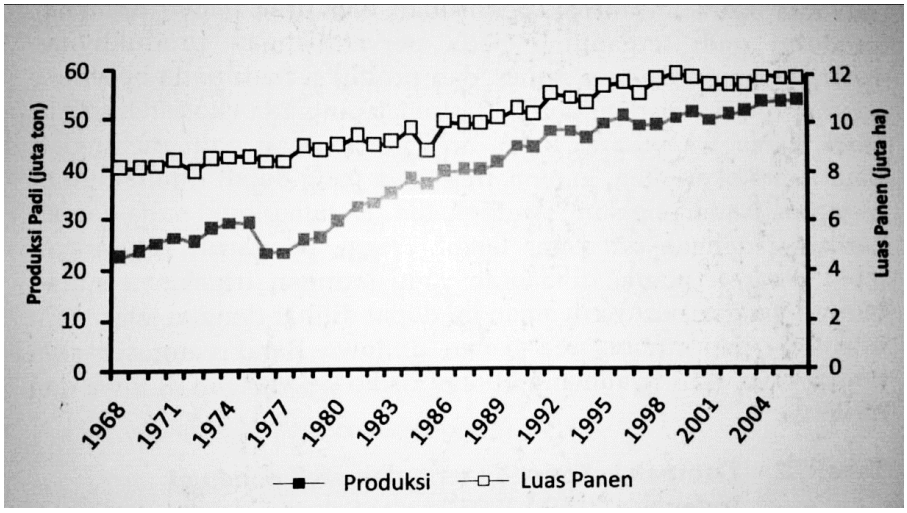
Produksi padi berkolerasi secara positif dengan luas area panen. Analisis regresi antara produksi padi dan luas area panen dilakukan dari tahun 1968 hingga 2006. Persamaan regresi antara produksi padi dan luas area panen adalah sebagai berikut:

$$\text{Produksi Padi} = -37401808 + 7.688\ \text{Area Panen} \quad \text{.....(4-1)}$$

(R^2=0.95, α=5%)

Sumber: Handoko dkk, dalam *Laporan Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis : Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan.*

Sementara itu, hubungan antara total produksi dan luas area panen padi ditunjukkan pada Gambar 4-2. Dari gambar tersebut tampak bahwa antara total produksi padi dan luas area panen meningkat secara beriringan. Semakin rendah jarak antar kedua kurva tersebut pada tahun-tahun terakhir mengindikasikan telah terjadi peningkatan produktivitas (hasil) padi per hektar dibandingkan dengan kondisi pada periode-periode awal (1970-1980an).



Gambar 4-2 Total produksi dan luas panen padi di Indonesia, 1968-2006 (Sumber: Laporan Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan)

1.1.3. Dampak Kekeringan Terhadap Padi

Kasryno, dkk. (2001) mengungkapkan bahwa selama 30 tahun terakhir telah terjadi bencana kekeringan sebanyak enam kali, yakni tahun 1972, 1976, 1982, 1991, dan 1997. Pada periode sebelum tahun 1991 bencana kekeringan ini mengakibatkan penurunan luas area panen; sedangkan pengaruhnya terhadap produksi dapat direndam karena penurunan luas area panen dapat dikompensasikan oleh peningkatan produktivitas lahan. Hanya pada kekeringan tahun 1972 area panen dapat dikompensasikan oleh peningkatan produktivitas lahan. Hanya pada kekeringan tahun 1972 area panen menurun hingga 3,97% disertai dengan penurunan produksi 2,7% karena produktivitas hanya meningkat 1,2%. pada tahun 1991, penurunan luas area panen dapat dikompensasikan dengan peningkatan produktivitas lahan.

Kasryno, dkk. (2001) menyatakan bahwa bencana kekeringan akibat anomali iklim El-Nino telah menurunkan luas area panen rata-rata 3,2%. Dampak penurunan luas area panen terhadap produksi padi tergantung pada perkembangan produktivitas lahan. Peningkatan area panen dan produksi padi pada beberapa sentra produksi padi antara lain disebabkan pada ekosistem lahan lebak dan rawa pasang surut, area penanaman padi meningkat pada saat kekeringan, karena area rawa yang dapat ditanami dan menghasilkan, mengalami peningkatan. Sebaliknya, pada daerah beririgasi dengan intensitas tanam tinggi, pengaruh kekeringan lebih besar terutama di daerah yang jaringan irigasinya sudah banyak rusak. Kenyataan ini dapat dilihat dengan jelas pada intensitas penurunan area panen di Jawa Barat yang semakin tinggi, yang menimbulkan risiko kekeringan di Jawa dan Nasional.

1.2. Tujuan

Tujuan kegiatan yang disajikan pada tulisan ini adalah untuk mengkaji keterkaitan perubahan iklim dengan produksi pangan strategis (produksi padi) dalam rangka penilaian bahaya sektor pertanian untuk menjadi acuan dasar Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim. Wilayah ekoregion yaitu; Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali dan Nusa Tenggara, Kepualauan Maluku, dan Papua menjadi tinjauan penilitian produksi padi yang dipengaruhi oleh faktor iklim. Pulau-pulau tersebut mewakili penilaian terhadap kajian Bahaya Perubahan Iklim Sektor Pertanian.

1.2.1. Lingkup Kajian

Kajian di bidang pertanian ini melanjutkan dari hasil kajian basis ilmiah untuk menentukan keadaan historis dan proyeksi terhadap iklim di Indonesia, dengan mempelajari kerentanan sektor pertanian

terhadap perubahan iklim secara nasional melalui analisis dengan menggunakan pemodelan untuk melihat penurunan produksi padi menggunakan dua variabel yaitu curah hujan dan temperatur. Berikut lingkup kajian pada sektor bahaya pertanian akibat perubahan iklim:

1. Mengidentifikasikan studi yang pernah dilakukan dan literatur yang berhubungan dengan fenomena perubahan iklim yang berkaitan dengan produksi padi;
2. Identifikasi metode penelitian yang paling sesuai untuk digunakan dalam mengukur bahaya pada sektor pertanian dengan produksi padi sebagai dasar acuan penilaiannya;
3. Identifikasi parameter untuk penilaian bahaya pada sektor pertanian, menggunakan variabel peningkatan temperatur dan penurunan curah hujan di setiap provinsi;
4. Perumusan penilaian yang dapat memprediksikan hubungan keterkaitan perubahan iklim dan kinerja sistem produksi padi diambil dari hasil penelitian bahaya sektor pertanian yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu.
5. Memperkirakan, mengintepretasikan hasil analisa, dan melakukan pemetaan berdasarkan penilaian tingkat bahaya (*hazard*) pada sektor pertanian.

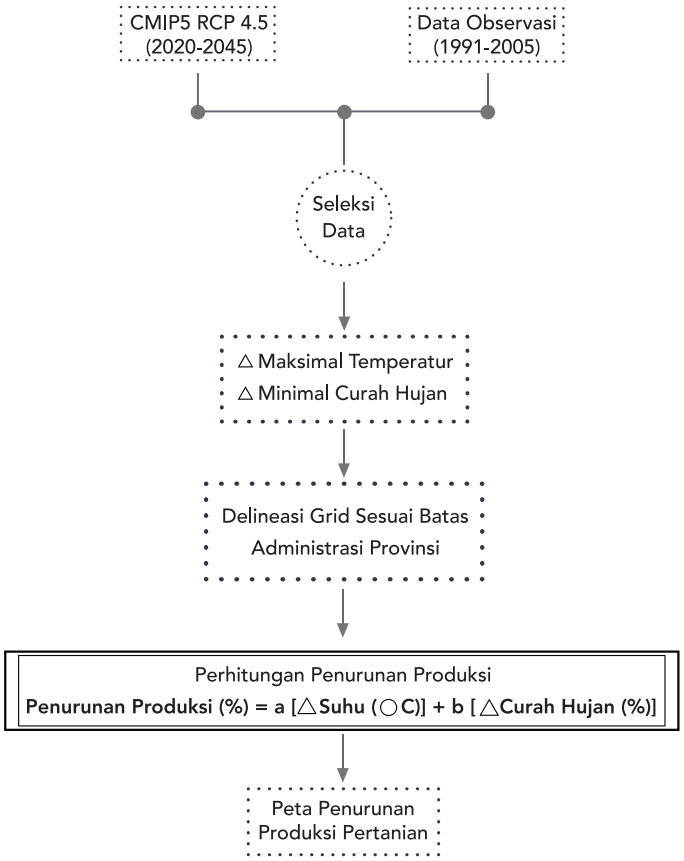
1.2.2. Keluaran

Keluaran dari kegiatan kajian keterkaitan perubahan iklim dan produksi padi dalam rangka penilaian bahaya pada sektor pertanian, untuk memaparkan kondisi yang terjadi pada produksi padi mulai dari historis sampai proyeksi kedepannya adalah :

1. Rata-rata produksi padi secara nasional, dimana pengolahan peta rerata tersebut belum memasukan faktor iklim (curah hujan dan suhu);
2. Peta laju rata-rata produksi padi, menggambarkan peningkatan produksi padi secara nasional pada periode tertentu;
3. Peta standar deviasi laju produksi padi;
4. Memetakan kerentanan dari persentase penurunan produksi padi yang dipengaruhi oleh variabel curah hujan dan temperatur;
5. *Draft* mengenai penemuan bahaya pertanian (penurunan produksi padi) di wilayah Indonesia secara nasional akibat dari adanya faktor penurunan curah hujan dan peningkatan suhu.

2. METODE

Terdapat empat tahapan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: (1) persiapan data; (2) pencarian delta maksimal temperatur dan delta minimal curah hujan untuk setiap grid pada periode waktu historis (1991-2005) dan proyeksi (2020-2045); (3) delineasi grid sesuai batas administrasi provinsi; (4) perhitungan penurunan produksi menggunakan persamaan dari penelitian Handoko; (5) pembuatan peta penurunan produksi padi. Gambar 4-3 menunjukkan alur penelitian yang digunakan dalam kajian ini.



Gambar 4-3 Metode Penelitian

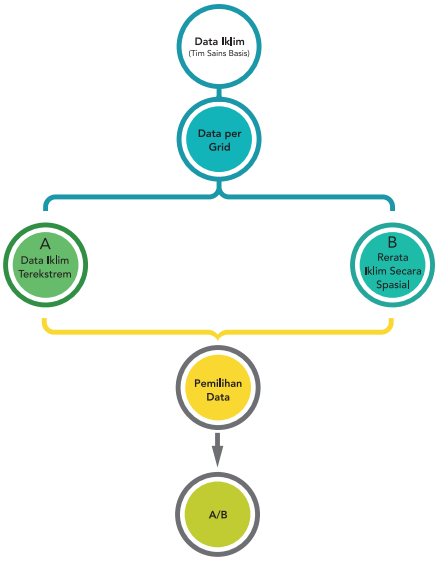
2.1. Seleksi Data

Hasil perhitungan dan pengkajian tim basis ilmiah yang merupakan data dasar berupa data observasi dan data proyeksi akan digunakan untuk melakukan penilaian perhitungan penurunan produksi padi. Rerata bulanan setiap grid untuk curah hujan dan suhu, lebih lanjut lagi pengolahan data curah hujan dan temperatur dilakukan agar dapat mewakili seluruh provinsi. Keluaran yang didapat dari hasil memformulasi data setiap grid akan menjadi data cuaca dalam dua bentuk;

1. Data iklim terekstrem; (1) curah hujan diwakili oleh nilai terendah, (2) suhu diwakili dengan nilai tertinggi.
2. Nilai rata-rata kondisi iklim secara menyeluruh di setiap titik di provinsi yang teramati (secara spasial).

Setelah dua keluaran yang dihasilkan, akan dipilih di antara dua tipe data iklim tersebut, agar perhitungan penurunan produksi padi lebih akurat. Dengan kata lain, tipe data iklim yang terpilih

adalah kondisi iklim yang paling sesuai untuk melakukan kajian pada sektor bahaya pertanian. Gambar 4-4 menunjukkan kerangka pemilihan data.



Gambar 4-4 Pemilihan data

2.2. Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah; (1) data observasi temperatur dan curah hujan periode tahun 1991-2005 dan periode tahun 2020-2045, data proyeksi temperatur dan curah hujan periode tahun 1991-2005 dan periode tahun 2020-2045. Kedua data tersebut didapatkan dari tim basis ilmiah proyeksi iklim RAN-API; (2) peta administrasi provinsi Indonesia yang didapatkan dari BIG.

2.3. Metode

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyatakan bahwa perubahan iklim merupakan sebuah fenomena yang menyebabkan perubahan pada kondisi suhu dan curah hujan. IPCC juga menunjukkan bahwa terjadi indikasi perubahan iklim dengan meningkatnya rata-rata suhu global (peningkatan sebesar 0,76° C dari tahun 1899 hingga 2005); kenaikan rata-rata tinggi permukaan laut (rerata kecepatan 1,8 mm per tahun pada periode antara tahun 1961 dan 2003); meningkatnya ketidakpastian dan intensitas curah hujan.

Metode yang digunakan untuk perhitungan penurunan produksi pertanian mengacu pada metode yang telah digunakan oleh Handoko pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan tanaman padi yang merupakan standar makanan pokok di Indonesia. Perhitungan penurunan produksi pertanian didekati dengan menggunakan model simulasi yang merupakan fungsi dari radiasi surya, suhu dan kelembaban udara, kecepatan angin, dan curah hujan. Namun, asumsi yang digunakan adalah seluruh parameter bernilai konstan kecuali suhu dan curah hujan. Produksi pertanian yang turun di setiap provinsi adalah sebagai berikut :

$$\Delta Y = a\ \Delta T + b\ \Delta CH \quad \text{.....(4-2)}$$

ΔY : penurunan hasil padi (%)
ΔT : peningkatan suhu udara
ΔCH : penurunan curah hujan (%)
a dan b : paramemeter

Sumber: Final Report of Climate Risk and Adaptation Assessment For the Agriculture Sector – South Sumatra

Dalam penelitian terdahulu oleh Handoko telah memberikan nilai konstanta yang digunakan untuk perhitungan persamaan (2) namun hanya untuk diterapkan pada 27 provinsi di Indonesia, seperti ditunjukkan pada Gambar 4-5.

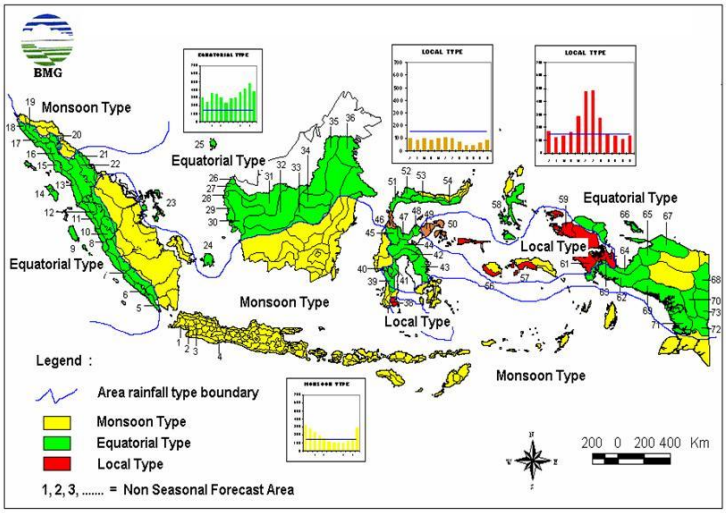
No	Provinsi	Δ Suhu (oC)	Δ Curah Hujan (%)	R2 (%)
1	Nangroe Aceh Darussalam	-8.4	0.59	92.7
2	Jambi	-12.3	0.77	97.7
3	Bangka Belitung	-10.0	0.52	92.6
4	Riau	-9.2	0.92	96.8
5	Sumatra Utara	-8.9	0.44	81.0
6	Sumatra Barat	-9.8	0.10	97.8
7	Sumatra Selatan	-11.9	0.93	96.9
8	Bengkulu	-9.5	0.07	98.1
9	Lampung	-11.1	0.44	98.6
10	Banten	-10.5	0.41	99.1
11	Jawa Barat	-10.9	0.43	98.0
12	Jawa Tengah	-11.0	0.45	98.9
13	Jawa Timur	-11.1	0.34	97.8
14	Daerah Istimewa Yogyakarta	-11.6	0.47	97.8

No	Provinsi	Δ Suhu (oC)	Δ Curah Hujan (%)	R2 (%)
15	Bali	-10.5	0.62	98.9
16	Kalimantan Timur	-12.5	1.34	98.3
17	Kalimantan Barat	-9.5	0.46	85.9
18	kalimantan Selatan	-15.1	1.24	95.7
19	Kalimantan Tengah	-15.2	1.23	96.3
20	Sulawesi Utara	-17.2	1.12	93.8
21	Sulawesi Barat	-11.2	1.16	96.6
22	Sulawesi Tenggara	-13.8	1.13	95.8
23	Sulawesi Tengah	-22.7	0.93	91.0
24	Gorontalo	-21.6	1.11	90.2
25	Nusa Tenggara Barat	-17.2	1.29	92.9
26	Nusa Tenggara Timur	-12.3	0.93	97.8
27	Papua	-11.6	1.52	97.0

Gambar 4-5 Konstanta untuk persamaan presentase penurunan produksi padi (Sumber: Handoko)

Agar persamaan (4-2) dapat diterapkan terhadap 34 provinsi di Indonesia, maka dilakukan pendekatan dengan melihat kecenderungan kondisi iklim berdasarkan peta yang dirilis oleh BMKG yang ditunjukkan pada Gambar 4-6. Iklim di suatu daerah membentuk pola yang sama mengikuti tipe yang sudah teridentifikasi. Menurut rilis dari BMKG, Indonesia memiliki 3 kategori iklim, yaitu *Monsoon Type, Equatorial Type,* dan *Local Type*.

Setelah dilakukan pendekatan tersebut, didapatkan nilai konstanta untuk 34 provinsi di Indonesia yang ditunjukkan pada Tabel 4-2. DKI Jakarta memiliki nilai konstanta 0 disebabkan karena tidak di peruntukkan sebagai wilayah produksi pertanian.



Gambar 4-6 Tipe iklim di wilayah Indonesia (Sumber: BMKG)

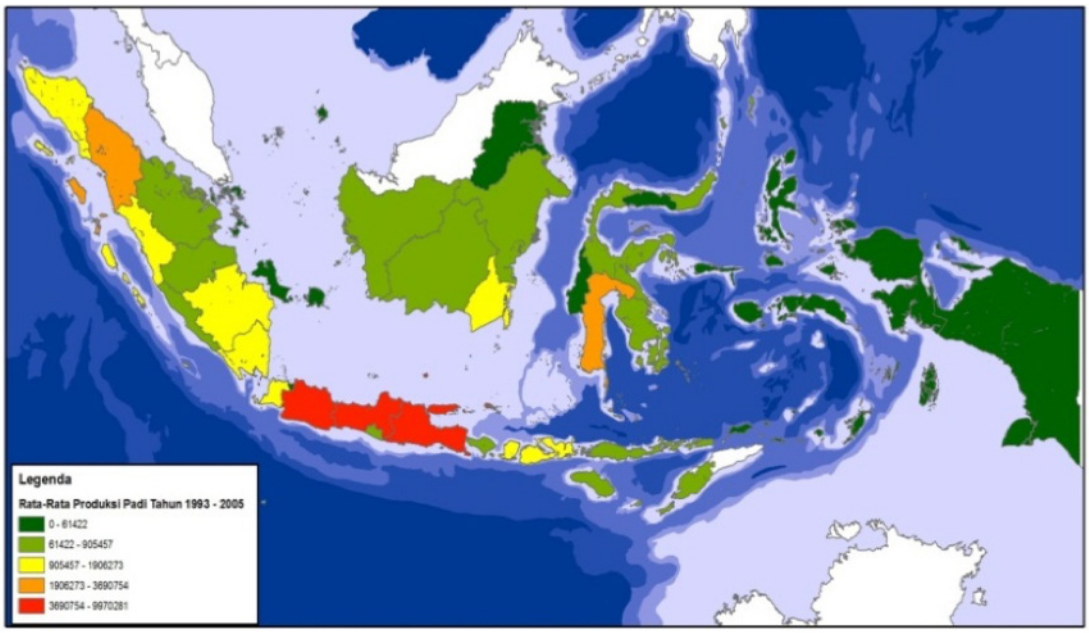
Tabel 4-2 Pembaharuan konstanta untuk persamaan persentase penurunan produksi padi

No	Provinsi	[a]	[b]	R^2
1	Aceh	-8,4	0,6	92,7
2	Bali	-10,5	0,6	98,9
3	Banten	-10,5	0,4	99,1
4	Bengkulu	-9,5	0,1	98,1
5	Daerah Istimewa Yogyakarta	-11,6	0,5	97,8
6	DKI Jakarta	0,0	0,0	0,0
7	Gorontalo	-21,6	1,1	90,2
8	Jambi	-12,3	0,8	97,7
9	Jawa Barat	-10,9	0,4	98,0
10	Jawa Tengah	-11,0	0,5	98,9
11	Jawa Timur	-11,1	0,3	97,8
12	Kalimantan Barat	-9,5	0,5	85,9
13	Kalimantan Selatan	-15,1	1,2	95,7
14	Kalimantan Tengah	-15,2	1,2	96,3
15	Kalimantan Timur	-12,5	1,3	98,3
16	Kalimantan Utara	-12,5	1,3	98,3
17	Kepulauan Bangka Belitung	-10,0	0,5	92,6
18	Kepulauan Riau	-9,2	0,9	96,8
19	Lampung	-11,1	0,4	98,6
20	Maluku	-12,3	0,9	97,8
21	Maluku Utara	-17,2	1,1	93,8
22	Nusa Tenggara Barat	-17,2	1,3	92,9
23	Nusa Tenggara Timur	-12,3	0,9	97,8
24	Papua	-11,6	1,5	97,0
25	Papua Barat	-12,3	0,9	97,8
26	Riau	-9,2	0,9	96,8
27	Sulawesi Barat	-11,2	1,2	96,6
28	Sulawesi Selatan	-13,8	1,1	95,8
29	Sulawesi Tengah	-22,7	0,9	91,0
30	Sulawesi Tenggara	-13,8	1,1	95,8
31	Sulawesi Utara	-17,2	1,1	93,8
32	Sumatera Barat	-9,8	0,1	97,8
33	Sumatera Selatan	-11,9	0,9	96,9
34	Sumatera Utara	-8,9	0,4	81,0

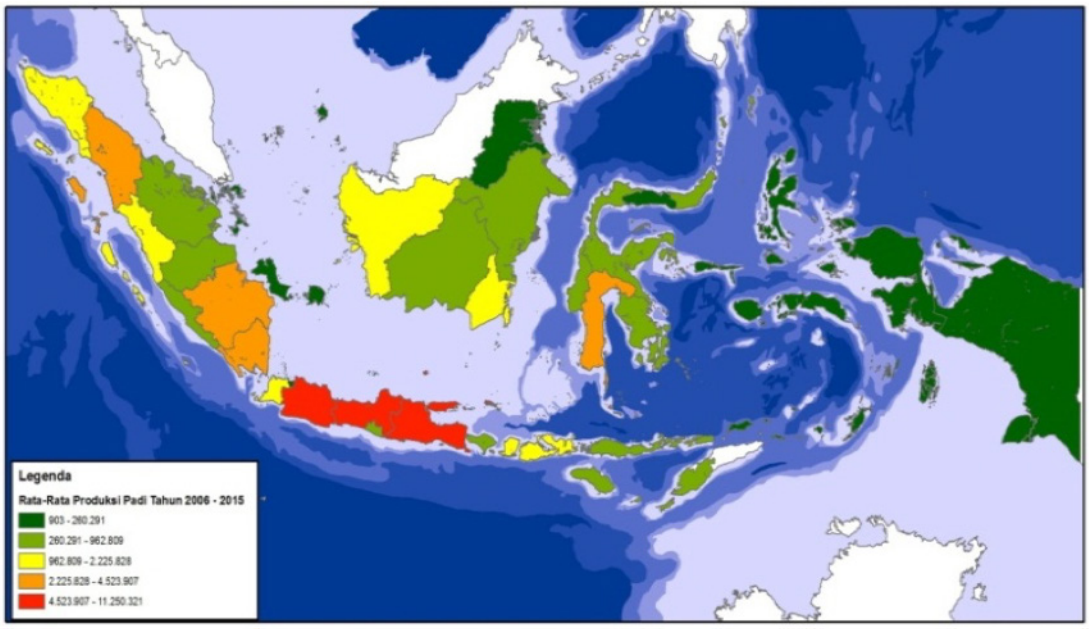
3. ANALISIS BAHAYA SEKTOR PERTANIAN

3.1. Rata-rata Produksi Padi

Gambar 4-7 dan Gambar 4-8 menunjukkan rerata produksi padi secara nasional. Rata-rata produksi pada pada periode 1993-2005 dan 2006-2015 mengalami perubahan yang membuktikan adanya pergeseran jumlah produksi padi di beberapa provinsi, hal ini belum mengacu pada faktor perubahan iklim (suhu dan curah hujan) yang mana menjadi dasar kajian pada penilaian bahaya sektor pertanian di penelitian ini.



Gambar 4-7 Rata-rata produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS)



Gambar 4-8 Rata-rata produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS)

Untuk ekoregion Sumatera, Sumatera Selatan dan Lampung masing-masing mengalami perubahan produksi padi dari skala oranye menuju skala kuning. Ekoregion Kalimantan hanya mengalami perubahan di Provinsi Kalimantan Barat, dimana mengalami penurunan skala dari kuning menuju hijau. Terakhir untuk ekoregion sulawesi provinsi Sulawesi Barat juga mengalami penurunan satu skalar dari hijau muda menuju hijau tua. Penurunan produksi padi menurut penelitian sebelum tidak hanya terpengaruh oleh faktor iklim, pengurangan lahan produksi padi juga menjadi faktor yang utama. Tabel 4-3 memperlihatkan perbedaan rata-rata produksi padi pada (1993-2005) dan (2006-2015).

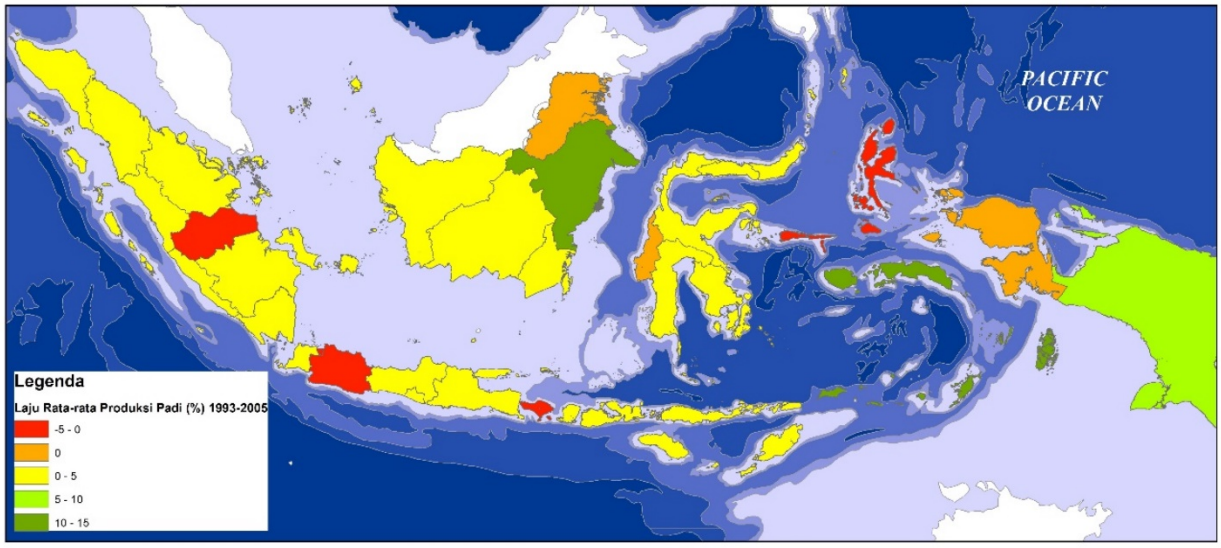
Tabel 4-3 Rata-rata produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia

Rata-Rata Produksi Padi (1993-2005)	Provinsi
(0 – 61422)	Kep. Riau, Kep. Bangka Belitung, DKI Jakarta, Kalimantan Utara, Gorontalo, Maluku Utara, Maluku, Papua Barat, Papua.
(61422 – 905457)	Riau, Jambi, Bengkulu, Daerah Istemewa Yogyakarta, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Tenggara, Bali, Nusa Tenggara Timur
(905457 – 1906273)	Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Barat, Banten, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Nusa Tenggara Barat
(1906273 – 3690754)	Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, Sulawesi Selatan.
(3690754 – 9970281)	Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur.

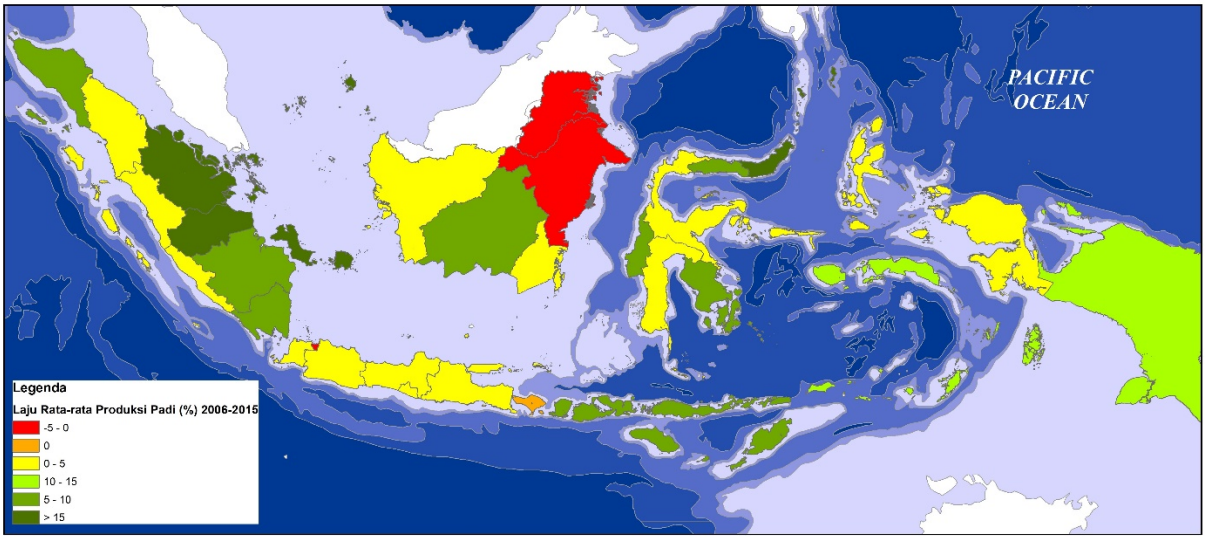
Rata-Rata Produksi Padi (2006-2015)	Provinsi
(0 – 61422)	Kep. Riau, Kep Bangka Belitung, Kalimantan Utara, Gorontalo, Sulawesi Barat, Maluku Utara, Maluku, Papua Barat, Papua.
(61422 – 905457)	Riau, Jambi, Bengkulu, Daerah Istemewa Yogyakarta, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Bali, Nusa Tenggara Timur
(905457 – 1906273)	Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Lampung, Banten, Kalimantan Selatan, Nusa Tenggara Barat
(1906273 – 3690754)	Sumatera Utara, Sulawesi Selatan.
(3690754 – 9970281)	Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur.

3.2. Laju Rata-rata Produksi Padi

Gambar 4-9 dan Gambar 4-10 menunjukkan laju rata-rata produksi padi nasional. Laju rata-rata produksi padi nasional menggambarkan perkembangan faktual dari setiap wilayah yang ada di Indonesia. Pengaruh perubahan iklim bukan merupakan satu-satunya faktor perkembangan faktual tersebut, penyebab-penyebab eksternal juga mempengaruhi. Perubahan yang signifikan banyak dialami di berbagai ekoregion yang ada di Indonesia.



Gambar 4-9 Laju rata-rata produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS)



Gambar 4-10 Laju rata-rata produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS)

Untuk wilayah yang ada di ekoregion Sumatera; Jambi dari (-5% - 0%) mengalami lompatan laju produksi padi secara drastis (di atas 15%). Sementara Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Selatan dan Lampung mengalami peningkatan satu skala. Sedangkan di Provinsi Jawa Barat mengalami peningkatan dari -5% - 0% di periode 1993 - 2005 menuju 0% - 5% di tahun 2006-2015. Di ekoregion Kalimantan, provinsi yang tidak mengalami perubahan laju rata-rata hanya Kalimantan Barat dan Kalimantan Selatan. Sementara itu, seluruh wilayah di Ekoregion Bali-Nusa Tenggara, Provinsi Sulawesi Tenggara, Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Gorontalo, Provinsi Sulawesi Utara, Maluku Utara, dan Papua Barat juga mengalami peningkatan laju produksi.

Hal tersebut sesuai dengan pernyataan bahwa data produksi padi yang diperoleh dari BPS, tidak hanya dipengaruhi oleh faktor iklim. Akan tetapi, kajian ini memasukkan faktor iklim, yaitu penurunan produksi disebabkan oleh peningkatan temperatur dan penurunan curah hujan (kekeringan). Perbandingan setiap periodenya dapat dibedakan sesuai dengan Tabel 4-4.

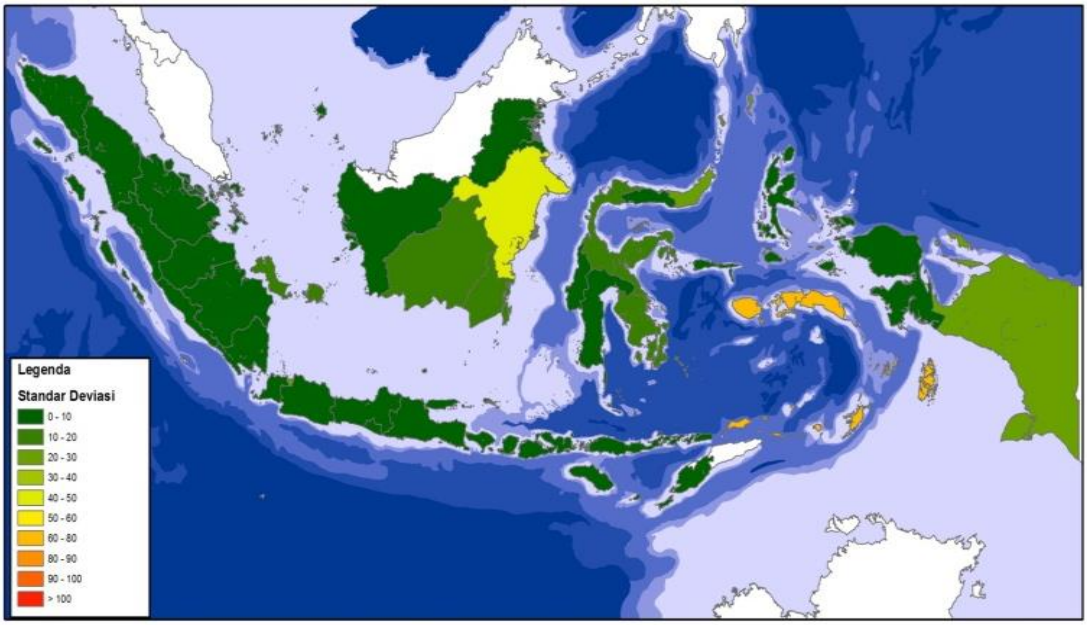
Tabel 4-4 Laju rata-rata produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia

Laju Rata-Rata Produksi Padi (1993-2005)	Provinsi
(-5% - 0%)	Jambi, DKI Jakarta, Jawa Barat, Bali, Maluku Utara.
(0%)	Kalimantan Utara, Sulawesi Barat, Papua Barat.
(0% - 5%)	Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kep. Riau, Bengkulu, Sumatera Selatan, Kep. Bangka Belitung, Lampung, Banten, Jawa Tengah, Daerah Istemewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur
(5% - 10%)	Papua.
(10% - 15 %)	Kalimantan Timur, Maluku.

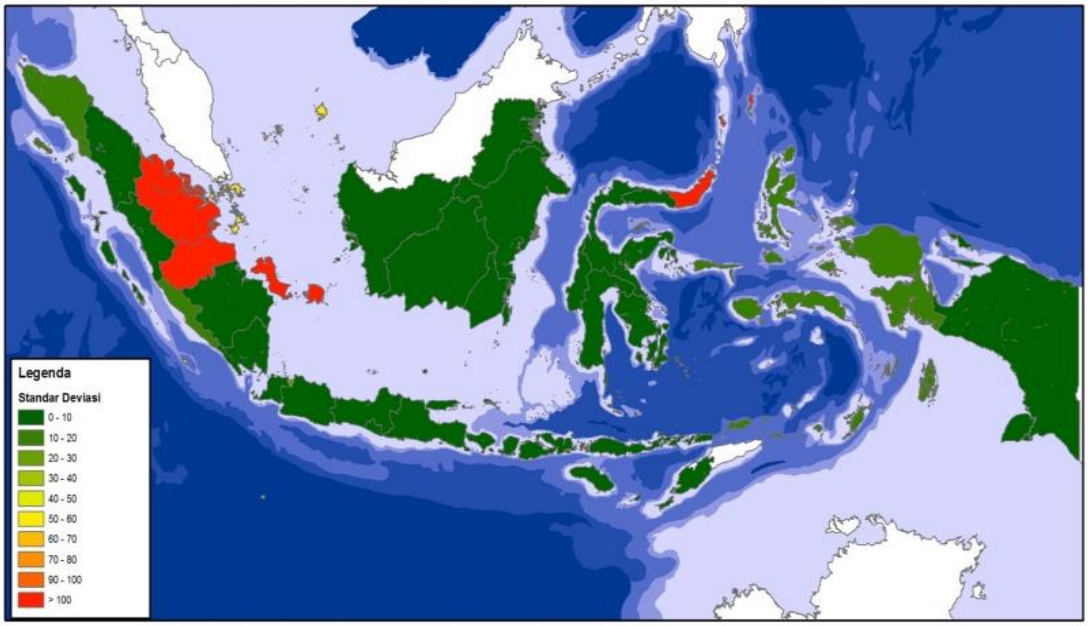
Laju Rata-Rata Produksi Padi (2006-2015)	Provinsi
(-5% - 0%)	DKI Jakarta, Kalimantan Utara, Kalimantan Timur.
(0%)	Bali.
(0% - 5%)	Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istemewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Maluku Utara, Papua Barat.
(5% - 10%)	Naggroe Aceh Darussalam, Sumatera Selatan, Lampung, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Gorontalo, Sulawesi Barat, Sulawesi Tenggara,
(10% - 15 %)	Maluku, Papua.
> 15%	Riau, Kep. Riau, Jambi, Kep. Bangka Belitung, Sulawesi Utara.

3.3. Standar Deviasi Laju Produksi Padi

Standar deviasi merupakan istilah untuk memaparkan perbedaan keberagaman data rata-rata. Sesuai Gambar 4-11 dan Gambar 4-12 Standar Deviasi Laju Produksi Padi secara nasional di provinsi tertentu menunjukan perbedaan di setiap periode perubahan yang sangat ekstrem dalam persebaran data tersebut.



Gambar 4-11 Standar deviasi laju produksi padi tahun 1993-2005 (Sumber: BPS)



Gambar 4-12 Standar deviasi laju produksi padi tahun 2006-2015 (Sumber: BPS)

Gambar 4-11 dan Gambar 4-12 menunjukkan standar deviasi laju produksi padi tahun 1993-2005 dan 2006-2015. Perbedaan peningkatan ekstrem perubahan standar deviasi terjadi di wilayah; Provinsi Riau, Jambi, Kep. Bangka Belitung, dan Sulawesi Utara. Penurunan nilai deviasi berada di Provinsi Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Papua. Hal ini juga menjelaskan bahwa kenaikan laju produksi padi didasari oleh beberapa faktor, terutama pada provinsi yang mengalami perubahan standar deviasi ekstrem pada periode 1993-2005 dan 2006-2015.

Perbandingan pada Tabel 4-5 menguatkan bahwa perubahan iklim tidak menjelaskan secara menyeluruh dampak perubahan produksi padi nasional. Persebaran data di setiap provinsi memiliki nilai yang sangat beragam, sehingga laju produksi yang tampak mengalami kenaikan jika

menggunakan prinsip perubahan iklim (variabel suhu dan curah hujan) menunjukan hasil yang berbeda begitupun sebaliknya. Oleh karena itu, perlu penilaian khusus agar produksi padi pada provinsi yang mengalami perubahan hanya disebabkan oleh peningkatan temperatur ekstrem dan penurunan ektrem cuaca hujan.

Tabel 4-5 Standar deviasi laju produksi pada setiap provinsi di Indonesia

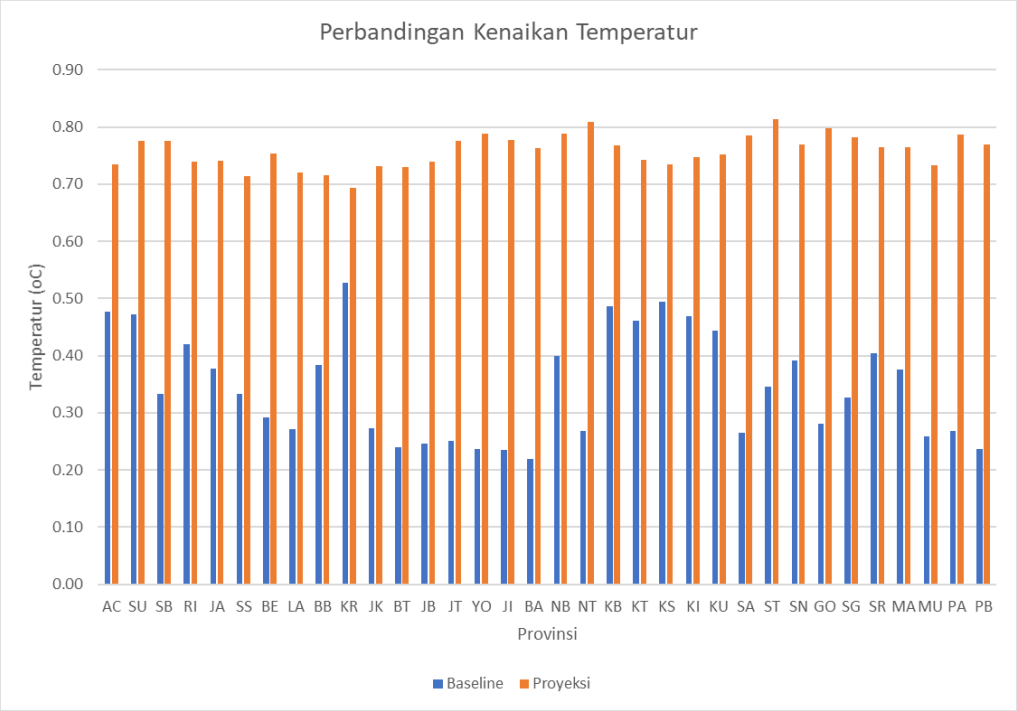
Laju Rata-Rata Produksi Padi (1993-2005)		Provinsi
	(0 - 10)	Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kep. Riau, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan, Kep. Bangka Belitung, Lampung, Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istemewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Utara, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Gorontalo, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Maluku Utara, Papua Barat.
	(10 – 20)	Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara.
	(20 – 30)	Papua.
	(30 - 40)	-
	(40 - 50)	Kalimantan Timur.
	(50 - 60)	-
	(60 - 80)	-
	(80 - 90)	Maluku.
	(90 - 100)	-
	>100	-

Laju Rata-Rata Produksi Padi (2006-2015)		Provinsi
	(0 - 10)	Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Lampung, Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istemewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Papua.
	(10 – 20)	Naggroe Aceh Darussalam, Bengkulu, Maluku Utara, Maluku, Papua Barat.
	(20 – 30)	-
	(30 - 40)	-
	(40 - 50)	-
	(50 - 60)	-
	(60 - 70)	-
	(70 - 80)	-
	(90 - 100)	-
	>100	Riau, Jambi, Kep. Bangka Belitung, Sulawesi Utara.

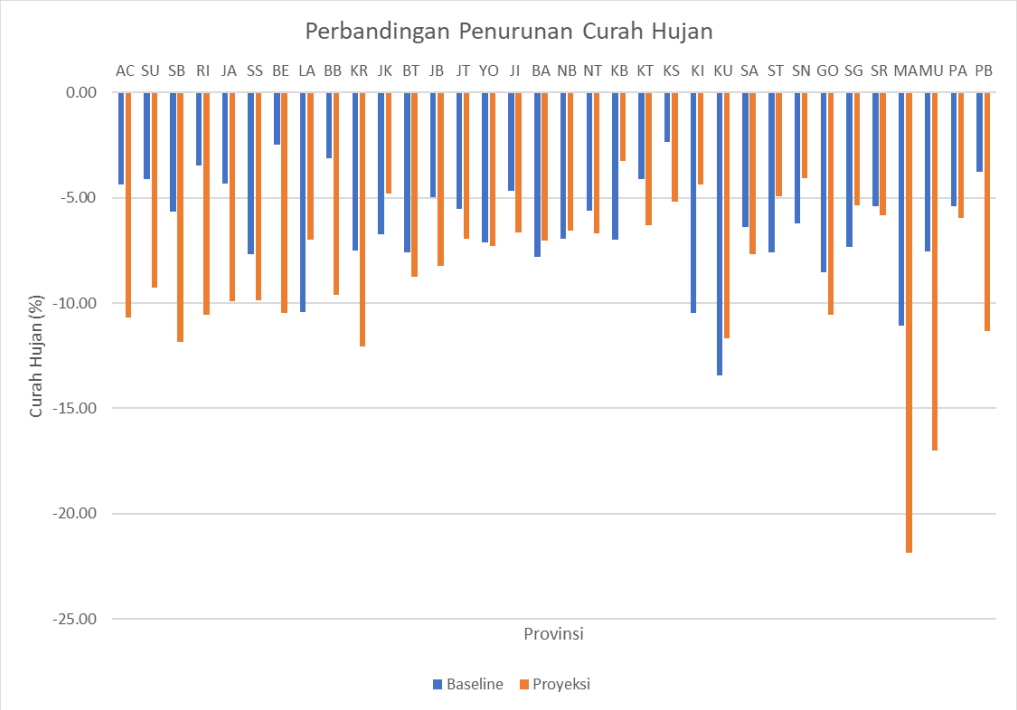
3.4. Penurunan Produksi Padi Akibat Pengaruh Perubahan Iklim

Gambar 4-13 menunjukkan perbandingan delta temperatur pada kondisi historis dan kondisi proyeksi. Delta temperatur pada kondisi proyeksi mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan kondisi historis. Sedangkan Gambar 4-14 menunjukkan perbandingan delta curah hujan pada kondisi historis dan kondisi proyeksi. Delta curah hujan pada kondisi proyeksi mengalami penurunan jika

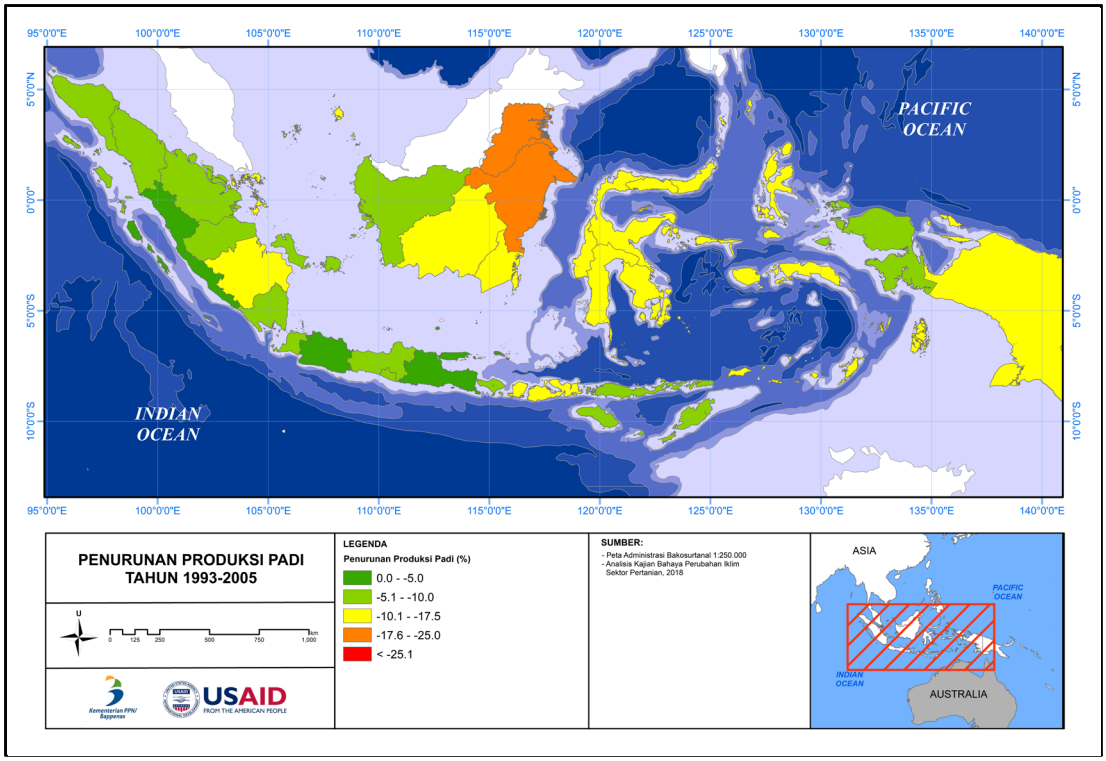
dibandingkan dengan kondisi historis. Berdasarkan persamaan (4-2) yang digunakan, dapat dilihat bahwa penurunan produksi pertanian disebabkan oleh terjadinya kenaikan temperatur dan penurunan curah hujan.



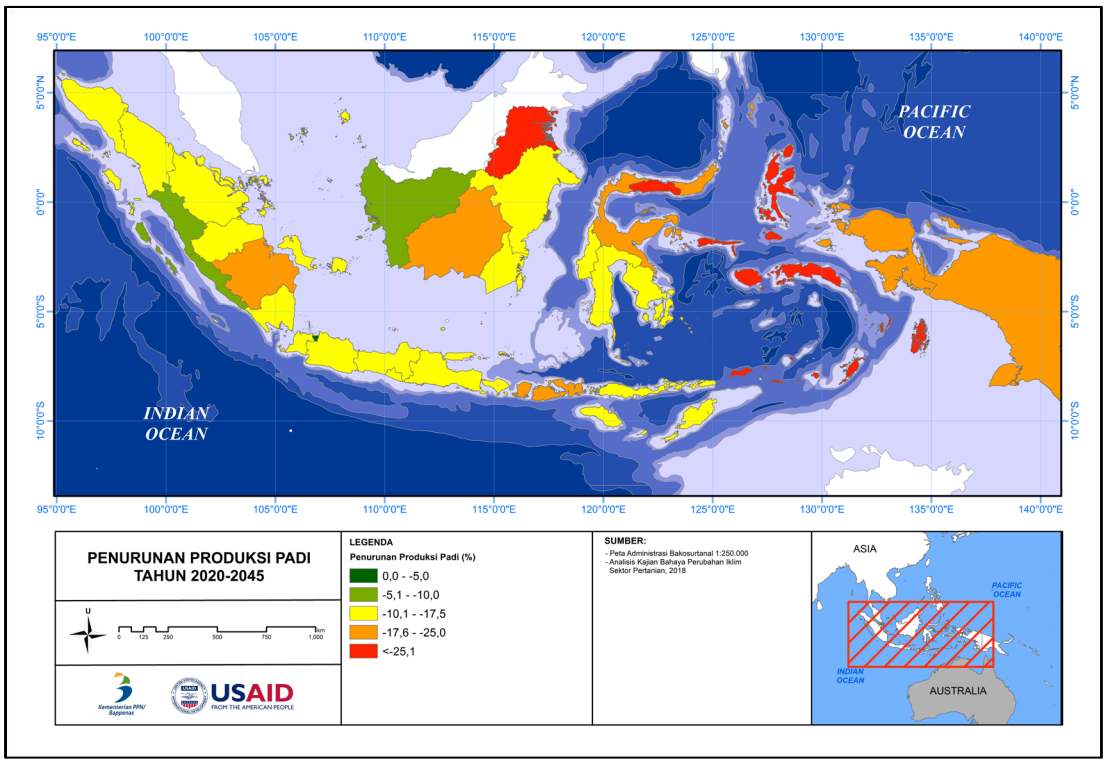
Gambar 4-13 Perbandingan delta kenaikan temperatur



Gambar 4-14 Perbandingan delta penurunan curah hujan



Gambar 4-15 Penurunan produksi padi tahun 1993-2005



Gambar 4-16 Penurunan produksi padi tahun 2020-2045

Gambar 4-15 menunjukkan produksi pertanian di seluruh provinisi di Indonesia pada periode historis (tahun 1991-2005) sedangkan Gambar 4-16 menunjukkan produksi pertanian di seluruh provinsi di Indonesia pada periode proyeksi. Terjadi kenaikan bahaya penurunan produksi padi akibat perubahan iklim yang rata-rata lebih besar pada periode proyeksi jika dibandingkan dengan periode historis di

seluruh provinsi di Indonesia. Bahaya penurunan produksi padi akibat perubahan iklim di periode proyeksi dengan level tinggi hingga level sangat tinggi terjadi di beberapa provinsi di bagian timur-utara, mulai dari Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Gorontalo, Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah; juga di NTB dan Sumatera Selatan. Tabel 4-6 menunjukkan provinsi dalam kelas penurunan produksi padi.

Tabel 4-6 Penurunan produksi padi pada setiap provinsi di Indonesia

Penurunan Produksi Padi (1993 – 2005)		Provinsi
	(0%) – (-5%)	Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Timur.
	(-5.1%) – (-10.0%)	Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Riau, Kep. Riau, Jambi, Kep. Bangka Belitung, Lampung, Banten, Jawa Tengah, Daerah Istemewa Yogyakarta, Kalimantan Barat, Bali, Nusa Tenggara Timur, Papua Barat.
	(-10.1%) – (-17.5%)	Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, Maluku, Papua
	(-17.6%) – (-25.0%)	Kalimantan Utara, Kalimantan Timur.
	< -25.1%	-

Penurunan Produksi Padi (2020 – 2045)		Provinsi
	(0%) – (-5%)	-
	(-5.1%) – (-10.0%)	Sumatera Barat, Bengkulu, Kalimanatan Barat.
	(-10.1%) – (-17.5%)	Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Riau, Kep. Riau, Jambi, Kep. Bangka Belitung, Lampung, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Bali, Nusa Tenggara Timur.
	(-17.6%) – (-25.0%)	Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Papua Barat, Papua.
	< -25.1%	Kalimantan Utara, Gorontalo, Maluku Utara, Maluku

4. KESIMPULAN

1. Terjadi kenaikan temperatur yang lebih besar pada periode proyeksi jika dibandingkan dengan periode historis pada semua provinsi.
2. Terjadi penurunan curah hujan yang secara umum lebih besar pada periode proyeksi jika dibandingkan dengan periode historis.
3. Terjadi kenaikan bahaya penurunan produksi padi akibat perubahan iklim yang rata-rata lebih besar pada periode proyeksi jika dibandingkan dengan periode historis di seluruh provinsi di Indonesia.
4. Bahaya penurunan produksi padi akibat perubahan iklim di periode proyeksi dengan level tinggi hingga level sangat tinggi terjadi di beberapa provinsi di bagian timur-utara, mulai dari Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Gorontalo, Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah; juga di NTB dan Sumatera Selatan.
5. Bahaya penurunan produksi padi terjadi di daerah penghasil utama padi yaitu wilayah ekoregion Sumatera dan Jawa.

5. DAFTAR PUSTAKA

Bappenas. (2003). Profil pangan dan Pertanian Indonesia 1992-2002. Jakarta: Bappenas.

Departemen Meteorologi dan Geofisika. (2010). Penyusunan Kriteria Baku Kerusakan Akibat Perubahan Iklim: Sektor Pertanian.

FAO. (2005). "Impact of Climate and Diseases on Food Security and Poverty Reduction". Special event background document for 31st session of the comittee on world food security. Rome, 23 - 26 May 2005.

Fischer, G., Shah, M., dan Van Velthuizen, H. (2002). Climate Change and Agricultural Vulnerability. IIASA. Luxemburg, Austria.

Handoko dan Ruminta. (2012). Final Report: Climate Change Risk and Adaptation Assessment for the Agriculture Sector - South Sumatera. Jakarta: Ministry of Environment, Indonesia.

Handoko, Sugiarto, Y., dan Syaukat, Y. (2008). Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan. Bogor: SEAMEO BIOTROP.

Kasryno, F. (2002). Pengembangan produksi dan konsumsi jagung dunia selama empat dekade lalu dan implikasinya bagi Indonesia. Makalah disampaikan pada Diskusi Nasional Jagung tanggal 4 Juni 2002 di Bogor. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Kasryno, F., Pasadaran, E., & Fagi, A. M. (2004). Ekonomi Padi dan Beras Indonesia. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian - Departemen Pertanian.

Kasryno, F., Simatupang, P., Pasandaran, E., & Adiningsih, S. (2001). REFORMULASI KEBIJAKSANAAN PERBERASAN NASIONAL. forum penelitian agro ekonomi, Vol 19, No 2, 1-23.

Pingali, P., Hossain, M., dan Gerpacio, M. (1997). Asian rice bowls: the returning crisis? New york and Manila: CAB International and International Rice Research Institute.

Treberth, K., Houghton, J., dan Filho, L. M. (1995). The Climate System: an Overview. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of The Intergovermental Panel on Climate Change. Cambrige University Press.

BAB 4
SEKTOR KESEHATAN

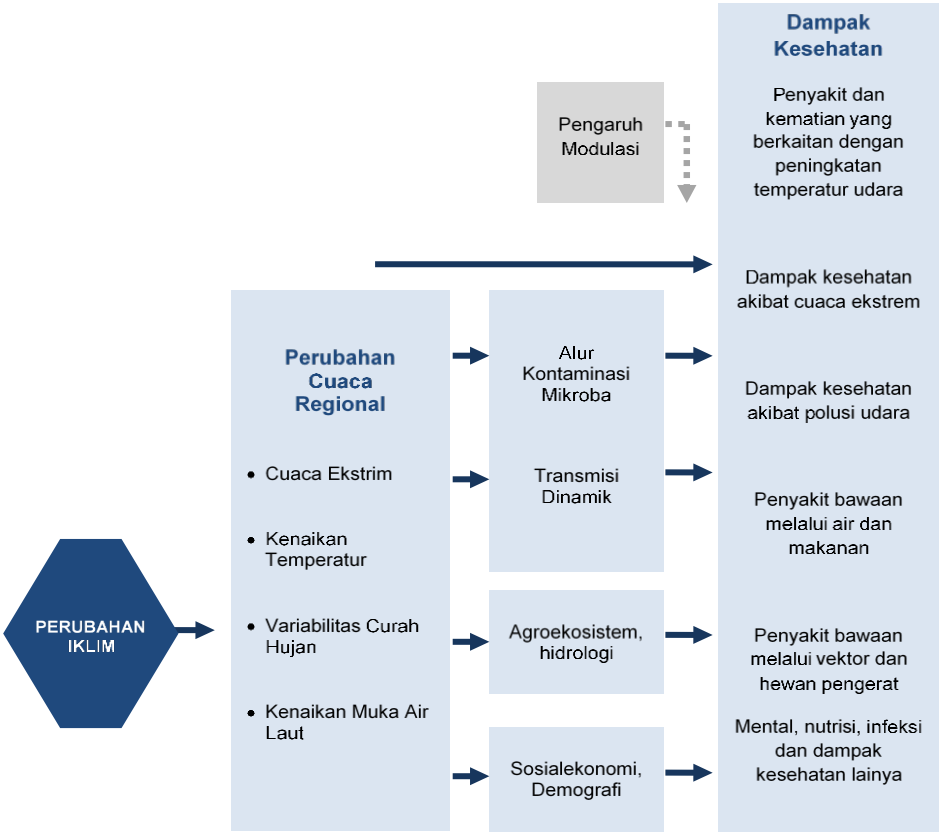
1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahaya perubahan iklim di Indonesia ke depan ditandai dengan (1) peningkatan curah hujan yang cukup signifikan pada bulan-bulan tertentu dengan peningkatan variabilitas di daerah tertentu, (2) penurunan curah hujan di bulan-bulan kering, sementara pada bulan-bulan musim basah curah hujan meningkat, (3) kenaikan temperatur permukaan rata-rata. Bahaya perubahan iklim mempengaruhi kesehatan melalui jalur kontaminasi mikroba dan transmisi dinamis. Selain itu bahaya perubahan iklim mempengaruhi agro-ekosistem dan hidrologi, serta sosio-ekonomi dan demografi. Proses tersebut dipengaruhi juga oleh modulasi berupa kondisi sosial, ekonomi dan pembangunan.

Dampak kesehatan yang dapat terjadi dari proses tersebut di antaranya efek peningkatan temperatur terhadap kesakitan dan kematian, bencana akibat cuaca ekstrem, peningkatan pencemaran udara, penyakit bawaan air dan makanan, dan penyakit bawaan vektor dan hewan pengerat.

Gambar 5-1 menjelaskan alur dampak perubahan iklim terhadap kesehatan, yaitu akan mempengaruhi perubahan cuaca regional/kawasan dalam bentuk cuaca ekstrem, kenaikan temperatur, perubahan pola curah hujan, dan kenaikan muka air laut. Masing-masing stimuli iklim tersebut akan menimbulkan dampak pada bidang kesehatan, dimana dikenal dengan bahaya (*hazard*) perubahan iklim.

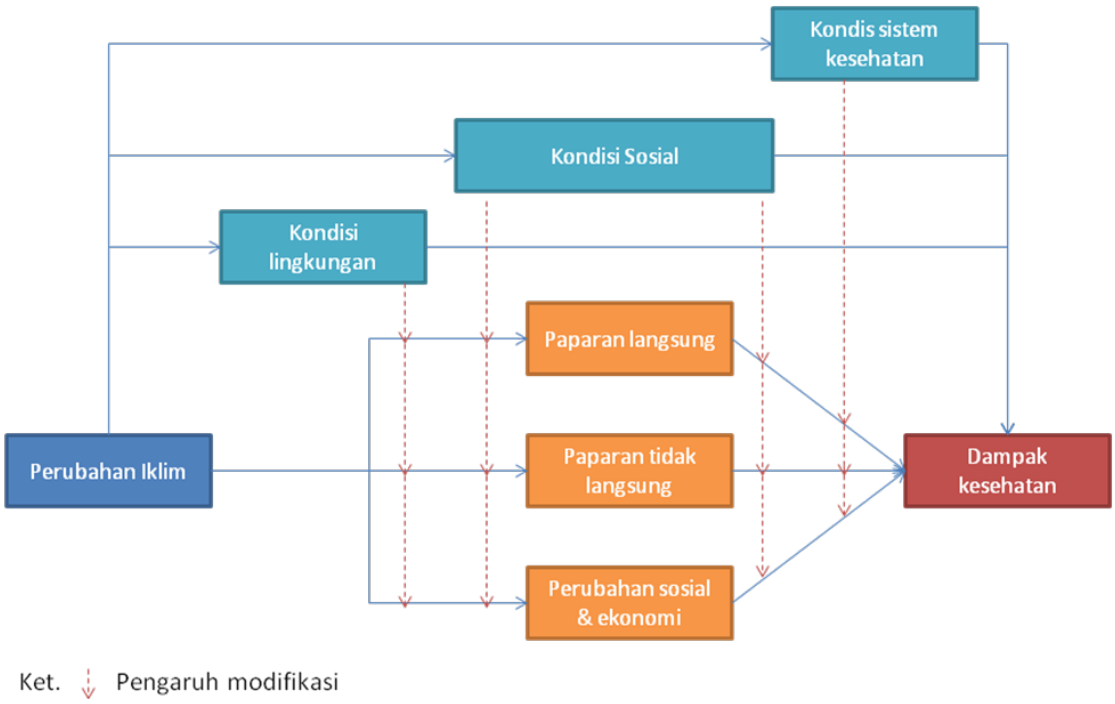


Gambar 5-1 Alur dampak perubahan iklim terhadap kesehatan (Sumber: dimodifikasi dari Patz dkk., 2000)

Berdasarkan alur prosesnya, bahaya perubahan iklim dapat mempengaruhi kesehatan manusia dengan dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung (Gambar 5-2):

1. Mempengaruhi kesehatan manusia secara langsung berupa paparan langsung dari perubahan pola cuaca (temperatur, curah hujan, kenaikan muka air laut, dan peningkatan frekuensi cuaca ekstrem). Kejadian cuaca ekstrem dapat mengancam kesehatan manusia bahkan kematian.
2. Mempengaruhi kesehatan manusia secara tidak langsung. Mekanisme yang terjadi adalah perubahan iklim mempengaruhi faktor lingkungan seperti perubahan kualitas lingkungan (kualitas air, udara, dan makanan), penipisan lapisan ozon, penurunan sumber daya air, kehilangan fungsi ekosistem, dan degradasi lahan yang pada akhirnya faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi kesehatan manusia. Dampak tidak langsung berupa (a) Kematian dan kesakitan akibat penyakit. Penyakit terkait perubahan iklim dipicu oleh adanya perubahan temperatur, pencemaran udara, penyakit bawaan air dan makanan, serta penyakit bawaan vektor dan hewan pengerat. (b) Malnutrisi, dapat terjadi karena terganggunya sumber makanan dan panen.

Contoh beberapa penyakit dan gangguan kesehatan yang diduga berkaitan dengan perubahan iklim baik langsung maupun tidak langsung yaitu kematian akibat gelombang panas (*heatwave*), penyakit pernafasan akibat polusi, kanker melanoma pada kulit akibat sinar ultraviolet matahari, penyakit menular bawaan nyamuk (*vector borne diseases*) seperti malaria, zika, chikungunya, demam dengue, demam kuning, demam kaki gajah dan lain-lain, penyakit bawaan air semisal kolera eltor, dysenteri serta penyakit-penyakit lainnya.



Gambar 5-2 Diagram pola hubungan iklim yang mempengaruhi kesehatan, baik yang memberikan dampak langsung maupun terdapat pengaruh modifikasi dari kondisi lingkungan, sosial dan sistem kesehatan (Sumber: IPCC, Working Group II, 2008)

Demam dengue dan juga malaria adalah penyakit menular yang disebabkan oleh virus yang dibawa dan ditularkan melalui vektor yaitu nyamuk. Penularan penyakit bawaan vektor (dalam hal ini nyamuk), dipengaruhi oleh faktor iklim. Perubahan iklim dapat menyebabkan berubahnya waktu perkembangbiakan, perilaku, dan kelangsungan hidup nyamuk sehingga dinamika transmisi penyakit sangat dipengaruhi oleh faktor iklim. Beberapa parameter iklim seperti curah hujan, suhu, hari hujan,

dan kelembaban absolut berdampak pada tempat perkembangbiakan nyamuk. Selain itu, faktor iklim juga memainkan peran penting dalam kelangsungan hidup dan tingkat transmisi virus.

Beberapa keterkaitan antara perubahan iklim dengan wabah penyakit berbasis vektor:

1. Telah teruji, baik di lapangan maupun eksperimen di laboratorium, bahwa kenaikan temperatur meningkatkan siklus gonotropik serangga seperti nyamuk sehingga lebih cepat berkembang biak (Agoes, 1996; Agoes, dkk., 2001; Agoes, 2005; Patz, dkk., 2000; Hii, dkk., 2009; Ubaidillah, 2011)
2. Kenaikan temperatur di zona subtropis memicu migrasi atau perpindahan nyamuk yang semula hanya berkembangbiak di iklim tropis, ke wilayah subtropis (Reiter, 2001)
3. Penebangan hutan menaikkan kepadatan nyamuk di desa sekitar hutan akibat kenaikan suhu dan kelembaban yang cocok untuk pertumbuhan nyamuk (Afrane, dkk., 2012)
4. Iklim juga erat kaitannya dengan penyakit bawaan air (*waterborne diseases*). Fenomena cuaca ekstrem di beberapa negara seperti Yaman dan Bangladesh yang endemis kolera, berpotensi terbawa arus laut sehingga meningkatkan potensi wabah eltor ke negara lain (Garrett, 1994)

Bukti-bukti ilmiah menunjukkan bahwa variabilitas dan perubahan iklim dapat berpengaruh terhadap epidemiologi penyakit yang ditularkan oleh vektor (*vector-borne diseases*). Di Indonesia terdapat tiga penyakit penting sebagai dampak perubahan iklim yang perlu dikaji yaitu penyakit malaria, penyakit dengue atau disebut juga demam dengue serta komplikasinya berupa Demam Berdarah Dengue (DBD) dan *Syndroma Shok Dengue* (DSS), serta diare karena penyebarannya yang luas dan banyak di Indonesia. Selain itu, efek negatif variabilitas dan perubahan iklim dapat menekan lebih kuat terhadap populasi yang berpendapatan rendah dengan akses yang terbatas pada sarana kesehatan, sehingga termasuk kelompok populasi yang rentan terhadap dampak kesehatan akibat perubahan iklim.

1.2. Tujuan

Dengan berpedoman kepada latar belakang sebagaimana dikemukakan di atas, sasaran penyusunan analisis bahaya perubahan iklim sektor kesehatan adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi permasalahan dan tantangan masa depan sektor kesehatan akibat perubahan iklim;
2. Mengidentifikasi aspek-aspek bahaya perubahan iklim untuk sektor kesehatan berdasarkan analisis kuantitatif menggunakan data dan informasi spasial maupun temporal;
3. Memetakan dan menganalisis hasil kajian bahaya pada sektor kesehatan akibat perubahan iklim;

2. KONDISI, PERMASALAHAN, DAN TANTANGAN SEKTOR KESEHATAN

2.1. Kondisi dan Permasalahan Sektor Kesehatan

Sebagaimana tercantum dalam RPJP Departemen Kesehatan Tahun 2005-2025, kondisi kesehatan masyarakat di Indonesia saat ini dihadapkan pada rendahnya kualitas kesehatan penduduk yang terlihat dari masih tingginya angka kematian bayi (AKB), angka kematian anak balita (AKABA) dan angka kematian ibu melahirkan (AKI) serta tingginya proporsi anak balita yang mengalami gizi kurang; kesenjangan kualitas kesehatan dan akses terhadap pelayanan kesehatan yang bermutu antar wilayah, gender dan kelompok pendapatan; belum memadainya jumlah, penyebaran, komposisi, dan mutu tenaga kesehatan; serta terbatasnya sumber pembiayaan dan belum optimalnya alokasi pembiayaan kesehatan.

Selain itu, Renstra Departemen Kesehatan tahun 2014-2019 menyampaikan bahwa permasalahan utama sektor kesehatan saat ini adalah tingkat kematian di berbagai usia, untuk kesehatan ibu dan anak permasalahan yang terjadi diakibatkan oleh kurangnya tenaga ahli kesehatan dalam bidangnya, untuk kesehatan balita diketahui bahwa mayoritas disebabkan oleh infeksi khususnya pnemonia dan diare yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan setempat, untuk usia sekolah dan remaja mayoritas disebabkan oleh penyakit demam berdarah dan tuberkolosis. Terdapat pula masalah lain seperti permasalahan gizi yang semakin kompleks baik kekurangan gizi maupun kelebihan gizi. Terdapat juga potensi beban ganda penyakit (penduduk yang menderita penyakit menular dan tidak menular sekaligus) yang cukup tinggi, akses dan kualitas pelayanan kesehatan masyarakat yang rendah.

Dalam konteks adaptasi terhadap perubahan iklim, permasalahan sektor kesehatan pada umumnya berkaitan dengan kapasitas kelembagaan yang adaptatif (*adaptive institutional capacity*), misalnya kurangnya pemerataan dan keterjangkauan fasilitas pelayanan kesehatan, terbatasnya jumlah dan kualitas tenaga kesehatan terlatih, tidak meratanya distribusi tenaga kesehatan dalam suatu populasi, rendahnya tingkat kesehatan penduduk miskin serta kendala ketersediaan dan keterjangkauan bahan baku obat, persediaan obat, perbekalan farmasi dan alat kesehatan. Selain itu, terdapat permasalahan pada bagian manajemen, regulasi dan sistem informasi kesehatan. Permasalahan yang dihadapi dalam perencanaan kesehatan antara lain adalah kurang tersedianya data dan informasi yang memadai, sesuai kebutuhan dan tepat waktu. Permasalahan juga muncul karena belum adanya mekanisme yang dapat menjamin keselarasan dan keterpaduan antara rencana dan anggaran Kementerian Kesehatan dengan rencana dan anggaran kementerian/lembaga terkait serta Pemerintah Daerah atau Pemda (Kabupaten, Kota, dan Provinsi), termasuk pemanfaatan hasil evaluasi atau kajian untuk input dalam proses penyusunan perencanaan.

2.2. Kapasitas Kelembagaan Saat Ini

2.2.1. Regulasi yang Berlaku

Kapasitas kelembagaan yang adaptif terhadap perubahan iklim antara lain menyangkut landasan hukum dan regulasi. Berikut ini beberapa regulasi yang berkaitan dengan adaptasi perubahan iklim di bidang kesehatan sesuai kronologis penyusunannya, antara lain:

a. Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan (Lembar Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 144).

Berbagai permasalahan dalam bidang kesehatan mengharuskan pemerintah mengambil tindakan dalam upaya penanganan permasalahan sebagaimana tersebut di bagian sebelumnya. Adapun, penelitian kali ini dilakukan dengan dasar bahwa Pemerintah harus mengambil tindakan dalam menyelesaikan permasalahan kesehatan yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Tindakan ini dijelaskan melalui pasal 154 yang berbunyi, "Pemerintah secara berkala menetapkan dan mengumumkan jenis dan persebaran penyakit yang berpotensi menular dan/atau menyebar dalam waktu yang singkat, serta menyebutkan daerah yang dapat menjadi sumber penularan". Yang kemudian dipertegas dalam pasal 155 ayat 3 yang berbunyi, "Dalam melaksanakan upaya pencegahan, pengendalian, dan pemberantasan penyakit menular sebagaimana dimaksud dalam Pasal 154 ayat (1), Pemerintah dapat menyatakan wilayah dalam keadaan wabah, letusan, atau kejadian luar biasa (KLB)."

Fenomena Demam Berdarah akibat perubahan iklim bisa menjadi salah satu wabah penyakit untuk itulah diperlukan payung hukum untuk mengambil tindakan terutama dalam menjelaskan wilayah yang memiliki potensi terkena bahaya dampak penyakit yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Penelitian ini juga dillindungi oleh payung hukum ini dengan penegasan pada pasal 156 ayat 2 yang berbunyi, "Penentuan wilayah dalam keadaan wabah, letusan, atau kejadian luar biasa (KLB) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilakukan berdasarkan hasil penelitian yang diakui keakuratannya." Berdasarkan hal tersebut, diperlukan sebuah mekanisme dan kerjasama dengan lembaga penelitian dalam memproyeksikan kondisi dan memberikan penegasan wilayah memiliki bahaya kesehatan akibat perubahan iklim.

Selain penentuan wilayah, dengan melakukan kegiatan penelitian mengenai wabah penyakit yang disebabkan oleh perubahan iklim, pemerintah juga dapat mengambil tindakan berupa program atau kebijakan dalam menangani bahaya penyakit di wilayah tersebut. Hal ini dipertegas dalam pasal 156 ayat 3 yang berbunyi "Pemerintah, pemerintah daerah, dan masyarakat melakukan upaya penanggulangan keadaan wabah, letusan, atau kejadian luar biasa sebagaimana dimaksud pada ayat (2)" Hal ini memberikan jaminan bahwa penegasan penentuan wilayah yang terdampak bahaya penyakit akibat perubahan iklim harus ditanggulangi oleh pemerintah.

b. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010 Tentang Jenis Penyakit Menular Tertentu yang Dapat Menimbulkan Wabah dan Upaya Penanggulangan:

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010 Tentang Jenis Penyakit Menular Tertentu yang Dapat Menimbulkan Wabah dan Upaya Penanggulangan pasal 4 ayat 1, yang termasuk ke dalam jenis-jenis penyakit menular tertentu yang dapat menyebabkan wadah salah satunya adalah Demam Berdarah Dengue. Adapun penyakit lainnya adalah kolera, pes, campak, polio, difteri, pertusis, rabies, malaria, avian influenza, antraks, leptospirosis, hepatitis, influenza A baru, meningitis, *yellow fever* dan chikungunya dan penyakit menular lainnya yang dapat menimbulkan wabah ditetapkan oleh menteri. Adapun suatu daerah dapat ditetapkan dalam keadaan KLB, apabila memenuhi salah satu kriteria sebagai berikut:

1. Timbulnya suatu penyakit mennular tertentu sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 yang sebelumnya tidak ada atau tidak dikenal pada suatu daerah
2. Peningkatan kejadian kesakitan terus menerus elama 3 (tiga) kurun waktu dalam jam, hari, atau minggu berturut-turut menurut jenis penyakitnya.
3. Peningkatan kejadian kesakitan dua kali atau lebih dibandingkan dengan periode sebelumnya dalam kurun waktu jam, hari atau minggu menurut jenis penyakitnya.
4. Jumlah pederita baru dalam periode waktu 1 (satu) bulan menunjukkan kenaikan dua kali atau lebih dibandingkan dengan angka rata-rata per bulan dalam tahun sebelumnya

5. Rata-rata jumlah kejadian kesakitan per bulan selama 1 (satu) tahun menunjukkan kenaikan dua kali atau lebih dibandingkan dengan rata-rata jumlah kejadian kesakitan per bulan pada tahun sebelumnya
6. Angka kematian kasus suatu penyakit (*Case Fatality Rate*) dalam 1 (satu) kurun waktu tertentu menunjukkan kenaikan 50% (lima puluh persen) atau lebih dibandingkan dengan angka kematian kasus suatu penyakit periode sebelumnya dalam kurun waktu yang sama
7. Angka proporsi penyakit (*Propotional Rate*) penderita baru pada satu periode menunjukkan kenaikan dua kali atau lebih dibanding satu periode sebelumnya dalam kurun waktu yang sama.

Sedangkan menurut pasal 9 dalam bagian kedua, penentapan suatu daerah dalam keadaan wabah dilakukan apabila situasi Kejadian Luar Biasa (KLB) berkembang atau meningkat dan berpotensi menimbulkan malapetaka dengan pertimbangan secara epidemiologis data penyakit menunjukkan peningkatan angka kesakitan dan/atau angka kematian ataupun terganggunya keadaan masyarakat berdasarkan aspek sosial budaya, ekonomi, dan pertimbangan keamanan.

c. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1018 Tahun 2011 tentang Strategi Adaptasi Sektor Kesehatan terhadap Dampak Perubahan Iklim

Berdasarkan kebijakan dan rencana program Kementrian Kesehatan dalam adaptasi dampak perubahan iklim bidang kesehatan terdapat beberapa upaya yang harus dilakukan. Strategi adaptasi perubahan Iklim bagi sektor kesehatan (Strategi APIK) sesuai dengan Permenkes Nomor 1018 tahun 2011 di antaranya adalah :

1. Menyiapkan peraturan perundang-undangan
2. Sosialisasi dan advokasi
3. Pemetaan populasi dan daerah rentan
4. Meningkatkan sistem tanggap perubahan iklim
5. Meningkatkan kemitraan
6. Meningkatkan pemberdayaan masyarakat
7. Meningkatkan pengendalian dan pencegahan penyakit
8. Meningkatkan surveilans dan sistem informasi
9. Meningkatkan kapasitas sumber daya manusia
10. Meningkatkan keterjangkauan pelayanan kesehatan.

Kajian ini dapat digunakan untuk mendukung strategi pemetaan populasi dan daerah rentan (poin 3).

d. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 035 Tahun 2012 tentang Pedoman Identifikasi Faktor Risiko Kesehatan akibat Perubahan Iklim

Faktor risiko kesehatan terkait perubahan iklim menyangkut penyakit, gangguan dan masalah kesehatan sebagai berikut:

1. Penyakit tular vektor (*vector-borne disease*);
2. Penyakit tular air dan makanan (*water and food-borne disease*);
3. Penyakit tular udara (*airborne disease*);
4. Penyakit tidak menular;
5. Kejadian bencana;
6. Gangguan kesehatan jiwa; dan
7. Masalah gizi;

e. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 45 Tahun 2014 Tentang Penyelenggaraan Surveilans:

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 45 Tahun 2014 Tentang Penyelenggaraan Surveilans, pengertian dari Surveilans Kesehatan adalah kegiatan pengamatan yang sistematis dan terus menerus terhadap data dan informasi tentang kejadian penyakit atau masalah kesehatan dan kondisi yang mempengaruhi terjadinya peningkatan dan penularan penyakit atau masalah kesehatan untuk memperoleh dan memberikan informasi guna mengarahkan tindakan pengendalian dan penanggulangan secara efektif dan efisien. Untuk itu perlu dilaksanakan surveilans kesehatan yang mana sasaran penyelenggaraan Surveilans Kesehatan meliputi program kesehatan yang ditetapkan berdasarkan prioritas nasional, spesifik lokal atau daerah, bilateral, regional dan global, serta program lain yang dapat berdampak terhadap kesehatan. Salah satu penyakit yang tercantum dalam jenis dan kegiatan surveilans kesehatan adalah demam berdarah sebagaimana demam berdarah merupakan salah satu penyakit yang terdampak perubahan iklim.

Sebagaimana tercantum dalam Pasal 6 ayat 1, Penyelenggaraan Surveilans Kesehatan dilakukan melalui pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan diseminasi sebagai satu kesatuan yang tidak terpisahkan untuk menghasilkan informasi yang objektif, terukur, dapat diperbandingkan antar waktu, antar wilayah, dan antar kelompok masyarakat sebagai bahan pengambilan keputusan. Adapun informasi yang perlu diambil dalam pengambilan keputusan melputi, besaran masalah, faktor risiko, endemisitas, patogenistas, status KLB/Wabah, kualitas pelayanan, kinerja program dan/atau dampak program. Setelah dilakukan pengumpulan data dan analisis diharapkan suveilans dapat memberikan kontribusi pada diseminasi informasi dan dijadikan sebagai pedoman pengambilan keputusan.

f. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 50 tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

Salah satu upaya lembaga dalam menangani mutu kesehatan lingkungan yang berkaitan dengan penyakit yang dibawa oleh vektor dan binatang pembawa penyakit telah diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 50 tahun 2007 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan untuk Vektor dan Binatang Pembawa Penyakit serta Pengendaliannya. Dalam peraturan tersebut terdapat ketentuan mengenai persyaratan kesehatan dan pengendalian faktor risiko penyakit dan/ atau gangguan kesehatan.

Upaya penanggulangan penyakit tular vektor dan zoonotik yang efektif yaitu dengan cara pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit. Pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit adalah semua kegiatan atau tindakan yang ditujukan untuk menurunkan populasi vektor dan binatang pembawa penyakit, sehingga keberadaannya tidak lagi berisiko untuk terjadinya penularan penyakit di suatu wilayah. Strategi pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit secara garis besar meliputi pengamatan, penyelidikan, menentukan metode pengendalian, serta monitoring dan evaluasi.

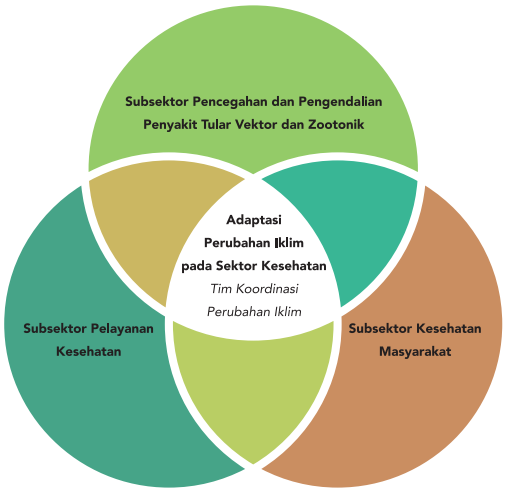
Pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit meliputi kegiatan pengamatan dan penyelidikan bioekologi, penentuan status kevektoran, status resistensi, dan efikasi, serta pemeriksaan sampel, kemudian berdasarkan ketentuan, pengendalian vector dan binatang pembawa penyakit dapat dilakukan dengan metode fisik, biologi, kimia, dan pengelolaan lingkungan. Kemudian, pengendalian terpadu dilakukan terhadap vektor dan binatang pembawa penyakit. Pengendalian terpadu merupakan pendekatan yang menggunakan kombinasi beberapa metode pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit yang dilakukan berdasarkan azas keamanan, rasionalitas, dan

efektifitas, serta dengan mempertimbangkan kelestarian keberhasilannya. Adapun dalam pelaksanaan kegiatan pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit, dilakukan pengujian laboratorium dan manajemen resistensi.

Dalam upaya pengendalian vector dan binatang pembawa penyakit pada lingkungan dan kondisi tertentu seperti pada wilayah pelabuhan, bandar udara, dan pos lintas batas darat negara, dimana merupakan pintu masuk negara yang harus bebas vektor dan binatang pembawa penyakit sesuai dengan ketentuan hukum internasional. Dengan demikian tujuan pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit di wilayah pelabuhan, bandar udara, dan pos lintas batas darat negara adalah untuk meniadakan vektor dan binatang pembawa penyakit. Sedangkan kondisi tertentu antara lain kejadian luar biasa dan kondisi matra. Terakhir akan dilakukan monitoring dan evaluasi dalam pelaksanaan upaya pengendalian vektor dan binatang pembawa penyakit.

2.2.2. Struktur Kelembagaan

Dalam menjawab tantangan adaptasi perubahan iklim terhadap penyebaran penyakit yang dipengaruhi perubahan iklim, khususnya penyakit berbasis vektor, diperlukan kemampuan dan peran kelembagaan yang bertanggung jawab dalam pengambilan kebijakan, penyusunan dan pelaksanaan. Peran ini diambil oleh sektor kesehatan baik dalam pengurangan bahaya berupa kejadian penyakit akibat vektor nyamuk dan kerentanan baik dari segi sosial budaya, infrastruktur, lingkungan dan sebagainya. Untuk mengantisipasi faktor-faktor tersebut, sektor kesehatan memiliki setidaknya tiga subsektor yang terkait, yaitu: (1) subsektor pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor dan zootonik, (2) subsektor kesehatan masyarakat, dan (3) subsektor pelayanan kesehatan. Dalam hal ini ketiga subsektor tersebut pada saat ini telah dikoordinasikan oleh sektor kesehatan dalam menjawab tantangan adaptasi terhadap risiko peningkatan penyakit sebagai dampak perubahan iklim pada sektor kesehatan; dimana ilustrasi secara diagramatis disajikan pada Gambar 5-3 berikut.



Gambar 5-3 Keterkaitan beberapa subsektor untuk adaptasi perubahan iklim pada sektor kesehatan

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Kesehatan, pelaksana masing-masing subsektor dibebankan pada tiga Direktorat Jenderal pada Kementerian Kesehatan dengan fungsi tanggung jawab sebagai berikut.

1. Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit menyelenggarakan fungsi:
   - Perumusan kebijakan di bidang surveilans epidemiologi dan karantina, pencegahan dan pengendalian penyakit menular, penyakit tular vektor, penyakit zoonotik, dan penyakit

tidak menular, serta upaya kesehatan jiwa dan Narkotika, Psikotropika, dan Zat adiktif lainnya (NAPZA);

- Pelaksanaan kebijakan di bidang surveilans epidemiologi dan karantina, pencegahan dan pengendalian penyakit menular, penyakit tular vektor, penyakit zoonotik, dan penyakit tidak menular, serta upaya kesehatan jiwa dan Narkotika, Psikotropika, dan Zat adiktif lainnya (NAPZA);
- Penyusunan norma, standar, prosedur dan kriteria di bidang surveilans epidemiologi dan karantina, pencegahan dan pengendalian penyakit menular, penyakit tular vektor, penyakit zoonotik, dan penyakit tidak menular, serta upaya kesehatan jiwa dan Narkotika, Psikotropika, dan Zat adiktif lainnya (NAPZA);
- Pelaksanaan administrasi Direktorat Pencegahan dan Pengendalian Penyakit; dan
- Pelaksanaan fungsi lain yang diberikan Menteri.

2. Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaaan kebijakan di bidang kesehatan masyarakat sesuai dengan ketentuan perundang-undangan. Ditektorat Jenderal tersebut menyelenggarakan fungsi:
   - Perumusan kebijakan di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat;
   - Pelaksanaan kebijakan di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat;
   - Penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat;
   - Pemberian bimbingan teknis dan evaluasi di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat; dan
   - Pelaksanaan evaluasi dan pelaporan di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat.
3. Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pelayanan kesehatan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Fungsi-fungsi berikut diselenggarakan dalam rangka melaksanakan tugas-tugas tersebut:
   - Perumusan kebijakan di bidang peningkatan pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer;
   - Pelaksanaan kebijakan di bidang pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer;
   - Penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang peningkatan pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer;
   - Pemberian bimbingan teknis dan supervisi di bidang peningkatan pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer;
   - Pelaksanaan evaluasi, dan pelaporan di bidang peningkatan pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer;
   - Pelaksanaan administrasi Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan; dan
   - Pelaksanaan fungsi lain yang diberikan oleh Menteri.

Berdasarkan fungsi sebagaimana tersebut di bagian sebelumnya, dalam menjawab tantangan pengaruh perubahan iklim terhadap penyakit, kelembagaan Indonesia memiliki kapasitas sebagai berikut.

- Perumusan kebijakan, pelakasanaan, dan penentuan norma, standar, serta prosedur di bidang surveilans epidemiologi dan karantina, pencegahan dan pengendalian penyakit menular, penyakit tular vektor, penyakit zoonotik, dan penyakit tidak menular untuk menyediakan informasi seperti pemantauan secara efektif terhadap distribusi dan angka prevalensi, deteksi kejadian luar biasa, pemantauan terhadap intervensi, dan memprediksi bahaya baru pengaruh perubahan iklim terhadap penyakit.
- Berdasarkan hasil surveilans, akan dilakukan penelitian dan pengkajian terhadap risiko terhadap penyakit akibat pengaruh perubahn iklim melalui kerjasama dengan intitutsi pendidikan maupun lembaga yang berkapasitas dalam memberikan informasi tersebut dalam naungan tim koordinasi perubahan iklim.
- Perumusan, pelaksanaan, penyusunan norma, standar dan prosedur kebijakan di bidang peningkatan pelayanan, fasilitas, dan mutu pelayanan kesehatan primer, rujukan, tradisional, dan komplementer setelah mengetahui bahaya dan risiko penyakit.
- Perumusan, pelaksanaan, penyusunan norma, standar dan prosedur kebijakan di bidang peningkatan kesehatan keluarga, kesehatan lingkungan, kesehatan kerja dan olahraga, gizi masyarakat, serta promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat
- Evaluasi keberjalanan mekanisme dan program.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1018/Menkes.Per/V/2011 tentang Strategi adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim setiap level dari pemerintah memiliki tanggung jawab yang berbeda. Secara umum, Menteri, Gubernur, Bupati/Walikota melakukan pembinaan dan pengawasan secara berjenjang terhadap pelaksanaan Strategi Adaptasi Sektor Kesehatan terhadap Dampak Perubahan Iklim. Adapun tanggung jawab pemerintah adalah sebagai berikut:

a. menyusun norma, standar, pedoman, dan kriteria adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
b. melaksanakan advokasi dan sosialisasi adaptasi perubahan iklim bidang kesehatan tingkat nasional;
c. melakukan kemitraan dengan pemangku kepentingan terkait adaptasi perubahan iklim;
d. menyelenggarakan peningkatan kapasitas sumber daya manusia bidang kesehatan;
e. mengembangkan teknologi tepat guna;
f. melakukan fasilitasi, bimbingan teknis, monitoring, dan evaluasi; dan
g. melaksanakan sistem kewaspadaan dini sesuai tugas pokok dan fungsi.

Pemerintah daerah provinsi bertugas:

a. menyusun peraturan daerah yang berkaitan dengan adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
b. melaksanakan advokasi untuk mendapatkan dukungan dalam rangka adaptasi dampak perubahan iklim;
c. melaksanakan sosialisasi dan mengimplementasikan peraturan perundang-undangan mengenai adaptasi perubahan iklim bidang kesehatan;
d. melaksanakan penyusunan bahan penyuluhan, sosialisasi, komunikasi, informasi, dan edukasi tentang adaptasi perubahan iklim bidang kesehatan;

e. melaksanakan peningkatan kapasitas sumber daya manusia bidang kesehatan;
f. melaksanakan promosi kesehatan tentang adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
g. melakukan fasilitasi, bimbingan teknis, monitoring, dan evaluasi;
h. melakukan analisis data kejadian penyakit dengan parameter iklim dan menentukan lokasi rentan dan menentukan strategi adaptasinya; dan
i. melaporkan hasil pelaksanaan adaptasi perubahan iklim kepada Direktur Jenderal yang bertanggung jawab di bidang Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan.

Pemerintah daerah kabupaten/kota bertugas:

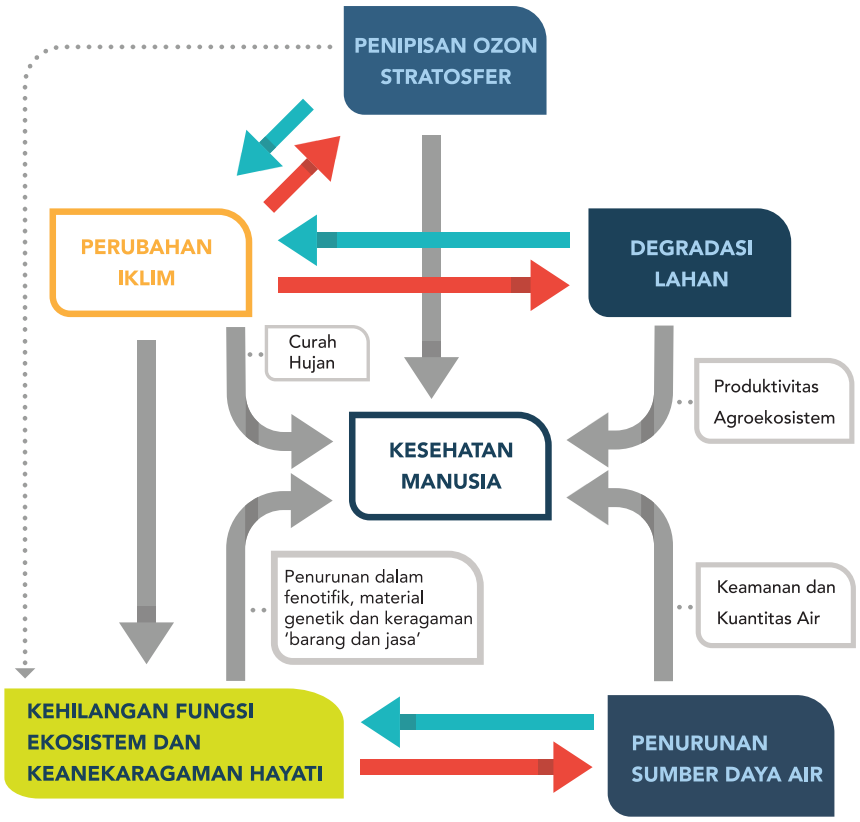
a. menyusun peraturan daerah yang berkaitan dengan adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
b. melaksanakan advokasi untuk mendapatkan dukungan dalam rangka adaptasi dampak perubahan iklim;
c. melaksanakan sosialisasi dan mengimplementasikan peraturan perundang-undangan mengenai adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
d. melaksanakan penyusunan bahan penyuluhan, sosialisasi, komunikasi, informasi, dan edukasi tentang adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
e. melaksanakan peningkatan kapasitas sumber daya manusia bidang kesehatan;
f. melaksanakan promosi kesehatan tentang adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim;
g. melakukan fasilitasi, bimbingan teknis, monitoring, dan evaluasi;
h. melakukan analisis data kejadian penyakit dengan parameter iklim dan menentukan lokasi rentan dan menentukan strategi adaptasinya;
i. melaksanakan inspeksi sanitasi dengan menambah parameter iklim;
j. melakukan pemantauan faktor risiko kesehatan akibat perubahan iklim;
k. melakukan pencatatan dan pelaporan kejadian penyakit terkait dengan perubahan iklim; dan
l. melaporkan hasil pemantauan faktor risiko kesehatan dan hasil analisis kepada Kepala Dinas Kesehatan Provinsi.

Dengan demikian, diperlukan kerjasama dan koordinasi dari masing-masing stakeholder bagi dari berbagai bidang maupun level pemerintah dalam melaksanakan strategi adaptasi perubahan iklim terhadap sektor kesehatan.

Pada saat ini struktur kelembagaan pada sektor kesehatan ini diperkuat untuk menghadapi perubahan iklim dengan dibentuknya tim teknis adaptasi dampak perubahan iklim bidang kesehatan melalui Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 423 Tahun 2017.

2.3. Tantangan Sektor Kesehatan Terkait Perubahan Iklim

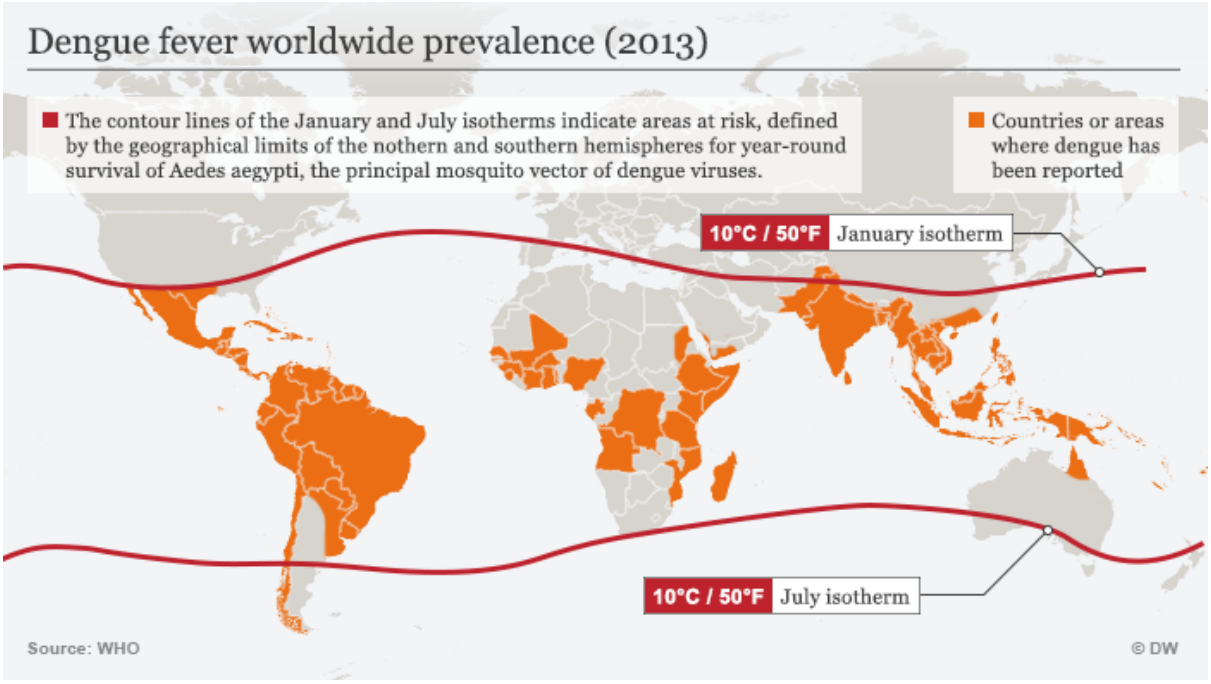
Selain permasalahan kesehatan yang ada saat ini di Indonesia, perubahan lingkungan global termasuk perubahan iklim merupakan tantangan yang dapat memperburuk masalah kesehatan di Indonesia. Perubahan lingkungan global yang mempengaruhi kesehatan manusia di antaranya yaitu perubahan iklim, penipisan lapisan ozon, degradasi lahan, berkurangnya sumber daya air, perubahan fungsi ekosistem, dan kehilangan keanekaragaman hayati (lihat Gambar 5-4).



Gambar 5-4 Keterkaitan antara berbagai perubahan lingkungan global utama yang mempengaruhi kesehatan manusia, termasuk perubahan iklim (Sumber: dimodifikasi dari Mc Michael, 2003)

Perubahan lingkungan dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan antara lain sebagai berikut: (1) penipisan lapisan ozon di stratosfer antara lain telah meningkatkan risiko terkena kanker kulit, (2) peningkatan temperatur akibat perubahan iklim yang antara lain dapat meningkatkan konsentrasi ozon permukaan yang merupakan salah satu pencemar udara utama yang dapat menyebabkan penyakit pernafasan, (3) kehilangan keanekaragaman hayati dapat menyebabkan langkanya bahan baku obat dari tumbuhan, (4) degradasi lahan dan perubahan fungsi ekosistem dapat menyebabkan perubahan penyebaran vektor penyakit, dan (5) penurunan sumber daya air menyebabkan akses yang terbatas terhadap air bersih dan sanitasi yang sehat.

Kajian ini menitikberatkan pada bahaya (*hazard*) sebagai dampak dari perubahan iklim melalui pengaruh pada vektor nyamuk *Aedes aegypti* sehingga menyebabkan penyebaran penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD). Dalam tingkat global dampak parameter iklim pada penyebaran penyakit DBD ini jelas terlihat dari peta distribusi prevalensi penyakit tersebut pada Gambar 2-3 berikut yang diambil dari artikel ilmiah Borrud (2015) di media *Deutsche Welle* Jerman. Pada peta tersebut negara-negara yang melaporkan terjadinya kasus penyakit DBD berada di sekitar wilayah tropis dan subtropis. Lebih spesifik, wilayah-wilayah tersebut dibatasi oleh dua garis iso-temperatur di sebelah utara dan sebelah selatan ekuator, yaitu garis iso-temperatur 10°C. Pada bulan Januari, di belahan bumi utara (dimana di sebelah utara garis batas tersebut mengalami musim dingin) dan garis iso-temperatur 10°C pada bulan Juli di belahan bumi selatan (dimana di sebelah selatan garis batas tersebut mengalami musim dingin).



Gambar 5-5 Sebaran global prevalensi penyakit DBD di beberapa negara yang mengikuti kisaran temperatur dan musim (Sumber: WHO dalam Borrud, 2015)

Louis, dkk. (2014) melakukan kaji ulang terhadap 11636 publikasi ilmiah dan 928 laporan kajian dari beberapa institusi dan basis data internasional dan menyusun peta global konsensus kejadian penyakit DBD (Gambar 5-6). Informasi persebaran kejadian penyakit DBD pada peta ini lebih terperinci daripada peta global di atas dengan memasukkan tingkat konsensus adanya kejadian penyakit DBD di setiap negara. Indonesia termasuk negara di Asia Tenggara yang diyakini keberadaan penyakit DBD cukup tinggi, namun hal ini berdasarkan deduksi dari publikasi ilmiah dan laporan kajian di negara-negara tetangga seperti Malaysia, Thailand, Taiwan, dan Australia.

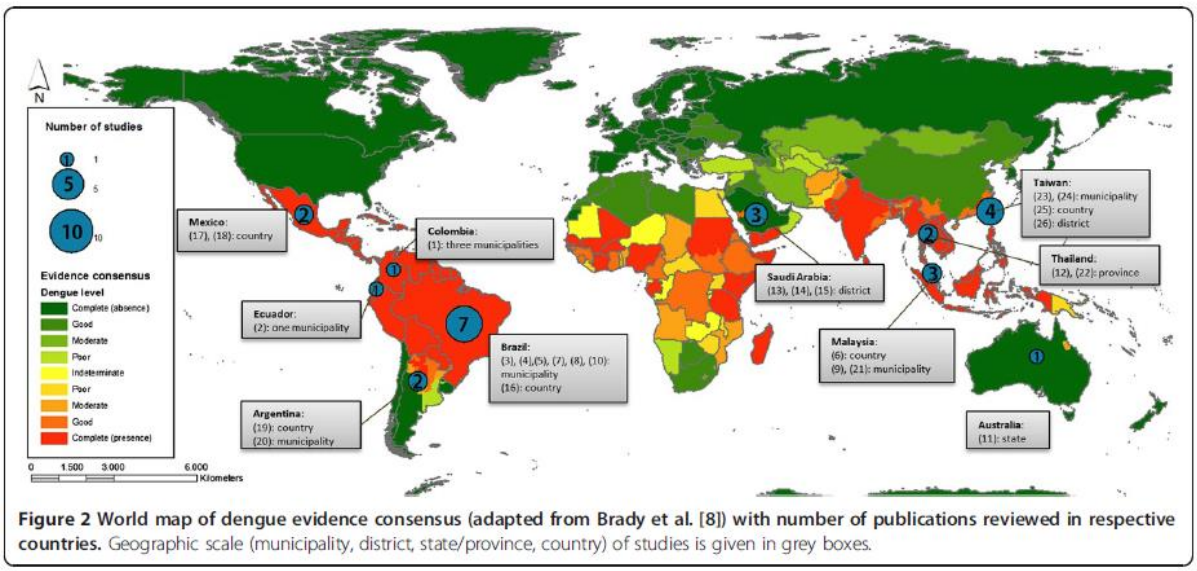


Figure 2 World map of dengue evidence consensus (adapted from Brady et al. [8]) with number of publications reviewed in respective countries. Geographic scale (municipality, district, state/province, country) of studies is given in grey boxes.

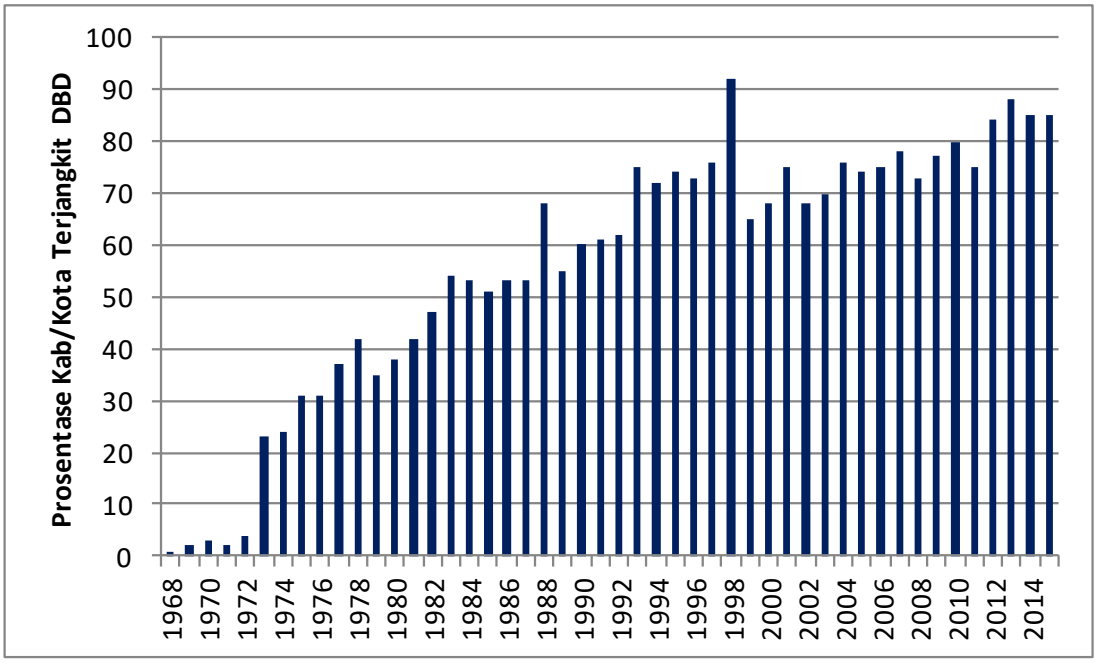
Gambar 5-6 Peta global konsensus kejadian penyakit DBD berdasarkan review publikasi ilmiah dan laporan kajian pada level internasional (Sumber: Louis, dkk., 2014).

Pada sejarah penyebaran penyakit DBD yang ditulis oleh Arsin (2013), infeksi virus dengue telah ada di Indonesia sejak tahun 1779 di Batavia, yang dilaporkan oleh dr. David Bylon berkebangsaan

Belanda. Saat itu, infeksi virus dengue menimbulkan penyakit yang dikenal sebagai penyakit demam lima hari (*vijfdaagse koorts*) kadang-kadang disebut juga sebagai demam sendi (*knokkel koorts*). Secara ilmiah catatan pertama adanya nyamuk *Aedes aegypti* ditemukan peneliti Belanda tahun 1936.

Setelah kemerdekaan, kejadian penyakit DBD dilaporkan pertama kali pada tahun 1968 oleh dr. Linda Partana di Surabaya. Pada tahun itu secara keseluruhan di Surabaya dan Jakarta dilaporkan sebanyak 58 kasus, dengan jumlah kematian yang sangat tinggi 24 orang (*case fatality rate* 41,3%). Epidemi penyakit DBD di luar Jawa pertama kali dilaporkan di Sumatera Barat dan Lampung tahun 1972. Sejak itu, penyakit ini semakin menyebar luas ke berbagai wilayah di Indonesia. Di luar Jawa, kasus DBD mulai dilaporkan pada tahun 1973 yaitu di Sumatera Barat dan Lampung, kemudian tahun 1974 di Kalimantan Selatan dan NTB, dan tahun 1994 penyakit DBD menyebar ke seluruh provinsi di Indonesia. Pada tahun 1996 provinsi-provinsi yang mengalami angka kejadian DBD cukup tinggi (>10/100.000 penduduk) ialah Sumatera Barat, Riau, Jambi, dan Sumatera Selatan di Pulau Sumatera, lalu DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Di Yogyakarta, dan Jawa Timur di Pulau Jawa, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan dan NTT. Gambar 5-7 menunjukkan grafik perkembangan penyebaran penyakit DBD di Kabupaten dan Kota di Indonesia hingga tahun 2015.

Pada saat ini penyakit DBD masih merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat yang utama di Indonesia. Jumlah kejadian dan daerah penyebaran penyakit DBD semakin meningkat seiring dengan meningkatnya mobilitas dan kepadatan serta distribusi penduduk terutama di wilayah perkotaan, serta perubahan iklim. Secara sporadis selalu terjadi kejadian luar biasa (KLB) setiap tahun. Jika dibandingkan dengan negara lain, kasus DBD di Indonesia lebih sering terjadi. Tercatat telah empat kali KLB yakni tahun 1988, 1998, 2004 dan 2006. World Health Organization (WHO) menetapkan Indonesia sebagai salah satu negara hiperendemik pada tahun 2009, dimana kejadian penyakit DBD telah dialami oleh 32 dari 33 provinsi atau 382 dari 497 kabupaten dan kota (77%) di Indonesia; setiap hari dilaporkan rata-rata sebanyak 380 kasus DBD dan 1-2 orang meninggal.



Gambar 5-7 Grafik perkembangan penyebaran penyakit DBD di Kabupaten dan Kota di Indonesia tahun 1968-2015 (diolah dari Arsin, 2013 dan Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan, 2016)

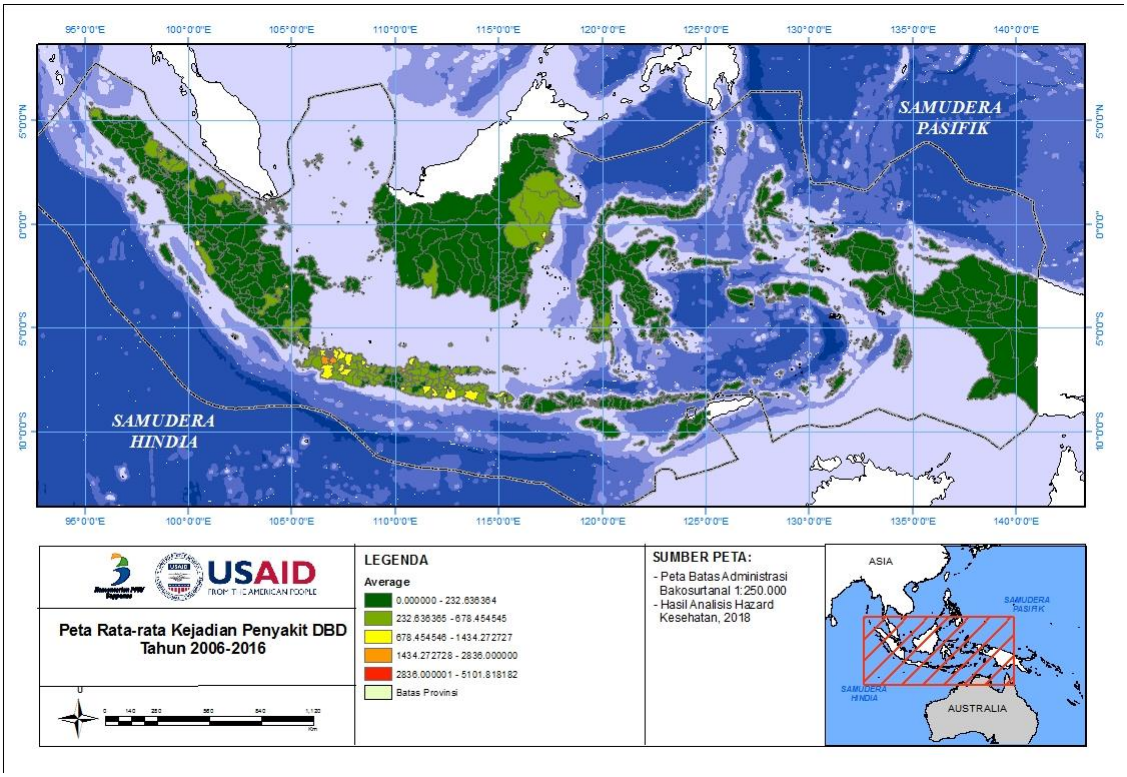
Dengan data-data di atas, program pengendalian epidemi DBD menjadi prioritas utama WHO dan Kementerian Kesehatan RI. Sejak tahun 1972, pencegahan epidemi DBD telah difokuskan pada pemberantasan nyamuk vektor virus dengue. Namun demikian, upaya penanggulangan epidemi DBD masih jauh dari memuaskan. Berbagai kendala yang dihadapi seperti keterbatasan anggaran, keterbatasan infrastruktur, dan kurangnya data dan informasi, antara lain yang berkaitan dengan faktor iklim sebagai dampak perubahan iklim global.

Kajian ini merupakan suatu bentuk respon terhadap kendala tersebut, dimana akan dikaji dampak perubahan iklim pada peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia. Dalam konteks perkembangan kajian terkait perubahan iklim tersebut, kajian ini berusaha meningkatkan pemahaman mengenai bahaya (*hazard*) peningkatan kejadian penyakit DBD yang dilakukan melalui pengembangan metodologi terdahulu baik pada level nasional hingga kabupaten dan kota. Kajian terdahulu pada level nasional adalah *Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap* (ICCSR) Sektor Kesehatan yang dilakukan oleh Bappenas pada tahun 2010 (Sofyan dkk, 2010). Kemudian pada tahun 2012 Kementerian Lingkungan Hidup melakukan Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim (KRAPI) pada Sektor Kesehatan pada tiga level yang berbeda yaitu Provinsi Sumatera Selatan, Kota Tarakan, dan Malang Raya (Kota Malang, Kota Batu, Kabupaten Malang) (Agoes & Sofyan, 2012). Selain itu Pusat Perubahan Iklim ITB berkerjasama dengan Mercy Corps melakukan Kajian Kerentanan Iklim Sektor Kesehatan (Health Climate Vulnerability Assessment – HCVA) pada tahun 2014-2015 pada level kota yaitu di Semarang.

Tantangan yang muncul dari kajian-kajian terdahulu tersebut adalah perlunya metodologi kuantitatif yang lebih merepresentasikan rantai dampak dari faktor iklim (terutama suhu dan curah hujan), vektor nyamuk yang terkait dengan siklus gonotropik, hingga kejadian (kasus) penyakit DBD pada manusia. Metode kuantitatif yang digunakan pada kajian terdahulu terbagi dalam dua kelompok yaitu metode berbasis deterministik (model kompartemen) dan metode statistik-regresi-korelasional. Model kompartemen dapat menghasilkan keluaran antara lain berupa densitas populasi nyamuk, namun hal ini justru menyebabkan kesulitan dalam proses verifikasi model. Model statistik perlu diterapkan dengan pendekatan non-linier untuk menghasilkan tingkat regresi-korelasi yang akurat antara faktor iklim dan kejadian penyakit (kasus Kota Semarang), namun model tersebut belum bisa mendapatkan hubungannya dengan karakteristik gonotropik vektor nyamuk sehingga belum bisa digunakan untuk proyeksi bahaya misalkan hingga tahun 2045.

Kajian ini memaparkan pendekatan dan metodologi yang diharapkan lebih sesuai untuk mencapai tujuan proyeksi bahaya akibat perubahan iklim melalui pemetaan kondisi saat ini (historis). Gambaran penyebaran kasus penyakit DBD ini diperoleh dari data kejadian penyakit DBD pada setiap bulan periode tahun 2006 sampai 2016 di 514 kabupaten dan kota di Indonesia yang bersumber dari Kementerian Kesehatan RI. Gambaran awal diperoleh dari pemetaan jumlah kejadian penyakit DBD di Indonesia pada Gambar 5-8.

Dari peta tersebut diketahui bahwa kebanyakan kabupaten dan kota mengalami kejadian penyakit DBD yang rendah di bawah 200 kasus pada periode tersebut. Kejadian penyakit DBD yang cukup tinggi (di atas 678 kejadian per bulan) dialami oleh kabupaten dan kota di Pulau Jawa dan Bali serta beberapa wilayah di Pulau Sumatera (sebelah utara dan selatan) dan Kalimantan (sebelah barat dan timur). Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain populasi dan aktivitas atau migrasi penduduk, perkembangan perkotaan, serta kondisi geografis dan iklim masing-masing wilayah.



Gambar 5-8 Peta Rata-rata Kejadian Penyakit DBD Tahun 2006-2016 di seluruh Kabupaten/Kota di Indonesia

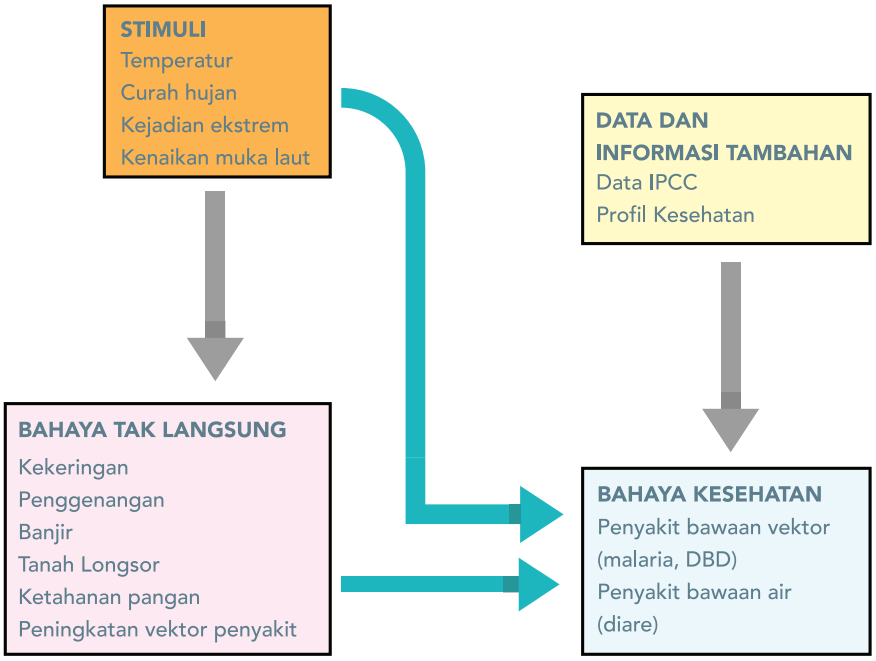
3. METODE DAN KETERSEDIAAN DATA

3.1. Identifikasi Komponen Bahaya Akibat Perubahan Iklim

Definisi bahaya (*hazard*) dapat dilihat dari dua referensi yaitu AR-5 IPCC (2014) dan UNISDR (2004):

- Potensi kejadian, fenomena fisik yang merusak, atau aktivitas manusia yang dapat mengakibatkan kehilangan jiwa atau korban terluka, kerusakan harta benda, gangguan terhadap sosial dan ekonomi masyarakat, serta kerusakan lingkungan (*A potentially damaging physical event, phenomenon or human activity that may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation*). (UNISDR, 2004)
- Potensi kejadian atau kecenderungan kejadian fisik atau dampak fisik yang diakibatkan oleh alam dan/atau manusia yang dapat mengakibatkan kehilangan jiwa, korban luka, atau dampak kesehatan lainnya, serta kerusakan dan kerugian terhadap harta benda, infrastruktur, mata pencaharian, ekosistem, dan sumberdaya lingkungan (*the potential occurrence of a natural or human-induced physical event or trend or physical impact that may cause loss of life, injury, or other health impacts, as well as damage and loss to property, infrastructure, livelihoods, service provision, ecosystems, and environmental resources*). (AR-5, IPCC, 2014).

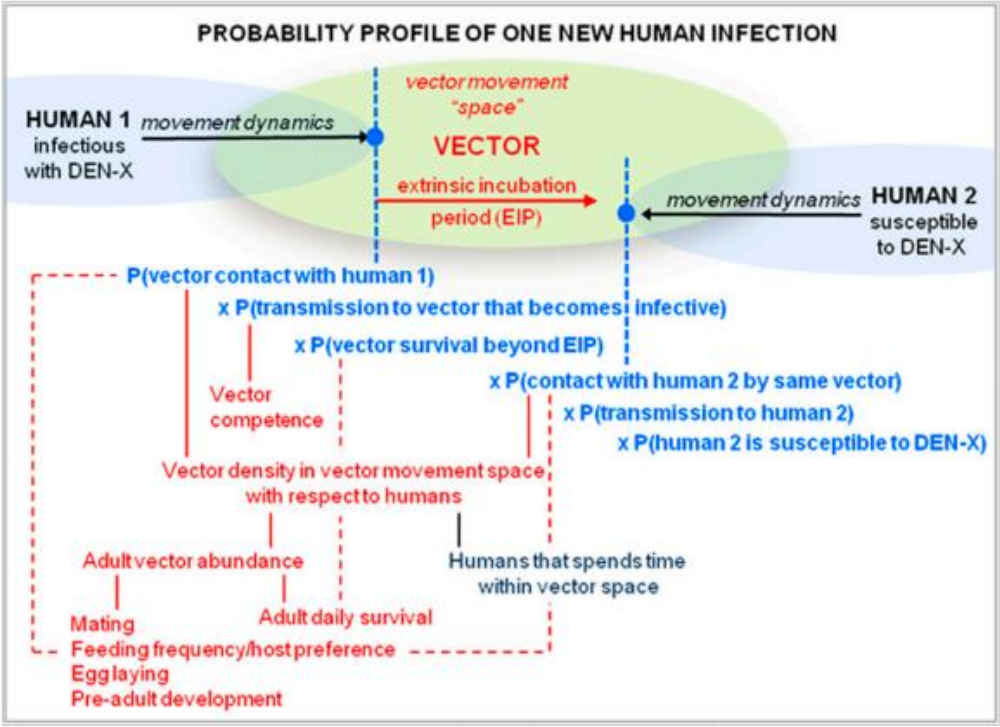
Bahaya perubahan iklim di bidang kesehatan dapat dipengaruhi oleh beberapa stimuli iklim antara lain kenaikan temperatur, perubahan curah hujan dan kelembaban udara, kejadian ekstrem serta kenaikan permukaan laut. Hubungan antara stimuli perubahan iklim dengan bahaya pada kesehatan dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah.



Gambar 5-9 Hubungan stimulus perubahan iklim dengan bahaya pada kesehatan (modifikasi dari KRAPI, KLH, 2012)

Perubahan spasial dan temporal suhu, curah hujan dan kelembaban yang diperkirakan muncul pada perubahan iklim akan mempengaruhi biologi dan ekologi dari vektor serangga maupun manusia yang ditulari. Resikonya meningkat karena, walaupun antropoda dapat mengatur suhu tubuhnya sendiri dengan mengubah tingkah-lakunya, antropoda tidak melakukannya secara fisiofologis sehingga sangat bergantung pada iklim untuk keberlangsungan hidup dan perkembangannya (Lindsay dan Birley, 1996; dalam Githeko dkk., 2000). Seperti terlihat pada Gambar 5-10 spesies nyamuk

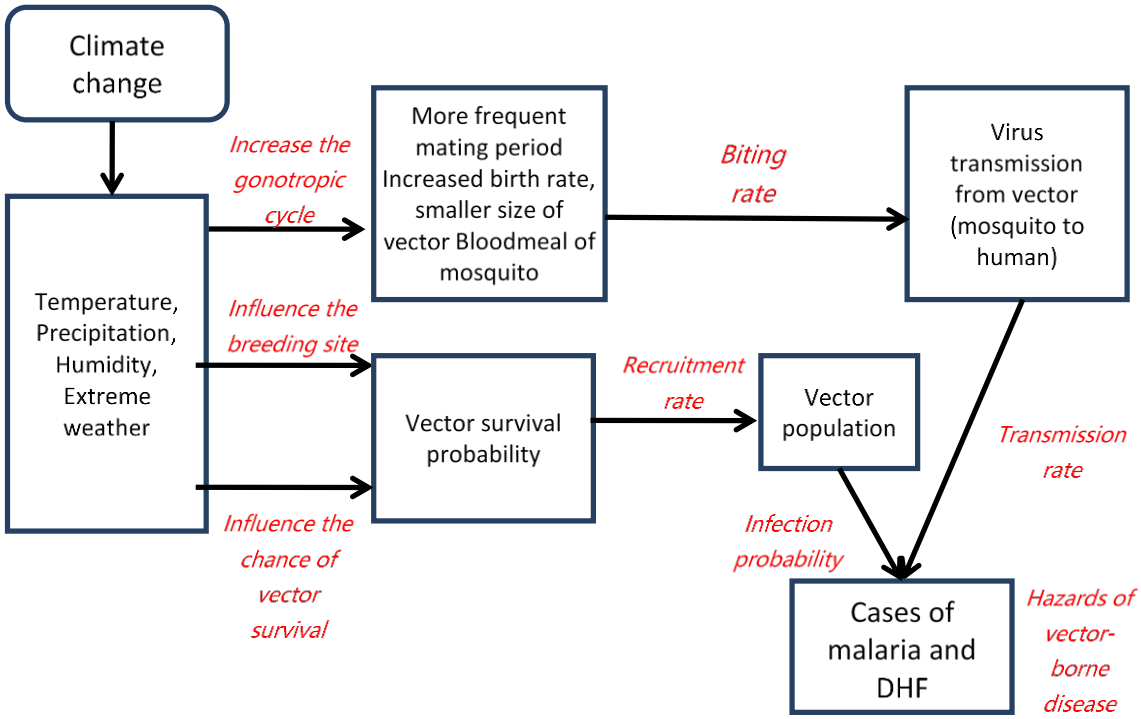
bertanggung jawab atas menularnya penyakit-penyakit tularan serangga serta memiliki kepekaan terhadap perubahan suhu. Bila suhu naik, larva akan memerlukan waktu yang lebih pendek untuk menjadi dewasa (Rueda dkk., 1990, dalam Githeko dkk., 2000) sehingga ada kapasitas yang lebih besar untuk bertelur. Saat iklim yang terjadi lebih hangat, nyamuk betina dewasa menghisap darah lebih cepat dan lebih sering (Gilies, 1953, dalam Githeko dkk., 2000) sehingga meningkatkan intensitas penularan.



Gambar 5-10 Transmisi virus DBD melalui pergerakan vektor pada medium udara yang dipengaruhi oleh kondisi iklim (lingkaran oval di bagian tengah) Campbell, dkk. (2013)

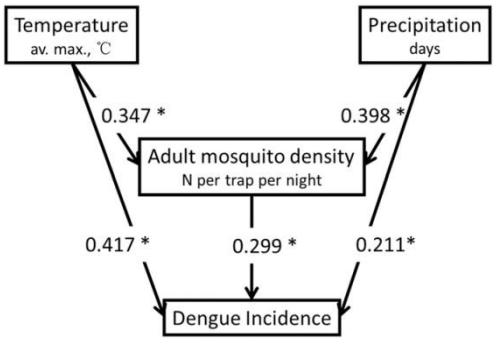
Sama halnya dengan parasit, virus malaria dan DBD dalam menyelesaikan inkubasi ekstrinsiknya di dalam nyamuk betina dalam waktu yang lebih singkat apabila suhu lebih tinggi (Turell, 1989, dalam Githeko dkk, 2000), dengan demikian dapat meningkatkan proporsi dari penyebar penyakit infektif. Pergantian pola presipitasi dapat juga memberikan dampak jangka pendek dan jangka panjang pada habitat vektor. Peningkatan presipitasi memiliki potensi untuk meningkatkan jumlah dan kualitas lokasi pembiakan jenis penyebar penyakit seperti nyamuk, kutu, siput, dan kerapatan tumbuhan juga memberikan pengaruh pada tempat peristirahatannya. Penyakit di tandon air pada hewan pengerat juga dapat bertambah jika tersedia tempat sembunyi dan makanan yang juga akan meningkatkan populasinya, sehingga pada akhirnya akan berujung pada peningkatan jumlah penyakit (Githeko dkk., 2000).

Dalam kajian ini, dengan pertimbangan urgensi dan ketersediaan data yang representatif pada skala nasional, maka bahaya di bidang kesehatan yang terkait dengan perubahan iklim dapat diwakili dengan kasus atau kejadian penyakit DBD. Gambar 5-11 menjelaskan rantai dampak (*impact chain*) yang menggambarkan mekanisme kejadian penyakit tersebut dan hubungannya dengan variabel iklim (suhu, presipitasi, dan kelembaban), populasi penyebaran penyakit (siklus gonotropis, tempat pembiakan, keberhasilan hidup penyebar penyakit, banyaknya gigitan) dan tingkat perkembangan parasit (kemungkinan terinfeksi dan tingkat transmisi penyakit).



Gambar 5-11 Rantai dampak perubahan iklim terhadap penyakit tularan nyamuk (Githeko et al., 2000).

Dari rantai dampak di atas, bahaya perubahan iklim pada sektor kesehatan seharusnya lebih sesuai direpresentasikan oleh peningkatan populasi nyamuk sebagai vektor pembawa virus penyakit (*vector borne diseases*). Keberadaan vektor tersebut dalam lingkungan atmosfer sangat dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor/parameter iklim seperti curah hujan, temperatur dan kelembaban udara. Namun, ketersediaan data populasi nyamuk merupakan kendala yang signifikan dalam kajian bahaya pada sektor kesehatan, terutama pada tingkat provinsi dan nasional. Kajian bahaya perubahan iklim pada sektor kesehatan ini menggunakan pendekatan (proxy) yaitu peningkatan kejadian (kasus) penyakit DBD pada manusia. Studi Xu, dkk. (2017) di Guangzhou periode 2005-2015 yang menggunakan metode *Structural Equation Model* (SEM) menunjukkan bahwa kejadian penyakit DBD memiliki korelasi secara langsung maupun tidak langsung yang signifikan terhadap parameter iklim (Gambar 5-12).



Gambar 5-12 Arah dan koefisien korelasi terstandarisasi antara faktor iklim (temperatur dan curah hujan) dengan densitas populasi nyamuk serta kejadian penyakit DBD; dimana tanda asterik (*) menunjukkan hubungan statistik yang signifikan (Sumber: Xu, dkk., 2017).

Di samping itu data kejadian penyakit DBD pada tingkat nasional tersedia di Kementerian Kesehatan dan cukup representatif digunakan untuk kajian ini. Data tersebut berbentuk tabulasi dari 514

kabupaten dan kota seluruh Indonesia dengan interval bulanan, minimal dengan durasi lima tahun (2006-2016).

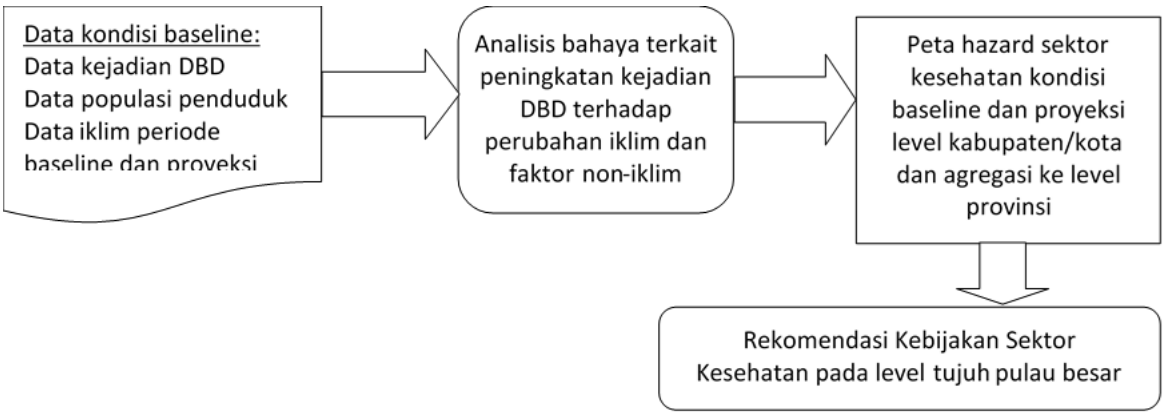
3.2. Pendekatan dan Metodologi

Secara umum kajian potensi bahaya (*potential hazard assessment*) bidang kesehatan dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu: (1) analisis berbasis keilmuan (*scientific analysis*) dan (2) proses partisipasi dari para pemangku kepentingan pada sektor kesehatan. Analisis berbasis keilmuan dilakukan lebih awal guna melihat gambaran obyektif distribusi bahaya pada tingkat makro (nasional) dimana disesuaikan dengan ketersediaan data. Pendekatan yang kedua merupakan proses *bottom-up* yang digunakan untuk menjaring data dan informasi yang diperlukan untuk menambah akurasi pendekatan saintifik, sekaligus untuk memverifikasi hasil-hasil analisisnya.

Pendekatan ilmiah yang dilakukan pada kajian bahaya sektor kesehatan terdiri dari dua tahapan yaitu:

a. Penyusunan model empirik peningkatan kejadian penyakit DBD dan keterkaitannya dengan faktor-faktor iklim dan non-iklim yang mengandung mekanisme perkembangbiakan nyamuk sebagai vektor penyakit. Tahapan ini dilakukan dengan cara:
    - Melakukan analisis empirik/statistik terhadap data-data kejadian penyakit DBD
    - Melakukan analisis empirik/statistik untuk memahami konsistensi keterkaitannya dengan faktor-faktor iklim seperti temperatur dan curah hujan serta faktor non-iklim seperti jumlah (populasi) penduduk
    - Menyusun model tingkat potensi bahaya perubahan iklim pada sektor kesehatan
b. Analisis dan pemetaan spasial potensi bahaya perubahan iklim pada sektor kesehatan pada tiga level waktu, yaitu historis (saat ini) serta proyeksi tahun 2020-2034 dan proyeksi tahun 2030-2045. Pemetaan dilakukan pada skala nasional untuk menyusun rekomendasi kebijakan adaptasi terhadap bahaya perubahan iklim di bidang kesehatan pada tujuh wilayah pulau besar yaitu: 1) Pulau Sumatera dan sekitarnya, 2) Pulau Jawa, Pulau Madura, Pulau Bali dan sekitarnya, 3) Pulau Kalimantan dan sekitarnya, 4) Pulau Sulawesi dan sekitarnya, 5) Kepulauan Nusa Tenggara, 6) Kepulauan Maluku, dan 7) Pulau Papua (wilayah yang termasuk Indonesia) dan sekitarnya. Dengan demikian kajian mengambil unit pemetaan pada level provinsi.
   Namun, mengingat fenomena penyebaran penyakit DBD melalui perkembangbiakan dan transmisi vektornya bersifat lokal (Sedda, et.al., 2018) maka analisis data pada kajian bahaya ini diterapkan pada level kabupaten/kota.

Metodologi dan pendekatan tersebut kemudian diimplementasikan dalam suatu kerangka kajian berikut (Gambar 5-13). Analisis bahaya terkait peningkatan kejadian penyakit DBD dilakukan secara komprehensif baik terhadap perubahan iklim dan faktor non-iklim. Dalam konteks perubahan iklim analisis tersebut dilakukan pada dua periode untuk menunjukkan kondisi pada saat ini (periode historis) dan kondisi masa mendatang (periode proyeksi). Hasil yang diperoleh berupa peta-peta bahaya baik pada kondisi historis maupun kondisi proyeksi yang diinginkan. Dari data yang digunakan pada level kabupaten/kota kemudian diagregasi ke level provinsi, sehingga hasil kajian dapat digunakan sebagai landasan kebijakan yang direkomendasikan untuk sektor kesehatan pada level tujuh pulau besar di atas.



Gambar 5-13 Kerangka kajian bahaya (hazard) sektor kesehatan – peningkatan kejadian penyakit DBD

Data dan informasi yang diperlukan dalam analisis saintifik diperoleh melalui beberapa cara:

- Data dan informasi yang bersifat basis saintifik ilmiah (science basis) perubahan iklim;
- Data dan informasi yang bersifat nasional diperoleh dari beberapa instansi terkait seperti Kementerian Kesehatan, BMKG, dan BPS. Data dan informasi antara lain diperoleh melalui Forum Group Discussion (FGD) yang diselenggarakan oleh Bappenas di Bandung, Jakarta dan Surabaya dalam kurun waktu 2017-2018;
- Data dan informasi yang bersifat internasional yaitu berupa dokumen laporan kajian dan riset dari lembaga seperti IPCC, UNFCCC, WHO, dan sebagainya, serta publikasi ilmiah lainnya.

3.3. Metoda Kajian Bahaya Peningkatan Kejadian Penyakit DBD

Kajian bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD secara komprehensif dilakukan dalam dua tahap:

a. Kajian empirik bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD, dimana belum memisahkan faktor perubahan iklim dan non-iklim.
   Kajian dilakukan untuk melihat: (1) persebaran peningkatan ekstrem (wabah) kejadian penyakit DBD (*extreme increase of DHF incidence*) baik menurut regulasi yang berlaku maupun menurut statistik (lihat butir 3.3.1), serta (2) persebaran yang dipengaruhi oleh populasi penduduk (disebut "angka kejadian penyakit" atau *incidence rate*, lihat butir 3.3.2).
   Agregasi ketiga faktor tersebut menghasilkan peta empirik bahaya peningkatan kejadian penyakit, dimana akan menjadi landasan (underlay) kajian berikutnya terhadap faktor perubahan iklim.
b. Kajian bahaya perubahan iklim pada peningkatan kejadian penyakit DBD, dimana parameter iklim yang ditinjau adalah temperatur dan curah hujan.
   Persebaran tingkat bahaya perubahan iklim ini akan ditumpangtindihkan (*overlay*) dengan peta empirik di atas.

3.3.1. Kajian Peningkatan Ekstrem Kejadian Penyakit DBD

Kajian empirik ini ditujukan untuk mendeskripsikan karakteristik peningkatan ekstrem kejadian penyakit DBD pada setiap lokasi kajian (kabupaten/kota) sesuai dengan data yang tersedia yang berkaitan dengan wabah atau kejadian luar biasa.

Secara formal kejadian luar biasa penyakit DBD mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010, dimana Pasal 1 menyebutkan bahwa wabah penyakit menular adalah kejadian berjangkitnya penyakit menular dalam masyarakat yang jumlah penderitanya meningkat

secara nyata melebihi keadaan yang lazim pada waktu dan daerah tertentu serta dapat menimbulkan malapetaka. Pada Pasal 1 juga disebutkan definisi Kejadian Luar Biasa (KLB) adalah timbulnya atau meningkatnya kejadian kesakitan dan/atau kematian yang bermakna secara epidemologis pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu, dan merupakan keadaan yang dapat menjurus pada terjadinya wabah. Pada Pasal 4, DBD merupakan satu di antara 17 jenis penyakit tertentu yang dapat menimbulkan wabah dan wajib dilaporkan (WHO: *List of reportable diseases*).

Kemudian pada Pasal 6, suatu daerah dapat ditetapkan dalam keadaan KLB apabila memenuhi salah satu kriteria antara lain pada ayat-ayat berikut:

a. Peningkatan kejadian kesakitan terus-menerus selama 3 (tiga) kurun waktu dalam jam, hari atau minggu berturut-turut menurut jenis penyakitnya
b. Peningkatan kejadian kesakitan dua kali atau lebih dibandingkan dengan periode sebelumnya dalam kurun waktu jam, hari, atau minggu menurut jenis penyakitnya
c. Rata-rata jumlah kejadian kesakitan per bulan selama 1 (satu) tahun menunjukkan kenaikan dua kali atau lebih dibandingkan dengan rata-rata jumlah kejadian kesakitan per bulan pada tahun sebelumnya

Berdasarkan regulasi tersebut, kajian ini mengasumsikan bahwa kejadian luar biasa atau wabah dapat direpresentasikan dengan indikator “peningkatan kejadian penyakit dua kali atau lebih dalam dua periode (bulan) berturut-turut”.

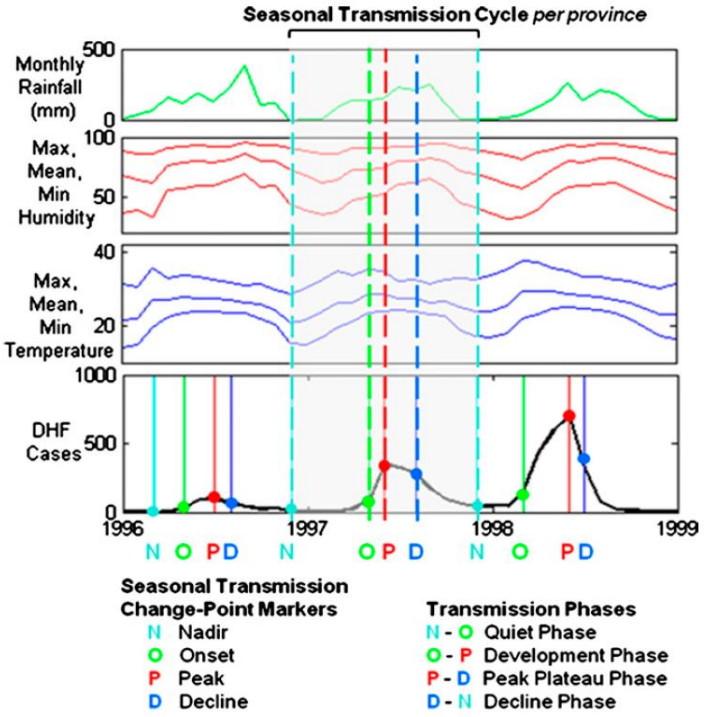
Di samping itu peningkatan ekstrem kejadian penyakit DBD dapat dilihat dari metoda statistik, yaitu dengan indikator “jumlah kejadian penyakit pada bulan-bulan yang berada di atas persentil statistik tertentu”. Dalam kajian ini diasumsikan ambang batas ekstrem adalah persentil 75%.

3.3.1. Kajian Pengaruh Populasi Penduduk

Populasi penduduk dapat dianggap sebagai suatu faktor non-iklim yang dapat berpengaruh pada proses penularan atau penyebaran penyakit DBD yang ditandai dengan peningkatan kejadian penyakit pada suatu wilayah. Sektor kesehatan mendefinisikan pengaruh populasi tersebut sebagai indikator Angka Kejadian Penyakit (*incidence rate*) yang terstandarisasi per 10.000 penduduk.

3.3.2. Kajian Bahaya Terhadap Perubahan Iklim

Metodologi pada kajian ini merujuk pada kajian epidemologi mengenai hubungan antara dinamika cuaca/iklim dan dinamika penyebaran (transmisi) virus DBD yang diaplikasikan oleh Campbell, dkk. (2013) di Thailand. Alat diagnostik epidemologi itu menentukan nilai-nilai parameter iklim (curah hujan, temperatur, kelembaban udara) pada empat titik perubahan musiman pada dinamika penyebaran penyakit DBD berikut (Gambar 5-14).



Gambar 5-14 Empat titik perubahan musiman pada dinamika kejadian penyakit DBD yang berkaitan dengan dinamika parameter iklim/cuaca (Sumber: Campbell,dkk., 2013)

Empat titik perubahan musiman pada kejadian penyakit DBD yang perlu diamati dalam kajian ini adalah:

- Nadir (N) : Titik terendah banyak kejadian di antara dua titik puncak berurutan.
- Onset (O) : Titik pertama terjadinya kenaikan banyak kejadian yang signifikan setelah Nadir.
- Peak (P) : Titik puncak banyak kejadian di setiap tahun.
- Decline (D) : Titik pertama terjadinya penurunan banyak kejadian yang signifikan setelah Peak.

Secara kronologis siklus perubahan musiman tersebut terdiri dari empat fase fungsional yaitu: (1) Fase Tenang (N-O) yaitu masa dimana jumlah kejadian penyakit DBD minimal, (2) Fase Pembentukan (O-P) yang memiliki karakter peningkatan jumlah kejadian penyakit DBD terkait dengan laju reproduktif nyamuk yang efektif, (3) Fase Puncak-Dataran Tinggi (P-D) yang memiliki karakter jumlah kejadian penyakit DBD mendekati tingkat maksimum musiman, (4) Fase Menurun (D-N) yang memiliki karakter menurunnya jumlah kejadian penyakit DBD.

Transisi dari tiga titik perubahan musiman mulai dari Fase Pembentukan (O-P) dan Fase Puncak-Dataran Tinggi (P-D) menggambarkan terjadinya percepatan pada perkembangbiakan dan transmisi (siklus gonotropik) vektor nyamuk *Aedes aegypti*, sehingga memungkinkan timbulnya wabah atau kejadian luar biasa penyakit DBD.

Dalam kajian ini diasumsikan kedua fase perubahan musiman tersebut dapat direpresentasikan sebagai bulan-bulan dimana terjadi jumlah kasus penyakit DBD yang sangat tinggi, melebihi ambang batas secara statistik persentil 75%. Pada dua fase perubahan tersebut kondisi temperatur dan curah hujan yang terjadi pada suatu kisaran nilai maksimum-minimum dianggap dapat mempercepat siklus gonotropik nyamuk Aedes Agypti, sehingga dapat menimbulkan bahaya peningkatan penyakit DBD.

Dalam implementasinya, kisaran temperatur dan curah hujan yang bersesuaian dengan kejadian penyakit DBD tersebut meliputi dua jenis yaitu:

1. Kisaran potensial kejadian, yaitu kisaran nilai temperatur dan curah hujan dimana wabah atau kejadian luar biasa penyakit DBD berpotensi terjadi. Secara statistik, potensi ini terjadi pada saat nilai kejadian penyakit DBD lebih dari ambang persentil 75% di atas.
   Rasio kisaran potensi ditentukan dari jumlah pasangan data temperatur dan curah hujan pada kisaran potensi tersebut terhadap jumlah pasangan data secara keseluruhan pada kurun waktu yang dianalisis
2. Kisaran kejadian, yaitu kisaran nilai temperatur dan curah hujan dimana wabah atau kejadian luar biasa penyakit DBD sudah terjadi. Secara statistik, kejadian ini terjadi pada saat nilai kejadian penyakit DBD lebih dari ambang persentil 75% serta nilai temperatur dan curah hujan berada di atas persentil 10% dan di bawah persentil 90%.
   Rasio kisaran kejadian ditentukan dari jumlah pasangan data temperatur dan curah hujan pada kisaran kejadian tersebut terhadap jumlah pasangan data pada kisaran potensinya

Kedua rasio tersebut dapat ditentukan tingkatannya menjadi lima level sesuai dengan distribusi datanya.

Tingkat rasio kejadian di atas diasumsikan sebagai *Tingkat Bahaya pada Periode Historis*. Sedangkan *Tingkat Bahaya pada Periode Proyeksi* diasumsikan dapat didekati dengan atau diindikasi dari perubahan tingkat bahaya periode historis sebesar perubahan (peningkatan/pengurangan) tingkat rasio kisaran potensi pada periode proyeksi terhadap tingkat rasio kisaran potensi pada periode historis. Pendekatan ini digunakan untuk penentuan tingkat bahaya indikatif pada periode proyeksi, mengingat adanya potensi terdapat kendala dalam penyediaan data kejadian penyakit DBD pada periode proyeksi yang memiliki kesalahan yang relatif tinggi (kurang akurat) jika dilakukan prediksi atau proyeksi (lihat penjelasan pada Sub Bab di bawah ini).

Namun demikian, pada penentuan rasio kisaran potensi kejadian pada periode proyeksi diasumsikan bahwa nyamuk *Aedes aegypti* dapat beradaptasi dengan kenaikan temperatur secara perlahan (*slow onset*) akibat fenomena pemanasan global, sehingga batas atas temperatur pada kisaran potensi juga meningkat seiring (linier) dengan kenaikan temperatur rata-rata tahunan. Pada kasus terjadinya indikasi pengurangan tingkat rasio potensi kejadian pada periode proyeksi jika dibandingkan pada periode historis, salah satu kemungkinan faktor penyebabnya adalah kurang cepatnya adaptasi nyamuk tersebut terhadap laju kenaikan temperatur setempat. Faktor lain adalah makin sedikitnya kejadian dimana pasangan data temperatur dan curah hujan yang bersesuaian dengan kisaran potensinya.

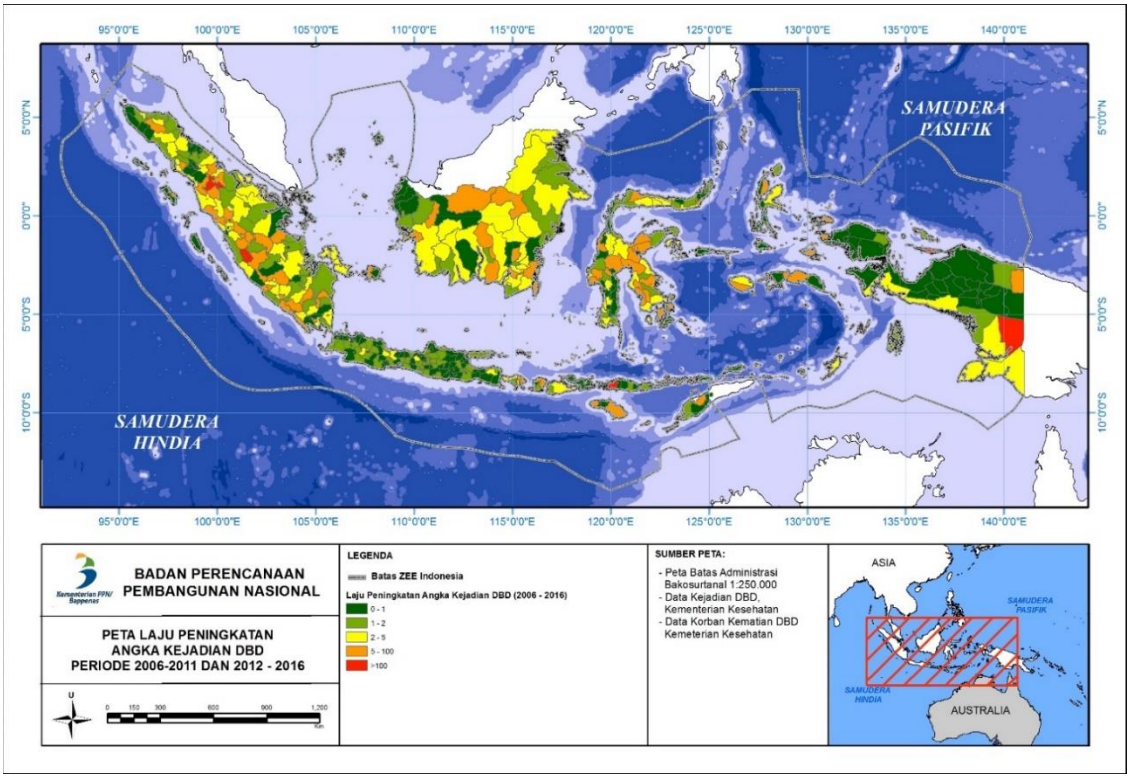
4. ANALISIS BAHAYA SEKTOR KESEHATAN

4.1. Peningkatan Ekstrem Kejadian Penyakit DBD pada Periode Historis

Pada Sub Bab 2.2 di atas telah dibahas bahwa terjadi peningkatan kasus DBD di seluruh wilayah Indonesia sehingga menjadi indikasi bahaya yang harus menjadi perhatian pemerintah. Bagian ini menjelaskan lebih rinci mengenai kejadian penyakit DBD khususnya yang tergolong ekstrem. Periode 2006-2016 diasumsikan sebagai periode historis yang menggambarkan kondisi umum kejadian penyakit DBD di Indonesia pada saat ini.

Sesuai ketersediaan data, kondisi historis dapat dilihat melalui tiga representasi berikut yang ditujukan untuk menentukan indikasi peningkatan ekstrem kejadian penyakit DBD. Ketiga representasi tersebut adalah (1) laju peningkatan kejadian DBD di antara periode 2006-2011 dan 2012-2016, (2) peningkatan kejadian penyakit lebih dari dua kali lipat dalam dua bulan berturut-turut periode 2006-2016, dan (3) jumlah kejadian penyakit DBD yang melebihi persentil statistik 75%.

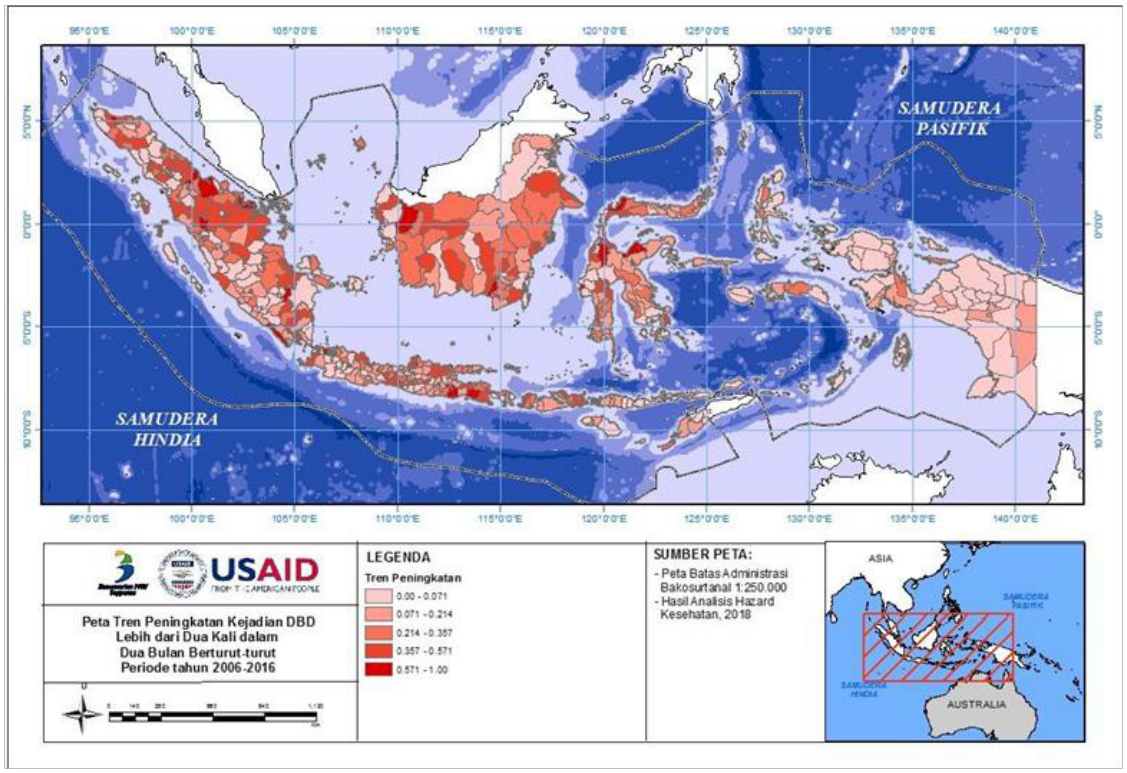
Kecenderungan laju peningkatan kejadian DBD di seluruh wilayah di Indonesia di antara dua periode 2006-2011 dan 2012-2016 dapat dilihat pada Gambar 5-15. Laju peningkatan ini dapat dianggap sebagai potensi peningkatan bahaya penyebaran penyakit DBD dari tahun ke tahun pada kondisi historis. Laju peningkatan kejadian yang cenderung menengah dan tinggi (yaitu peningkatan lebih dari 5 kejadian di antara kedua periode tersebut) banyak terjadi di wilayah Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi, sedangkan laju peningkatan di Pulau Jawa, Bali-Nusa Tenggara dan Papua relatif menengah dan rendah meskipun terdapat beberapa wilayah yang cukup tinggi laju peningkatannya.



Gambar 5-15 Peta laju peningkatan kejadian DBD di antara periode 2006-2011 dan 2012-2016

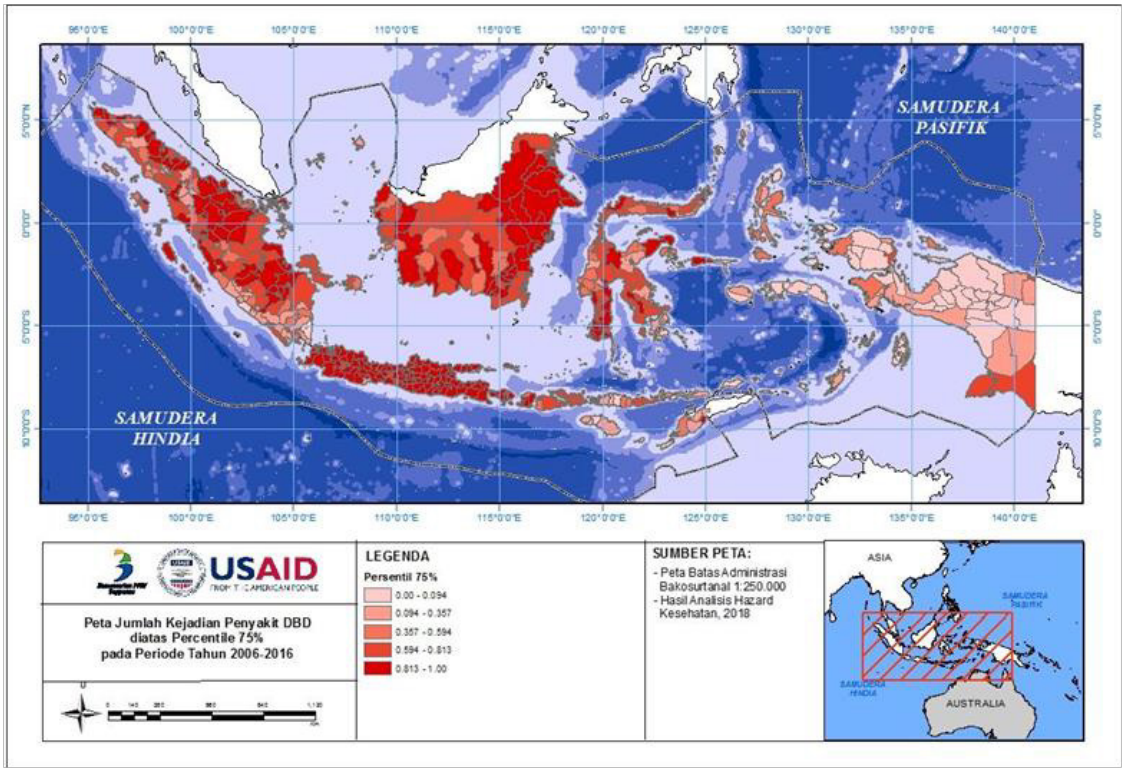
Gambaran tersebut menunjukkan bahwa potensi peningkatan kejadian penyakit DBD yang tinggi justru terjadi pada wilayah-wilayah di Kalimantan dan Sumatera, dimana secara rata-rata pada kondisi historis dapat dikatakan tergolong menengah dan rendah.

Representasi kedua yaitu peningkatan kejadian penyakit lebih dari dua kali lipat dalam dua bulan berturut-turut periode historis tahun 2006-2016 merupakan implementasi dari Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010. Persebaran representasi kedua ini dapat dilihat pada Gambar 5-16 berikut. Beberapa daerah mengalami peningkatan kejadian secara ekstrem, antara lain di wilayah Sumatera Utara, DKI Jakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Sulawesi Barat, Gorontalo.



Gambar 5-16 Peta jumlah peningkatan kejadian penyakit lebih dari dua kali lipat dalam dua bulan berturut-turut periode historis tahun 2006-2016 (Sumber: Data Kementerian Kesehatan)

Pada representasi ketiga, Gambar 5-17 mendeskripsikan persebaran jumlah kejadian penyakit yang tinggi pada bulan-bulan yang berada di atas persentil 75%. Dibandingkan dengan representasi pertama dan kedua di atas, representasi ketiga ini lebih sesuai dengan deskripsi historis penyebaran kejadian penyakit DBD di Indonesia sebagaimana pada Sub Bab 2.2 di atas. Gambar 4-3 memperlihatkan sebaran kejadian penyakit DBD yang tinggi pada hampir semua kabupaten dan kota di Pulau Jawa-Bali. Kemudian kejadian penyakit DBD yang tinggi dialami di sebagian besar wilayah Pulau Sumatera dan Kalimantan serta sebagian kecil wilayah Pulau Sulawesi. Kejadian penyakit DBD di Kepulauan Nusa Tenggara, Maluku, dan Pulau Papua sebagian besar masih menengah ke rendah.

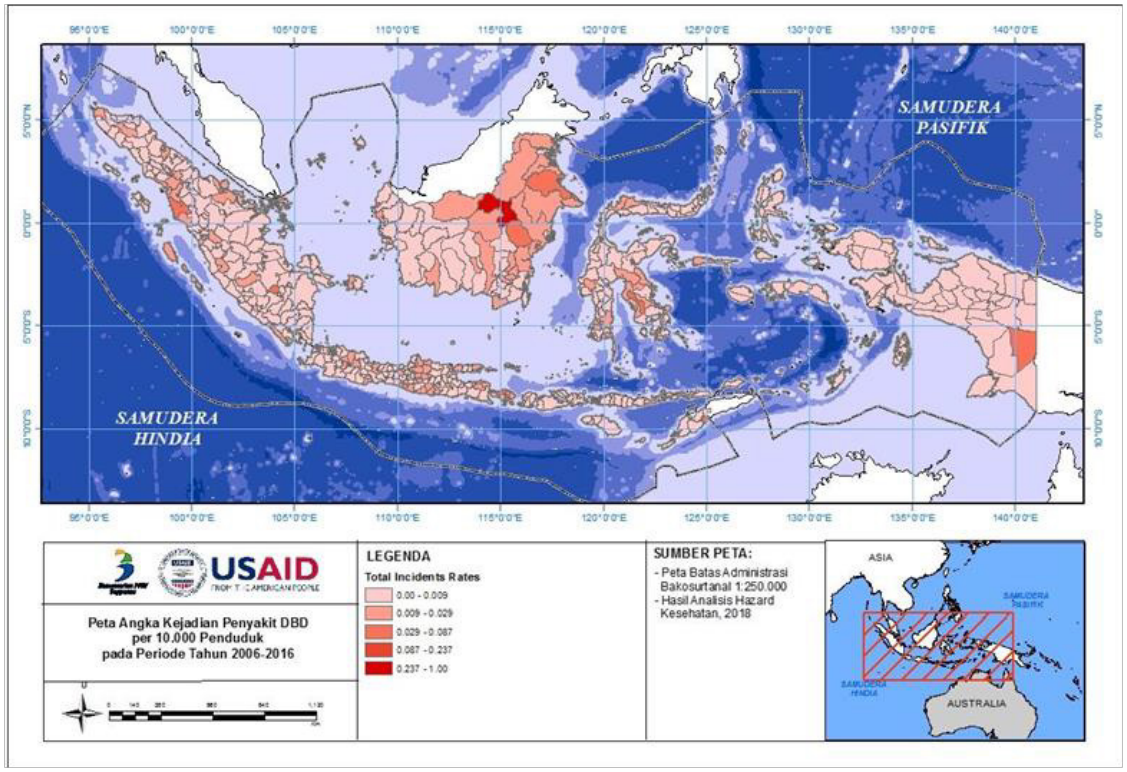


Gambar 5-17 Peta jumlah kejadian penyakit pada bulan-bulan yang berada di atas persentil 75% periode tahun 2006-2016 (Sumber: Data Kementerian Kesehatan)

4.2. Pengaruh Populasi Penduduk pada Periode Historis

Secara umum, suatu kejadian penyakit DBD dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor non-iklim seperti mobilitas penduduk yang tinggi, perkembangan wilayah perkotaan, perubahan kepadatan penduduk, perubahan distribusi penduduk dan faktor epidemiologi lainnya yang masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Pada bagian ini akan dideskripsikan pengaruh populasi penduduk terhadap peningkatan kejadian DBD di Indonesia pada periode historis.

Gambar 4-18 mendeskripsikan pengaruh populasi penduduk pada peningkatan penyakit DBD melalui peta distribusi angka kejadian (*incidence rate*) penyakit DBD antara tahun 2006-2016. Peta ini merupakan informasi yang terstandaridisasi untuk menggambarkan potensi kejadian penyakit DBD terhadap populasi penduduk antar wilayah di Indonesia. Terlihat bahwa angka kejadian penyakit DBD cenderung tinggi (lebih dari 0,7 kejadian per 10.000 penduduk) terjadi di wilayah Sumatera (bagian utara), Jawa (bagian tengah dan timur), Bali serta Sulawesi (bagian tengah dan utara).

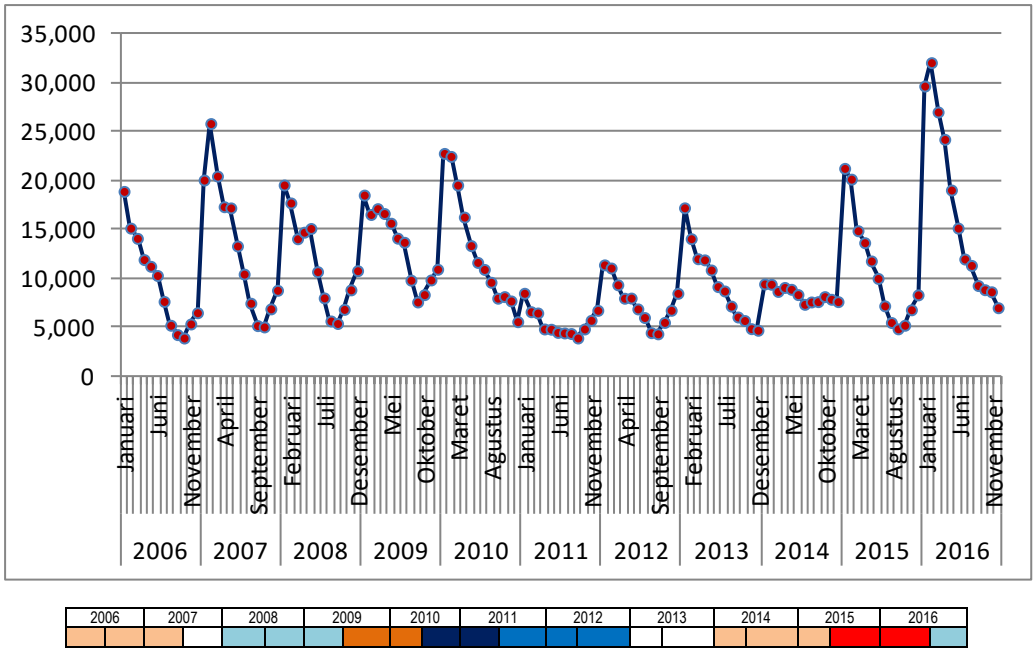


Gambar 5-18 Peta Angka Kejadian (Incidence Rate) DBD per 10000 Penduduk Tahun 2006-2016 di Seluruh Kabupaten/Kota di Indonesia

4.3. Bahaya Peningkatan Kejadian Penyakit DBD terhadap Perubahan Iklim

Sebagai gambaran awal dilihat indikasi keterkaitan kejadian penyakit DBD dengan iklim dan variabilitasnya. Karakteristik temporal dari agregat data seluruh Indonesia (Gambar 5-19) menunjukkan indikasi hubungannya dengan variasi iklim, yaitu bahwa jumlah kejadian penyakit DBD secara total di seluruh Indonesia mengalami peningkatan drastis hampir pada setiap tahunnya dan puncaknya di sekitar bulan Desember-Januari-Februari (DJF), dimana pada saat itu sebagian besar wilayah Indonesia mengalami musim hujan pada kondisi iklim normal.

Kemudian juga terlihat bahwa nilai puncak kejadian penyakit DBD terlihat bervariasi pada setiap tahunnya, dimana puncak yang tertinggi terjadi pada tahun 2007 dan 2016 sedangkan puncak kejadian yang terendah pada terjadi pada tahun 2011. Jika dikaitkan dengan diagram kejadian fenomena variabilitas iklim ENSO (El-Nino Southern Oscillation), puncak kejadian penyakit DBD yang terendah pada tahun 2011 tersebut terjadi pada saat terjadi fenomena La-Nina yang kuat-menengah. Sedangkan puncak kejadian penyakit DBD yang tertinggi terjadi pada saat peralihan fenomena El-Nino lemah menuju kondisi normal (tahun 2007) dan pada saat peralihan fenomena El-Nino kuat menuju fenomena La-Nina lemah (tahun 2016). Peristiwa-peristiwa tersebut mengindikasikan adanya keterkaitan antara kejadian penyakit DBD dengan variabilitas iklim (ENSO) yang berkaitan dengan parameter curah hujan dan temperatur.



Gambar 5-19 Keterkaitan antara fluktuasi temporal kejadian penyakit (atas) agregat di seluruh Indonesia (Sumber: Data Kementerian Kesehatan), dengan kejadian fenomena ENSO (El-Nino Southern Oscillation; bawah; sumber: Golden Gate Weather Services - http://ggweather.com/enso/oni.htm), dimana warna merah-oranye-kuning menandakan fase kejadian El-Nino yang kuat-menengah-lemah dan warna biru tua-muda-muda sekali menandakan fase kejadian La-Nina yang kuat-menengah-lemah.

Kemudian, kajian keterkaitan dengan faktor iklim yang lebih rinci dimulai dengan pengolahan data iklim yaitu data temperatur rata-rata dan curah hujan pada 31 kabupaten dan kota. Data tersebut merupakan pengamatan harian di stasiun BMKG setempat dari tahun 2006-2012 (sumber GSOD NOAA) serta data proyeksi model iklim atmosfer yang diperoleh dari kajian tim Science Basis dari tahun 2010 hingga 2045. Data deret-waktu (*time-series*) periode proyeksi tersebut kemudian dilakukan koreksi bias (*bias correction*) agar lebih kontinu terhadap data historis-nya (lihat Lampiran III untuk data temperatur dan Lampiran IV untuk data curah hujan). Untuk maksud analisis kisaran data iklim yang bersesuaian dengan data kejadian penyakit DBD dilakukan pemulusan data (*smoothing*) dengan metoda perata-rataan berjalan (*moving average*) lima titik pada semua jenis data tersebut pada periode historis.

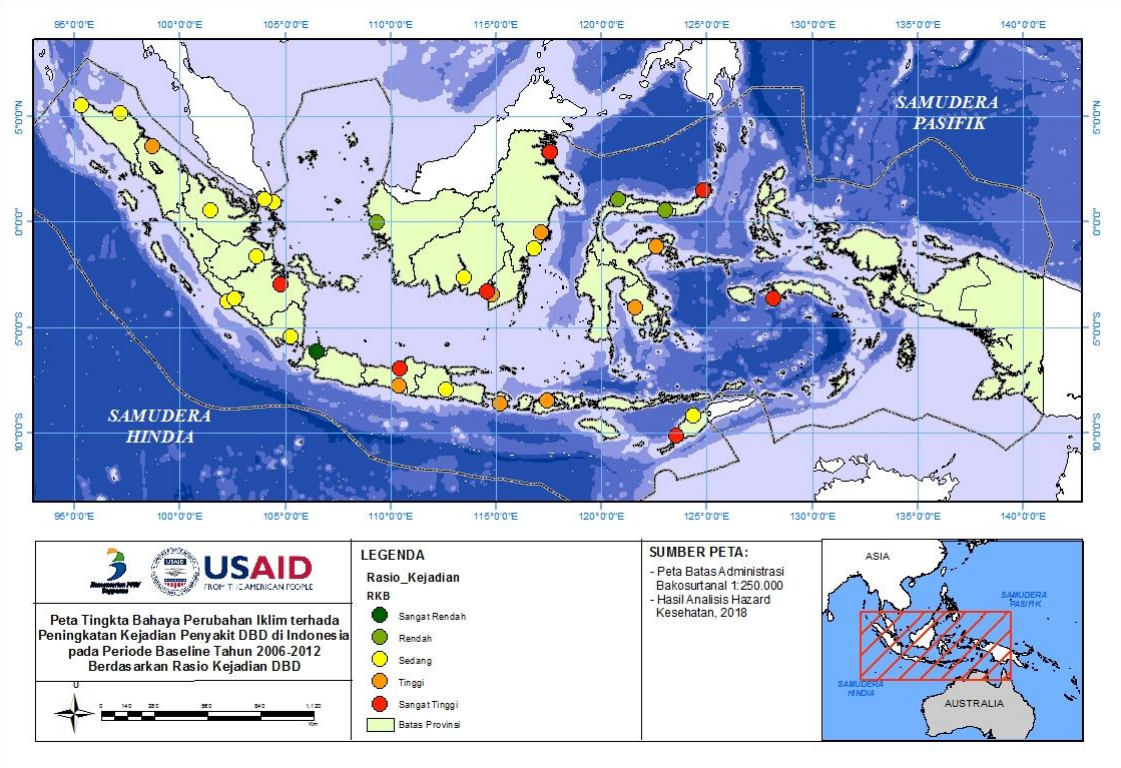
Kesesuaian antara iklim dengan jumlah kejadian penyakit DBD yang tinggi ditunjukkan pada Tabel 5-1 berikut, yaitu kisaran temperatur dan curah hujan pada saat jumlah kejadian penyakit DBD di atas persentil 75%. Gambaran diagramatik temperatur-curah hujan dapat dilihat pada Lampiran VII. Identifikasi jumlah data temperatur dan curah hujan pada kisaran kejadian dan kisaran potensi kejadian penyakit DBD di 31 kabupaten dan kota di Indonesia pada periode historis (2006-2012) dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran V (untuk temperatur) dan Lampiran VI (untuk curah hujan). Pada Lampiran VII dipaparkan data temperatur dan curah hujan yang bersesuaian dengan kisaran tersebut dalam bentuk diagram pasangan kedua data. Proses identifikasi tersebut menghasilkan rasio kejadian data temperatur dan curah hujan yang berada pada kisaran kejadian penyakit DBD serta rasio pada kisaran potensi kejadian penyakit DBD.

Tabel 5-1 Kisaran temperatur dan curah hujan terjadi pada saat kejadian penyakit DBD tertinggi di atas persentil 75%

No	Pulau	Kabupaten/Kota	Kisaran Temperatur		Kisaran Curah Hujan	
			T-min	T-max	CH-min	CH-max
1	**Sumatera**	Banda Aceh	26.24	26.96	128.64	212.12
		Lhokseumawe	25.75	26.69	69.62	176.08
		Bandar Lampung	27.40	28.15	123.77	246.36
		Batam	26.85	27.24	155.36	291.90
		Bengkulu	26.63	27.60	124.10	287.62
		Jambi	26.31	27.40	141.42	237.52
		Kepahiang	26.39	27.49	73.06	174.64
		Medan	26.25	26.96	152.83	240.11
		Padang	26.40	27.16	320.78	413.22
		Palembang	26.22	26.65	211.02	338.94
		Pekanbaru	26.24	26.96	128.64	212.12
		Tanjung Pinang	26.39	27.30	265.02	326.64
2	**Jawa**	Yogyakarta	25.66	26.23	165.80	272.02
		Malang	23.32	24.09	72.00	285.60
		Semarang	27.36	28.09	204.30	338.10
		Denpasar	26.42	27.47	87.36	243.36
3	**Kalimantan**	Balikpapan	26.87	27.39	216.04	285.56
		Banjar Baru	26.38	26.92	251.14	334.43
		Banjarmasin	26.60	26.97	233.24	369.04
		Pontianak	26.72	27.38	161.18	354.18
		Palangkaraya	26.91	27.43	205.68	400.62
		Tarakan	26.85	27.33	293.08	408.48
		Samarinda	27.34	28.09	169.06	236.38
4	**Sulawesi**	Gorontalo	26.80	27.50	79.20	240.04
		Kolaka	27.18	27.93	154.20	225.60
		Makassar	26.58	27.18	97.20	497.80
		Manado	27.81	28.29	141.00	186.20
		Tolitoli	26.16	27.19	168.18	240.60
5	**Nusra**	Kupang	26.89	28.10	146.78	278.50
		Sumbawa	26.33	27.49	46.40	221.20
6	**Maluku**	Ambon	25.99	26.97	117.18	738.24

Sebagaimana disebutkan pada Sub Bab 2.2 bahwa rasio kisaran kejadian yang bersesuaian dengan Tabel 5-1 di atas dapat diasumsikan menjadi tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD pada periode historis, dimana peta distribusi spasialnya dilihat Gambar 5-20. Adapun pembagian kisaran rasio tersebut untuk penentuan tingkat bahaya sebagai berikut:

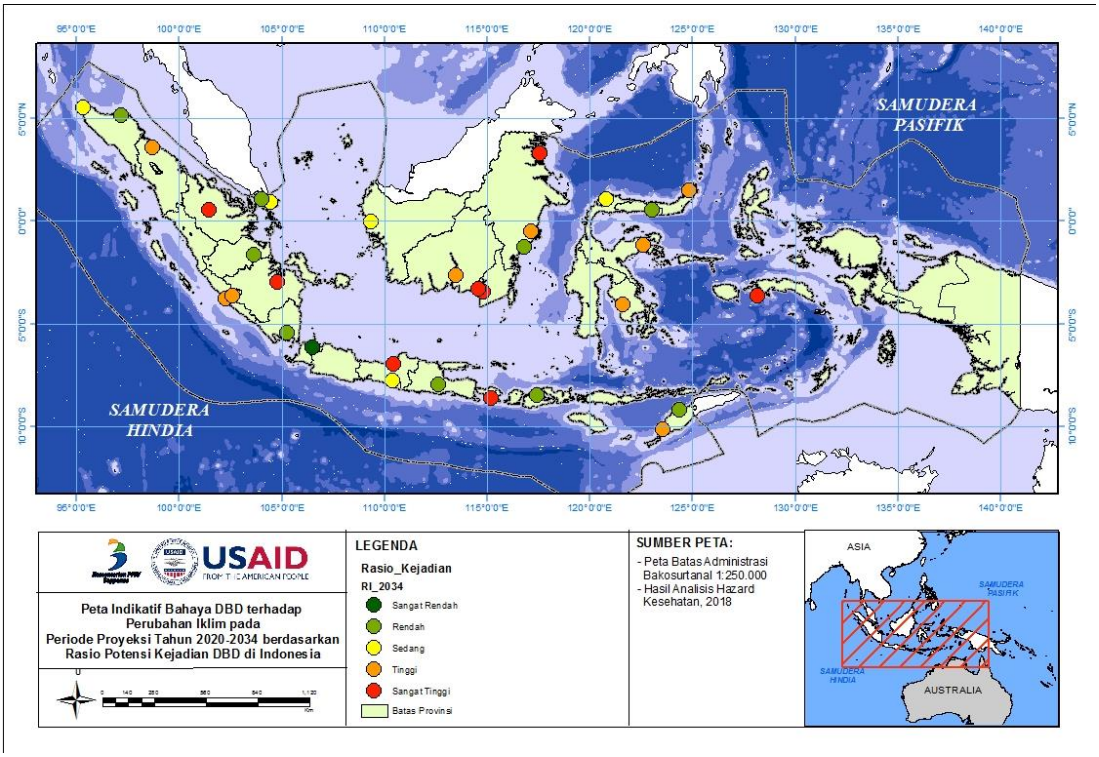
- Sangat Rendah : 0 – 15%
- Rendah : >15% – 30%
- Sedang : >30% – 45%
- Tinggi : >45% – 60%
- Sangat Tinggi : >60%



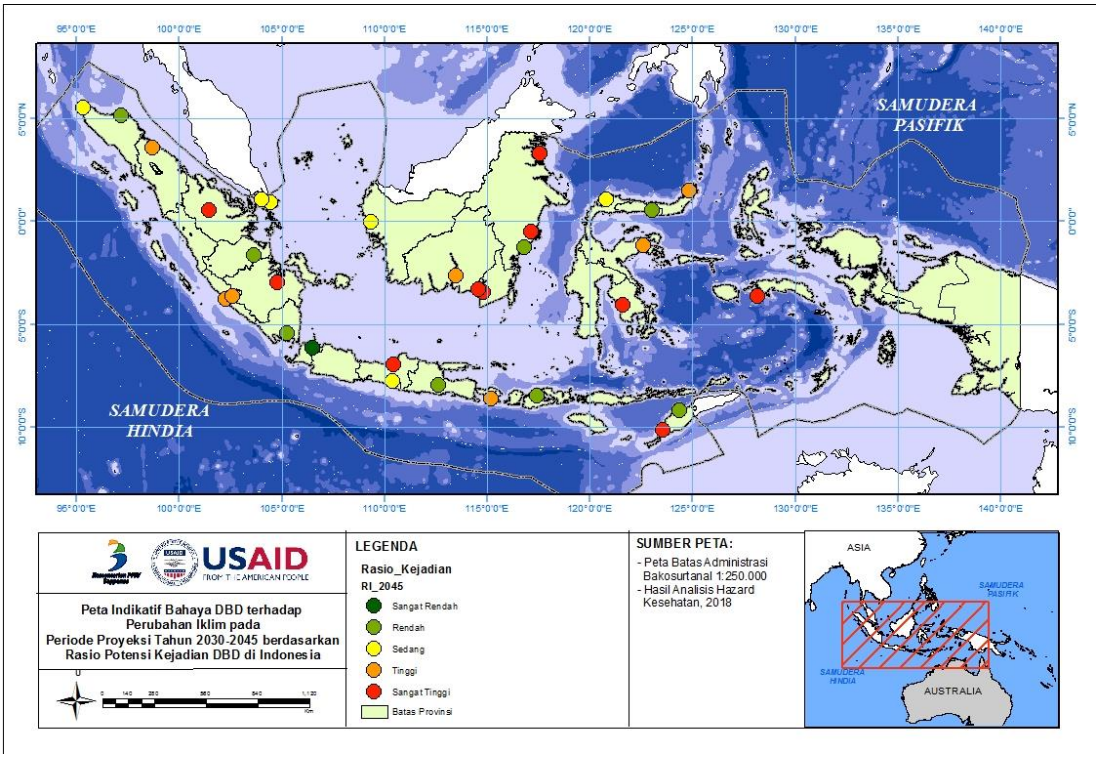
Gambar 5-20 Peta tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode historis tahun 2006-2012 berdasarkan rasio kejadian DBD

Sebagaimana telah dijelaskan dalam bagian metoda kajian, tingkat rasio kejadian di atas diasumsikan sebagai Tingkat Bahaya Peningkatan Kejadian penyakit DBD pada Periode Historis. Sedangkan Tingkat Bahaya Peningkatan Kejadian penyakit DBD pada Periode Proyeksi diasumsikan dapat didekati dengan atau diindikasi dari perubahan tingkat bahaya periode historis sebesar perubahan (peningkatan/ pengurangan) tingkat rasio kisaran potensi pada periode proyeksi terhadap tingkat rasio kisaran potensi pada periode historis. Pendekatan ini digunakan untuk penentuan tingkat bahaya indikatif pada periode proyeksi. Tingkat bahaya indikatif akan memberikan gambaran kemungkinan peningkatan atau bahkan penurunan rasio kejadian penyakit DBD di masa yang akan datang.

Untuk periode proyeksi, tingkat bahaya diindikasikan dari perubahan tingkat rasio kisaran potensi kejadian terhadap kondisinya pada periode historis, sebagaimana disebutkan pada Sub Bab sebelumnya. Proses identifikasi jumlah kejadian yang termasuk dalam kisaran potensial kejadian penyakit DBD pada periode proyeksi hingga 2045 dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran V (untuk temperatur) dan VI (untuk curah hujan). Peta-peta indikatif tingkat bahaya pada periode proyeksi 2020-2034 dan 2030-2045 tersebut masing-masing ditunjukkan pada Gambar 5-21 dan Gambar 5-22 berikut.



Gambar 5-21 Peta indikatif tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode proyeksi tahun 2020-2034 berdasarkan peningkatan tingkat rasio potensi kejadian DBD



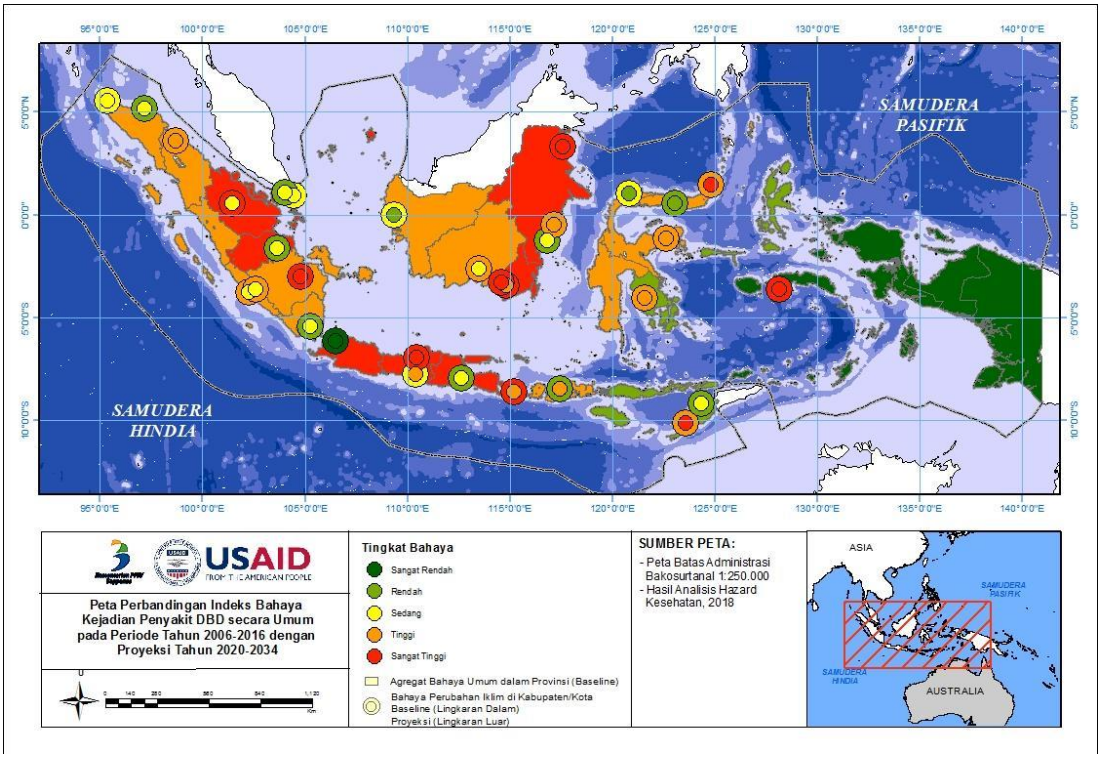
Gambar 5-22 Peta tingkat bahaya perubahan iklim terhadap peningkatan kejadian penyakit DBD di Indonesia pada periode proyeksi tahun 2030-2045 berdasarkan peningkatan tingkat rasio potensi kejadian DBD

4.4. Bahaya Sektor Kesehatan per Wilayah

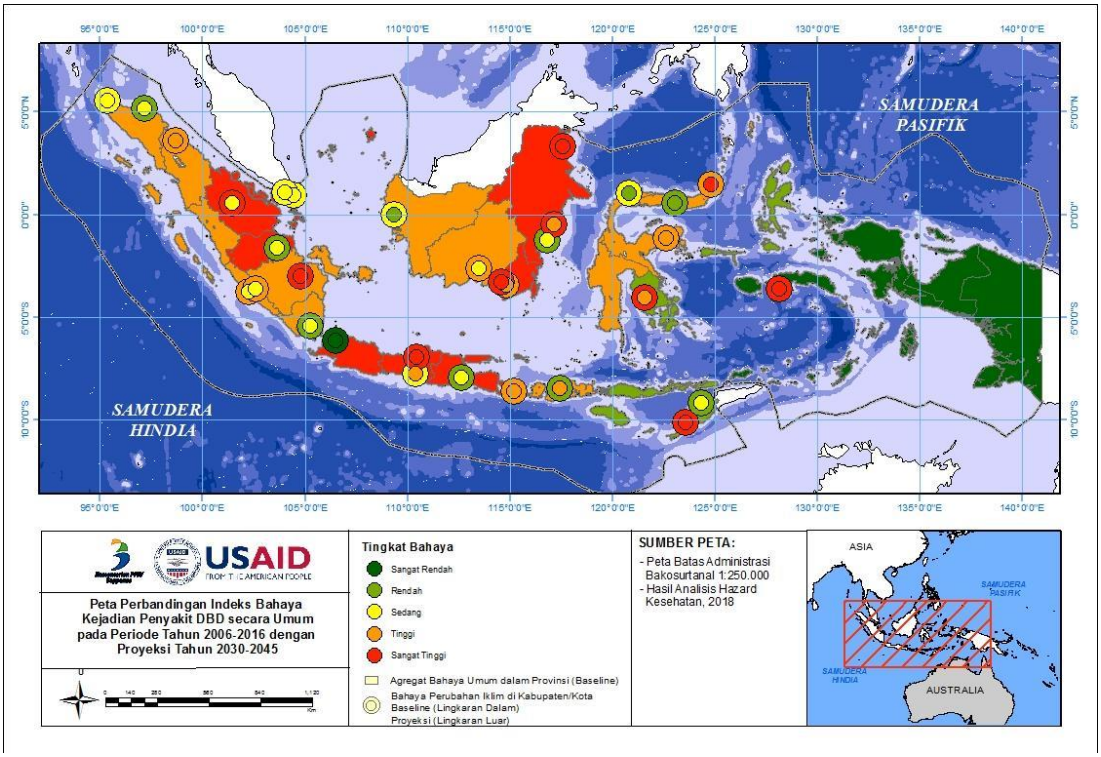
Gambaran tingkat bahaya akibat perubahan iklim pada sektor kesehatan tersebut pada level 7 pulau besar atau 34 provinsi di Indonesia dilakukan dengan pendekatan sampel kabupaten/kota yang

memiliki angka kejadian DBD tertinggi di provinsi yang bersangkutan dan/atau yang memiliki data pengamatan iklim yang representatif. Deskripsi tersebut dilakukan pada 7 pulau besar terdiri dari Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan, Pulau Jawa-Bali, Pulau Sulawesi, Kepulauan Nusa Tenggara, Kepulauan Maluku, dan Pulau Papua wilayah Republik Indonesia.

Seperti yang telah dibahas pada Sub Bab 4.2, berbagai faktor iklim dan non-iklim dapat mempengaruhi tingkat bahaya pada sektor kesehatan seperti mobilitas penduduk yang tinggi, perkembangan wilayah perkotaan, perubahan iklim, perubahan kepadatan dan distribusi penduduk serta faktor epidemiologi lainnya. Berdasarkan hal tersebut, pada bagian ini akan dideskripsikan bahaya peningkatan kejadian DBD yang merupakan "tumpang tindih" (*overlaying*) antara peta bahaya yang diakibatkan oleh faktor-faktor umum di seluruh wilayah Indonesia dengan peta bahaya akibat perubahan iklim saja di 31 kabupaten dan kota baik pada periode historis dan periode proyeksi. Representasi tumpang tindih ini merupakan gambaran bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD secara utuh tentang dampak perubahan iklim tersebut. Representasi dilakukan pada 7 pulau besar berikut ini yang terdiri dari Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan, Pulau Jawa-Bali, Pulau Sulawesi, Kepulauan Nusa Tenggara, Kepulauan Maluku, dan Pulau Papua wilayah Republik Indonesia.



Gambar 5-23 Peta Perbandingan Indeks Bahaya Kejadian Penyakit DBD pada Periode Tahun 2006-2016 dengan proyeksi tahun 2020-2034



Gambar 5-24 Peta Perbandingan Indeks Bahaya Kejadian Penyakit DBD pada Periode Tahun 2006-2016 dengan proyeksi tahun 2030-2045

Berdasarkan kedua peta tersebut (Gambar 5-23 dan Gambar 5-24), deskripsi tingkat bahaya iklim pada sektor kesehatan dengan indikator peningkatan kejadian penyakit DBD per wilayah adalah sebagai berikut:

1. Wilayah Sumatera

Untuk Wilayah Sumatera, tingkat bahaya perubahan iklim berada pada kisaran bahaya sedang hingga sangat tinggi. Tingkat bahaya pada periode historis tertinggi berada di Palembang, Sumatera Selatan. Sedangkan tingkat bahaya pada level tinggi berada di Medan, Sumatera Utara. Untuk sisa provinsi pada wilayah Sumatera berada pada tingkat bahaya sedang.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim pada tahun 2020-2034, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi dalam rasio kejadian bahaya. Untuk provinsi Lampung, Aceh, Kepulauan Riau, dan Jambi mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau 1 (satu) tingkat dari bahaya pada periode historis. Faktor yang menyebabkan penurunan tingkat bahaya ini adalah laju kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*, sehingga justru berakibat semakin berkurangnya potensi bahayanya. Sedangkan untuk Provinsi Bengkulu dan Pekanbaru mengalami peningkatan 1 (satu) dan 2 (dua) level bahaya pada proyeksi periode tahun 2020-2034 terhadap periode historis.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim pada tahun 2030-2045, diketahui bahwa beberapa provinsi juga mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi pada tingkat bahaya terhadap kondisi historis. Untuk provinsi Lampung, Aceh, dan Jambi mengalami proyeksi penurunan rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level dari rasio kejadian pada periode historis. Penyebabnya masih berupa kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan untuk Provinsi

Bengkulu dan Pekanbaru mengalami peningkatan 1 (satu) dan 2 (dua) level pada proyeksi periode tahun 2030-2045 terhadap periode historis.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenari perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Sumatera terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung sangat tinggi untuk Provinsi Riau dan Jambi sedangkan wilayah lainnya memiliki potensi bahaya tinggi. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja Provinsi Jambi memiliki kecenderungan penurunan terhadap potensi bahaya. Hal ini mengindikasikan bahwa bukan faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi kejadian. Namun di beberapa wilayah seperti Sumatera Selatan, terjadi peningkatan potensi bahaya dari tingkat tinggi ke tingkat sangat tinggi, hal ini digambarkan dengan perubahan warna dari oranye pada poligon menjadi merah pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD dapat meningkat akibat pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi pada tahun 2034. Kondisi pada proyeksi pada tahun 2045 kurang lebih sama dengan pada tahun 2034, hanya saja terjadi peningkatan potensi bahaya oleh faktor iklim di wilayah Bangka Belitung (lihat gambar 5-24).

2. Wilayah Jawa-Bali

Untuk Wilayah Jawa-Bali, tingkat bahaya perubahan iklim berada pada rentang bahaya sedang hingga sangat tinggi. Tingkat bahaya pada periode historis tertinggi berada di Semarang, Jawa Tengah. Sedangkan tingkat bahaya pada level tinggi berada di Yogyakarta, DI Yogyakarta dan Denpasar, Bali. Tingkat bahaya di Malang, Jawa Timur berada pada rasio kejadian bahaya level sedang. Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2020-2034, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi dalam rasio kejadian bahaya. Untuk Provinsi DI Yogyakarta dan Jawa Timur mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level daripada kondisi pada periode historis. Faktor penyebabnya adalah laju kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan untuk Provinsi Bali mengalami peningkatan 1 (satu) tingkat bahaya atau sekitar 15% rasio potensi kejadian penyakit DBD pada proyeksi periode tahun 2020-2034 terhadap periode historis.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim pada tahun 2030-2045, diketahui bahwa beberapa provinsi juga mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi dalam rasio kejadian bahaya. Untuk provinsi Yogyakarta dan Jawa Timur mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) tingkat bahaya pada periode historis. Penyebabnya masih berupa kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan tidak terjadi indikasi peningkatan rasio bahaya pada proyeksi periode tahun 2030-2045 terhadap periode historis.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenari perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Jawa Bali terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung sangat tinggi. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja beberapa wilayah di Pulau Jawa-Bali memiliki kecenderungan penurunan terhadap potensi bahaya seperti di wilayah Banten dan Jawa Timur dan Jawa Tengah. Hal ini mengindikasikan bahwa bukan faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi kejadian. Hal ini digambarkan dengan perubahan warna dari merah pada poligon menjadi hijau dan kuning pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD cenderung

menurun jika hanya mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi pada tahun 2034. Hal yang sama juga terjadi pada proyeksi tahun 2045.

3. Wilayah Kalimantan

Untuk Wilayah Kalimantan, tingkat bahaya perubahan iklim berada pada kisaran tingkat bahaya rendah hingga sangat tinggi. Tingkat bahaya pada periode historis tertinggi berada di Banjarmasin, Kalimantan Selatan dan Tarakan, Kalimantan Utara. Sedangkan tingkat bahaya tinggi berada di Banjarbaru, Kalimantan Selatan dan Samarinda, Kalimantan Timur. Untuk Balikpapan, Kalimantan Timur dan Palangkaraya, Kalimantan Tengah, bahaya berada pada level sedang. Sedangkan, Pontianak, Kalimantan Barat berada pada tingkat bahaya rendah.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2020-2034, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi tingkat bahaya. Untuk Provinsi Kalimantan Timur mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level bahaya pada periode historis. Faktor penyebabnya adalah laju kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan untuk Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Utara mengalami peningkatan 1 (satu) level bahaya atau sekitar 15% rasio potensi kejadian pada proyeksi terhadap periode historis.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2030-2045, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi tingkat bahaya. Untuk Provinsi Kalimantan Timur mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level bahaya terhadap periode historis. Faktornya masih berupa kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi nyamuk *Aedes aegypti* yang diasumsikan. Sedangkan untuk Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, dan Kalimantan Tengah mengalami peningkatan 1 (satu) level bahaya atau sekitar 15% rasio potensi kejadian pada proyeksi tersebut. Diketahui peningkatan tertinggi berada pada Provinsi Kalimantan Utara dengan peningkatan dua level bahaya atau sekitar 30% rasio potensi kejadian pada proyeksi.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenari perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Kalimantan terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung tinggi dan sangat tinggi. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja beberapa wilayah di Pulau Kalimantan memiliki kecenderungan penurunan terhadap potensi bahaya seperti di wilayah Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur baik dalam periode historis maupun proyeksi hingga tahun 2034. Hal ini mengindikasikan bahwa bukan faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi peningkatan bahaya penyakit DBD. Untuk wilayah Kalimantan Timur digambarkan dengan perubahan warna dari merah pada poligon menjadi kuning dan hijau pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi. Untuk wilayah Kalimantan Barat digambarkan dengan perubahan warna dari oranye pada poligon menjadi hijau dan kuning pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD cenderung menurun jika hanya mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi pada tahun 2034. Pola yang sama juga terjadi pada proyeksi tahun 2045.

4. Wilayah Sulawesi

Untuk Wilayah Sulawesi, tingkat bahaya iklim berada pada kisaran rendah hingga sangat tinggi. Tingkat bahaya pada periode historis tertinggi berada di Manado, Sulawesi Utara. Sedangkan bahaya pada level tinggi berada di Kolaka, Sulawesi Tenggara. Untuk Makassar, Sulawesi Selatan berada pada

tingkat bahaya sedang. Sedangkan Gorontalo dan Tolitoli di Sulawesi Tengah berada pada level bahaya rendah.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2020-2034, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi tingkat bahaya. Untuk Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian yang berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level bahaya terhadap periode historis. Penyebabnya adalah laju kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan untuk Provinsi Sulawesi Tenggara mengalami peningkatan 1 (satu) level bahaya atau sekitar 15% rasio potensi kejadian pada periode tersebut terhadap periode historis.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2030-2045, diketahui bahwa beberapa provinsi mengalami penurunan, peningkatan dan stagnansi tingkat bahaya. Untuk Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio kejadian yang berkisar sekitar 15% rasio potensi kejadian atau turun 1 (satu) level bahaya terhadap periode historis. Faktornya masih berupa kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Sedangkan untuk Provinsi Sulawesi Tenggara mengalami peningkatan 1 (satu) level bahaya atau sekitar 15% rasio potensi kejadian pada proyeksi periode tersebut terhadap periode historis.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenari perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Sulawesi terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung rendah dan tinggi. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja beberapa wilayah di Pulau Sulawesi memiliki kecenderungan peningkatan terhadap potensi bahaya seperti di wilayah Sulawesi Utara dan Sulawesi Tenggara baik dalam periode historis maupun proyeksi hingga tahun 2034. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi peningkatan bahaya penyakit DBD. Namun untuk wilayah Sulawesi Tengah, potensi peningkatan bahaya penyakit DBD akibat faktor iklim cenderung menurun baik di periode historis maupun periode proyeksi tahun 2020-2034. Untuk wilayah Sulawesi Utara dan Sulawesi Tenggara digambarkan dengan perubahan warna dari oranye dan hijau pada poligon menjadi merah dan oranye pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi. Untuk wilayah Sulawesi Tengah digambarkan dengan perubahan warna dari oranye pada poligon menjadi hijau dan kuning pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD cenderung menurun jika hanya mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi. Pola yang sama juga terjadi pada proyeksi tahun 2045 bahkan cenderung terjadi peningkatan potensi bayaha penyakit DBD akibat iklim pada wilayah Sulawesi Tenggara menjadi sangat tinggi (lihat Gambar 5-24).

5. Wilayah Nusa Tenggara

Untuk Wilayah Nusa Tenggara, tingkat bahaya perubahan iklim berada pada kisaran tinggi dan sangat tinggi. Tingkat bahaya pada periode historis tertinggi berada di Kupang, Nusa Tenggara Timur. Sedangkan tingkat bahaya pada level tinggi berada di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2020-2034, diketahui bahwa kedua provinsi mengalami penurunan tingkat bahaya. Untuk Provinsi Nusa Tenggara Timur mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian berkisar sekitar 15% atau turun 1 (satu) level bahaya terhadap periode historis, sementara Provinsi Nusa Tenggara Barat mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian berkisar sekitar 30% atau turun 2 (satu) level bahaya dari kondisi historis.

Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2030-2045, diketahui bahwa kedua provinsi mengalami penurunan tingkat bahaya. Faktornya adalah laju kenaikan temperatur pada bagian akhir periode proyeksi yang lebih tinggi daripada laju temperatur hasil adaptasi yang diasumsikan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Untuk Provinsi Nusa Tenggara Timur mengalami stagnansi level bahaya terhadap periode historis, sedangkan Provinsi Nusa Tenggara Barat mengalami proyeksi penurunan terhadap rasio potensi kejadian berkisar sekitar 30% atau turun 2 (satu) level bahaya terhadap historis.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenai perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Nusa Tenggara terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung rendah dan tinggi. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja beberapa wilayah di Nusa Tenggara memiliki kecenderungan peningkatan terhadap potensi bahaya seperti di wilayah Nusa Tenggara Barat baik dalam periode historis maupun proyeksi hingga tahun 2034. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi peningkatan bahaya penyakit DBD. Hal ini digambarkan dengan perubahan warna dari hijau pada poligon menjadi merah dan oranye pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD cenderung meningkat jika mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi. Pola yang sama juga terjadi pada proyeksi tahun 2045 bahkan cenderung terjadi peningkatan potensi bayaha penyakit DBD akibat iklim pada wilayah Sulawesi Tenggara menjadi sangat tinggi (lihat Gambar 5-24).

6. Wilayah Maluku

Untuk Wilayah Maluku, tingkat bahaya perubahan iklim direpresentasikan oleh Kota Ambon, Provinsi Maluku berada pada tingkat bahaya tinggi. Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2020-2034, diketahui bahwa Wilayah Maluku mengalami peningkatan bahaya, yaitu peningkatan rasio kejadian yang berkisar sekitar 30% atau naik 2 (dua) level bahaya terhadap periode historis. Berdasarkan hasil proyeksi iklim tahun 2030-2045, diketahui bahwa Wilayah Maluku mengalami peningkatan bahaya, yaitu naiknya rasio potensi kejadian sekitar 45% atau bertambah 3 (tiga) level bahaya dari periode historis.

Berdasarkan Gambar 5-23, telah diberikan gambaran mengenari perbandingan indeks bahaya kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis dengan priode proyeksi tahun 2020-2034. Secara umum, di wilayah Maluku terdapat potensi bahaya peningkatan kejadian DBD yang cenderung rendah dan sangat rendah. Namun, jika hanya mempertimbangkan faktor iklim saja terdapat wilayah di Maluku memiliki kecenderungan peningkatan terhadap potensi bahaya seperti di wilayah Provinsi Maluku (Ambon) baik dalam periode historis maupun proyeksi hingga tahun 2034. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor iklim yang menjadi pengaruh utama tingginya potensi peningkatan bahaya penyakit DBD. Untuk wilayah Provinsi Maluku digambarkan dengan perubahan warna dari hijau tua pada poligon menjadi merah pada poin yang menggambarkan bahaya iklim pada periode historis dan proyeksi yang mengdinkasikan peningkatan yang cukup ekstrem. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya penyakit DBD cenderung akan mengalami peningkatan jika mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim baik di kondisi sekarang maupun di kondisi proyeksi. Pola yang sama juga terjadi pada proyeksi tahun 2045 (lihat Gambar 5-24).

7. Wilayah Papua

Di wilayah Papua tidak tersedia data observasi iklim yang representatif sehingga tidak bisa dilakukan analisis keterkaitan dengan data kejadian penyakit DBD. Namun jika dilihat berdasarkan faktor bahaya secara umum, diketahui wilayah Papua memiliki potensi bahaya penyakit DBD yang rendah dalam periode 2006-2016.

5. KESIMPULAN, KETERBATASAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

5.1. Kesimpulan

1. Sebaran dan variasi kejadian penyakit DBD secara umum pada periode historis:
   a. Secara umum sebaran kejadian penyakit DBD yang tinggi pada hampir semua kabupaten/kota di Pulau Jawa-Bali, Sumatera dan Kalimantan serta sebagian Sulawesi.
   b. Kejadian penyakit DBD di Kepulauan Nusa Tenggara, Maluku, dan Pulau Papua sebagian besar masih menengah ke rendah.
   c. Sebagai pengaruh iklim secara umum, jumlah kejadian penyakit DBD di seluruh Indonesia mengalami peningkatan hingga puncak di sekitar Desember-Januari-Februari (DJF) hampir setiap tahunnya, dimana sebagian besar wilayah mengalami musim hujan saat iklim normal.
   d. Fluktuasi kejadian penyakit DBD secara umum dapat dipengaruhi oleh faktor variabilitas iklim seperti ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*).
2. Sebaran tingkat bahaya secara umum (akibat perubahan iklim dan non iklim) pada periode historis:
   a. Secara umum bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD yang tinggi dan sangat tinggi berada pada wilayah Indonesia yakni Pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan dan sebagian Sulawesi
   b. Peningkatan bahaya umum penyakit DBD cenderung rendah di Wilayah Nusa Tenggara, Maluku dan Papua
   c. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi epidemi yang menyebar mulai dari Pulau Jawa Bali yang dapat dilihat dari sejarah penyebaran penyakit DBD di Indonesia
   d. Aktivitas pergerakan dan perkembangan kota, serta tingginya mobilasasi di wilayah Jawa Bali terhadap Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera membuat peningkatan potensi bahaya di Pulau Kalimantan dan Sumatera cenderung lebih tinggi dibandingkan Maluku, Nusa Tenggara dan Papua.
   e. Kondisi iklim dan pencatatan terhadap perubahan iklim yang terjadi di wilayah juga berpengaruh dalam penentuan potensi bahaya iklim. Data iklim untuk wilayah Indonesia bagian Barat dan Tengah cenderung lebih lengkap jika dibandingkan dengan wilayah bagian Timur.
   f. Berdasarkan analisis dan studi, dapat diindikasikan peningkatan bahaya yang disebabkan oleh perubahan iklim atau non-iklim pada periode historis dan proyeksi. Wilayah Timur cenderung lebih tinggi indikasi peningkatan bahaya penyakit DBD akibat perubahan iklim.
3. Sebaran tingkat bahaya terhadap perubahan iklim pada periode historis:
   a. Pada umumnya tingkat bahaya sangat tinggi terjadi di kota-kota besar, seperti Semarang di Jawa Tengah, Palembang di Sumatera Selatan, Tarakan di Kalimantan Utara, Manado di Sulawesi Utara. Jumlah penduduk yang relatif besar menimbulkan angka kejadian penyakit DBD yang tinggi sehingga memperbesar peluang (rasio) kisaran kejadian penyakit DBD. Sangat tingginya bahaya di Kupang, NTT terjadi lebih disebabkan oleh sesuainya pola iklim dengan pola kejadian penyakit DBD.
   b. Tingkat bahaya sangat tinggi yang terjadi di Ambon Maluku kemungkinan kurang akurat disebabkan oleh sedikitnya data kejadian penyakit maupun data iklim yang tersedia (hanya tahun 2011-2012), namun dengan keterbatasan data tersebut justru

menunjukkan kesesuaian kisaran temperatur dan curah hujan yang tinggi dengan tingginya kejadian penyakit DBD.

4. Sebaran tingkat bahaya terhadap perubahan iklim pada periode proyeksi
   a. Pada beberapa kabupaten/kota seperti Pekanbaru di Riau, Tarakan di Kalimantan Utara dan Ambon Maluku mengalami indikasi peningkatan tingkat bahaya yang sangat besar (naik hingga dua level) pada periode proyeksi, baik 2020-2034 maupun 2030-2045, terhadap periode historis.
   b. Tingkat bahaya di Sumbawa di NTB justru mengalami indikasi penurunan tingkat bahaya pada periode proyeksi, dimana lebih dipengaruhi oleh kurang bagusnya data pengamatan iklim periode historis yang mempengaruhi analisis pada periode proyeksi.

5.2. Keterbatasan Kajian

1. Kajian yang dilakukan untuk memetakan tingkat bahaya sektor kesehatan melalui indikator tingkat bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD didasarkan pada kisaran temperatur dan kisaran curah hujan saat terjadi kejadian luar biasa atau wabah. Metodologi ini mengambil asumsi bahwa kisaran-kisaran parameter iklim tersbeut bersesuaian dengan siklus optimal gonotropik nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor penyakit DBD. Metodologi ini didasarkan pada metode yang diusulkan oleh Campbell, dkk. (2013) yang diaplikasikan pada data kejadian DBD, curah hujan dan temperatur pada periode historis di Thailand. Metodologi ini merupakan alternatif dari metoda berbasis korelasi statistik murni yang tidak memperhatikan kesesuaian dengan karakteristik alamiah nyamuk tersebut, serta menjadi opsi lain dari metoda pemodelan deterministik berbasis populasi nyamuk yang sangat terkendala dengan ketiadaan datanya (KRAPI KLH, 2012; ACCRN, 2015). Namun demikian, pada penerapan metodologi pada kajian ini terkendala oleh ketersediaan data observasi iklim periode historis dan kesinambungannya dengan data proyeksi iklim.
2. Untuk proyeksi ke depan, kajian tidak menggunakan metode prediksi (*forecasting*) berbasis model regresi non-linier karena terjadi kesalahan yang cukup besar. Pada periode proyeksi kajian ini tetap mengasumsikan penerapan kisaran parameter iklim yang sama dengan sewaktu kondisi historis, dengan mengubah batas atas temperatur sesuai dengan asumsi adaptasi siklus gonotropik nyamuk *Aedes aegypti* yang dapat seiring dengan kenaikan temperatur akibat dampak pemanasan global. Namun demikian kadang terjadi laju kenaikan temperatur pada periode proyeksi yang melebihi laju temperatur hasil adaptasi nyamuk *Aedes aegypti* yang diasumsikan, sehingga dapat menimbulkan penurunan potensi bahaya pada periode proyeksi tersebut.
3. Walaupun peta tingkat bahaya tingkat nasional menggunakan satuan analisis 7 pulau besar yang berbasis data provinsi, namun kajian ini menggunakan analisis data pada level kabupaten/kota dengan pertimbangan utama penyebaran penyakit DBD umumnya terjadi pada lingkup kecil (Sedda, et.al., 2018). Pemetaan ini dibangun melalui analisis data pada tingkat 31 kabupaten/kota yang memiliki angka kejadian DBD yang sangat tinggi yang mewakili provinsi masing-masing dan memiliki data iklim observasi yang representatif.

5.3. Rekomendasi Kebijakan

1. Pendefinisian wabah atau kejadian luar biasa menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010 yang berbasis tren peningkatan angka kejadian

penyakit lebih ditujukan untuk maksud upaya preventif atau peringatan dini (*early warning system*) terhadap kejadian wabah penyakit. Adanya kenaikan tingkat bahaya di daerah-daerah tertentu semestinya menjadi dasar penentuan kebijakan di sektor kesehatan dalam rangka meningkatkan tingkat kesiapan dalam mengatasi bahaya penyakit DBD.

Namun untuk proses perencanaan (*planning and budgetting*) lebih sesuai untuk memakai indikator jumlah kejadian penyakit yang melebihi ambang tertentu, misalnya persentil 75% seperti yang diterapkan pada kajian ini. Pada kondisi tersebut dianggap kapasitas adaptasi atau resiliensi yang tersedia sudah tidak mampu mengatasi bahaya yang menyebabkan kejadian penyakit yang sangat tinggi.

2. Walaupun kajian ini cukup berhasil menerapkan metodologi analisis data yang mengasumsikan kesesuaian antara faktor iklim dengan siklus gonotropik nyamuk *Aedes aegypti* yang diwakili oleh tingkat kejadian penyakit DBD yang tinggi, namun sebetulnya masih memerlukan beberapa penyempurnaan yang berkaitan dengan kebutuhan data, antara lain perlunya dilengkapi dengan data pengamatan iklim di stasiun-stasiun di kabupaten/kota yang saat ini belum dianalisis, kemudian jika mungkin diverifikasi dengan data populasi nyamuk di beberapa lokasi yang tersedia.
3. Pengembangan metodologi di atas juga memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai daya adaptasi nyamuk terhadap kenaikan temperatur dan variabilitas iklim
4. Kajian ini hanya membahas tingkat bahaya penyakit DBD, karena kecukupan data untuk kajian hanya untuk penyakit DBD. Tetapi metode di kajian ini dapat digunakan untuk melihat tingkat bahaya akibat penyakit-penyakit lain pada sektor kesehatan yang akan terdampak oleh perubahan iklim, seperti yang telah dijabarkan di bagian-bagian sebelumnya.
5. Untuk kemudahan kajian yang lebih luas, sebaiknya dibuat satu data center untuk sektor kesehatan. Kerjasama antara perguruan tinggi, pemerintah, masyarakat dan industri terkait dibutuhkan untuk mewujudkan *data center* sektor kesehatan ini. *Data center* ini merupakan suatu unit yang dapat dikelola oleh Kementerian Kesehatan namun mendapat suplai data iklim yang *reliable* dan kontinu dari BMKG dan informasi-informasi yang berkaitan dari masyarakat terutama Jumantik (Juru Pemantau Jentik Nyamuk) yang dikoordinasikan oleh Pemerintah Kabupaten/Kota. Para ahli yang berkaitan misalnya dengan kesehatan masyarakat, perubahan iklim dan perencanaan/ kebijakan dapat berperan dalam supervisi pemantauan dan dalam pengembangan metodologi, baik untuk perencanaan ke depan maupun untuk sistem peringatan dini.
6. Kejadian epidemi DBD merupakan salah satu fenomena yang memgaruhi tingkat bahaya penyakit DBD. Penyakit DBD di suatu wilayah dapat menyebar ke wilayah lain akibat penularan dari induk (orang yang membawa penyakit) maupun perpindahan yang dilakukan oleh nyamuk dalam upaya penyesuaian dirinya pada suhu dan kondisi cuaca. Untuk itu identifikasi terhadap faktor peningkatan potensi bahaya harus dilakukan untuk menentukan kebijakan yang harus diambil. Dalam kondisi bahwa peningkatan potensi bahaya penyakit terjadi lebih besar karena faktor non-iklim, maka pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan terkait aktivitas manusia, mobilisasi dan perkembangan kota. Sedangkan apabila faktor penyebabnya adalah faktor iklim, seperti kasus migrasi nyamuk akibat kebutuhan penyesuaian suhu, pemerintah dapat menetapkan kebijakan terkait adaptasi terhadap perubahan iklim melalui penjagaan suhu internal rumah atau tempat-tempat yang memungkinkan untuk menjadi tempat perkembangbiakkan nyamuk.
7. Dalam pembagian tugas dan kewenangan dalam penyusunan strategi adaptasi perubahan iklim terhadap sektor kesehatan oleh pemerintah secara formal telah dijelaskan dalam

bagian kapasitas kelembagaan. Secara fundamental, strategi adaptasi perubahan iklim dapat dilakukan secara langsung oleh pemerintah daerah kabupaten setempat terutama dari segi pelaksanaan strategi berdasarkan informasi dan analisis yang telah diperoleh dalam studi ini. Sedangkan pemerintah provinsi bertugas untuk melakukan pencegahan terhadap persebaran penyakit (*outbreak*) dalam lingkup yang lebih luas. Dalam studi ini diketahui potensi *hazard* kesehatan tertinggi di masing-masing Provinsi, pemerintah provinsi dapat mencegah melalui penyusunan strategi adaptasi agar persebaran dari kabupaten dengan *hazard* tertinggi tidak meluas ke daerah lainnya dalam provinsi tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

Afrane, Y.A., Githeco, A.K., dan Guiyun, Y. (2012). The Ecology of Anopheles Mosquitoes Under Climate Change: Case Studies from the Effects of Environmental Changes in East Africa Highlands. *Annual N Y Academic Science*, 1249, 204-210

Agoes, R. (1996). *Pola Perkembang-biakan pada Berbagai Temperatur dan Jenis Media Air Serta Kemampuannya dalam Mentransmisikan Virus Dengue secara Transovarial.* Disertasi. Studi Bionomik Nyamuk *Aedes aegypti (Linnaeus, 1762)* strain., Bandung

Agoes, R., dkk. (2001). *Dengue Vectors and Human Hosts in The City of Bandung: A Pilot Study on Interaction.*

Agoes, R. (2005). *Mosquito Indices Used in monitoring of Dengue Hemorrhagic Fever* (unpublished)

Agoes, R., dan Sofyan, A. (2012a). *Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim Tarakan – Laporan Sektor Kesehatan*. Kementerian Lingkungan Hidup, kerjasama dengan AusAID & GTZ.

Agoes, R., dan Sofyan, A. (2012b). *Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim Provinsi Sumatera Selatan – Laporan Sektor Kesehatan*. Kementerian Lingkungan Hidup, kerjasama dengan AusAID & GTZ.

Agoes, R., dan Sofyan, A. (2012c). *Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim Malang Raya – Laporan Sektor Kesehatan*. Kementerian Lingkungan Hidup, kerjasama dengan AusAID & GTZ.

Arsin, A.A. (2013). *Epidemiologi Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia*. Masagena Press, Makassar, ISBN: 978-602-9023-60-2.

Borrud, G. (2015). Dengue: a closer look at a spreading fever. DW: Science, date 30.12.2015. https://www.dw.com/en/dengue-a-closer-look-at-a-spreading-fever/a-18951298

Campbell, K.M, dkk. (2013). The Complex Relationship between Weather and Dengue Virus Transmission in Thailand. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene, 89(6), pp. 1066–1080. doi:10.4269/ajtmh.13-0321, © 2013

Garret, L. (1994). New Emerging Diseases in a World Out of Balance. *The Coming Plague*. New York USA: Pinguin Book USA Inc.

Githeko A.K., Lindsay S.W., Confalonieri U.E., dan Patz J.A. (2000). Climate Change and Vector-Borne Diseases: a Regional Analysis. *Bulletin of the World Health Organization* 78 (9): 1136-1147.

Hii, Y.L. dkk. (2009). Climate Variability and Increase in Intensity and Magnitude of Dengue Incidence in Singapore. *Global Health Action*.

IPCC. (2007). *In: Climate Change 2007: Mitigation*. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. New York, USA : Cambridge University Press, Cambridge.

Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 423 Tahun 2017 tentang Tim Teknis Adaptasi Dampak Perubahan Iklim Bidang Kesehatan

Louis, V.R., Phalkey, R., Horstick, O., Ratanawong, P., Wilder-Smith, A., Tozan, Y., dan Dambach, P. (2014). Modeling tools for dengue risk mapping – a systematic review. *International Journal of Health Geographics*, 2014, 13:50, http://www.ij-healthgeographics.com/content/13/1/50

Patz, A., Grarzyk, T.K., Heller, N., dan Vitlot, A.Y. (2000). Effect of Environment Change on Emerging Parasitic Diseases. *International Journal of Parasitology*, 30, 1395-1405.

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 45 Tahun 2014 Tentang Penyelenggaraan Surveilans

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1501/MENKES/PER/X/2010 Tentang Jenis Penyakit Menular Tertentu yang Dapat Menimbulkan Wabah dan Upaya Penanggulangan

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1018 Tahun 2011 tentang Strategi Adaptasi Sektor Kesehatan terhadap Dampak Perubahan Iklim

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 50 tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan. (2016). *Situasi DBD di Indonesia: 22 April Hari Demam Berdarah Dengue*. Infodatin, ISSN 2442-7659

Reiter, P. (2001). Climate Change and Mosquito-Borne Disease. *Environmental Health Perpective*, 109, 141-159

Sedda, L., Vilela, A.P.P., Aguiar, E.R.G.R, Gaspar, C.H.P., Gonçalves, A.N.A., Olmo, R.P., Silva, A.T.S., da Silveira, L.C., Eiras, Á.E., Drumond, B.P., Kroon, E.G., dan Marques, J.T. (2018). The spatial and temporal scales of local dengue virus transmission in natural settings: a retrospective analysis. *Parasites & Vectors* 11:79, 14 pp., DOI 10.1186/s13071-018-2662-6

Sofyan, A., Sukowati, S., dan Slame, J.S. (2010). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR) – Sektor Kesehatan*. Bappenas, kerjasama dengan GTZ

Ubaidillah, R. (2011). *Serangan Ulang Dimungkinkan*. Riset. UGM: Siklus Hidup Lebih Cepat, Harian Kompas

Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan (Lembar Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 144)

WHO. (1996). *Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever (DHF) Vector Control*. Microsoft Internet Explorer 1-3

WHO. (2012). *Global Strategies for Dengue Prevention and Control 2012 - 2020.*

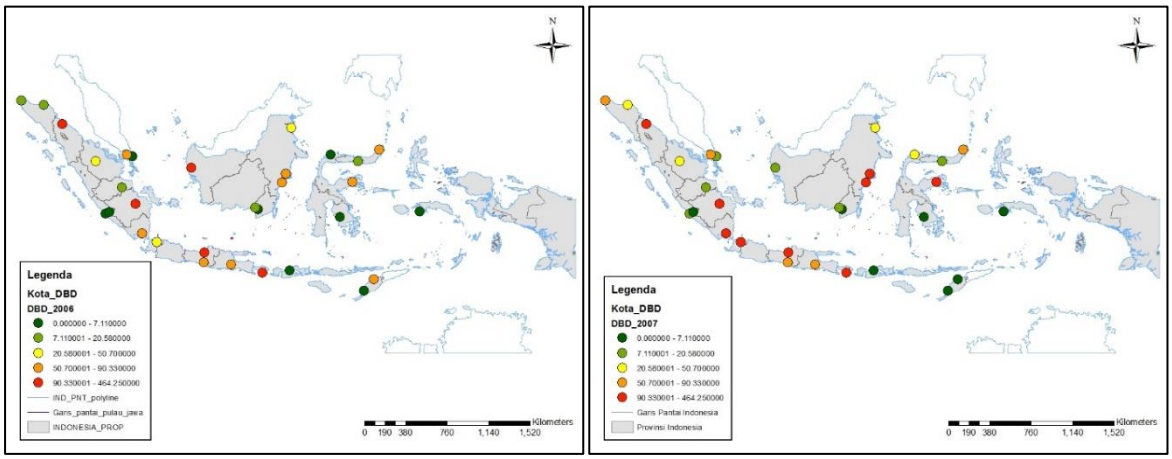
WHO. (2003). *Prevention and Control of Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. WHO Regional Publication SEARO no. 29.

WHO. (2001). *Dengue Hemorrhagic Fever, Diagnostic, Medical Treatment, Prevention and Control 2nd Edition*. Jakarta: EGC Publishing.

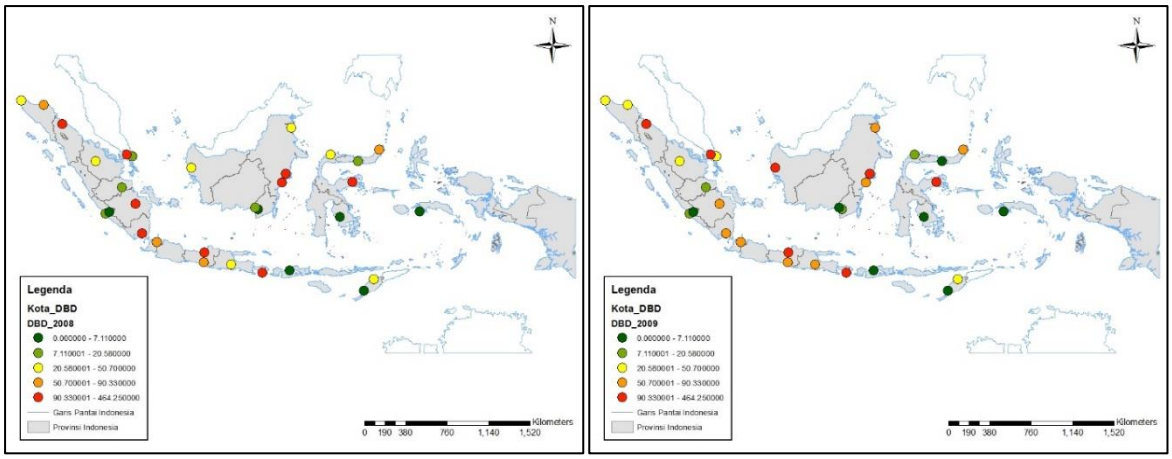
Xu, L., Stige, L.C., Chan, K-S., Zhou, J., Yang, J. S., Sang, Wang, M., Yang, Z., Yan, Z., Jiang, T., Lua, L., Yue, Y., Liu, X., Lin, H., Xu, J., Liu, Q., dan Stenseth, N.C. (2017). Climate variation drives dengue dynamics. *PNAS*, January 3, 2017, vol. 114, no. 1, p. 113–118. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1618558114

7. LAMPIRAN

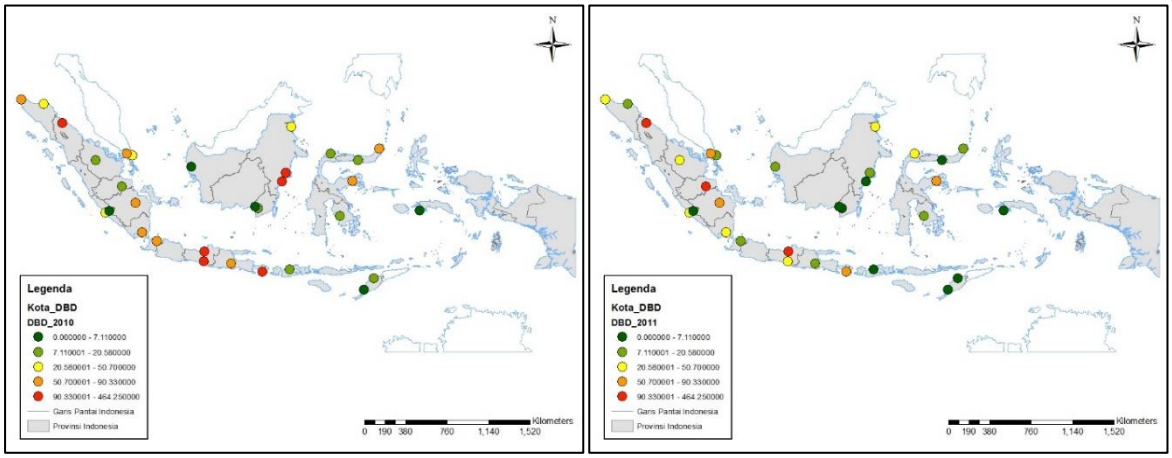
Lampiran 1 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD



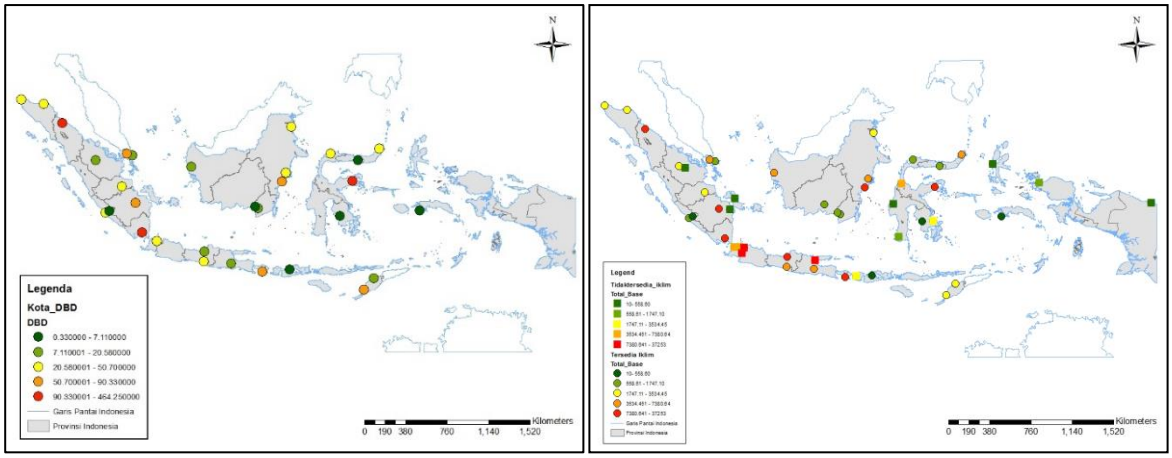
Gambar I.1 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD Tahun 2006 (Kiri) dan 2007 (Kanan)



Gambar I.2 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD Tahun 2008 (Kiri) dan 2009 (Kanan)



Gambar I.3 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD Tahun 2010 (Kiri) dan 2011 (Kanan)



Gambar I.4 Peta Sebaran Kejadian Penyakit DBD Tahun 2012 (Kiri) dan Kumulatif Tahun 2006-2012 (Kanan)

Lampiran 2 Hasil Prediksi (*Forecasting*) Jumlah Kejadian DBD dan Tingkat Kesalahannya

II.1 Metoda Prediksi Jumlah Kejadian DBD

Hambatan utama untuk analisis periode proyeksi 2020-2045 adalah tidak tersedianya data kejadian penyakit dan belum adanya referensi untuk model proyeksi kejadiannya yang sejalan dengan model-model iklim *IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change*). Untuk mengatasi hambatan ini, pada bagian ini dicoba melakukan prediksi (*forecasting*) dengan menggunakan metoda-metoda matematika yang bersifat non-linier, yaitu model *Holt-Winters* yang merupakan satu bentuk khusus dari metode *Exponential Smoothing* (ES) dan metode *Auto Regressive* (AR). Model-model tersebut digunakan untuk prediksi kejadian DBD antara tahun 2017 sampai 2022 atau 5 tahun ke depan.

Metode ES membuat prediksi yang didasarkan pada rata-rata berbobot dari observasi-observasi pada waktu lalu dengan observasi-observasi terkini memiliki bobot yang lebih besar daripada observasi sebelumnya. Model ES sendiri memiliki pengertian bahwa pembobotan berkurang secara eksponensial seiring observasi semakin lama. Selain itu, metode ini mampu memperhitungkan faktor *trend* dan *seasonality* sekaligus dalam model *forecasting*. Metode-metode yang merupakan bagian dari metode ES diberikan dalam Tabel II.1 berikut.

Tabel II. 1 Metode Metode bagian dari ES

Trend Component	**Seasonal Component**		
	N (none)	A (additive)	M (multiplicative)
N (none)	NN	NA	NM
A (additive)	AN	AA	AM
M (multiplicative)	MN	MA	MM
D (damped)	DN	DA	DM

Beberapa metode dalam metode ES lebih dikenal dengan nama lain, seperti: NN: Metode *Simple Exponential Smoothing* (SES), AN: Metode *Holt's Linear*, AA: Metode *Additive Holt-Winters*, AM: Metode *Multiplicative Holt-Winters*. Lebih jauh lagi, untuk menganalisis data *time series* akan digunakan juga metode ES dengan *trend* data yang diredam (*damped trend*).

Diberikan data time series Y_t , metode ES bekerja dengan hubungan-hubungan sebagai berikut.

Tabel II. 2 Analisis Data Time Series dengan Metode ES dengan Trend Data yang Diredam

Level *time series* saat waktu t	$l_t = \alpha P_t + (1-\alpha)\mathrm{Q_t}$
Trend *time series* saat waktu t	$b_t = \beta R_t + (\phi - \beta) b_{t-1}$
Seasonality *time series* saat waktu t	$s_t = \gamma \mathrm{T_t} + (1-\gamma)\mathrm{s_{t-m}}$
Forecast *time series* untuk h periode kedepan	$Y_t(h)$

Kemudian nilai *forecast* ditentukan oleh hubungan-hubungan pada Tabel II.3 sebagai berikut.

Tabel II. 3 Penentuan Nilai Forecast berdasarkan hubungan-hubungan

Trend component	Seasonal component: N (none)	A (additive)	M (multiplicative)
N (none)	$P_t = Y_t$ $Q_t = \ell_{t-1}$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t$	$P_t = Y_t - s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t - Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t + s_{t+h-m}$	$P_t = Y_t / s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t / Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t s_{t+h-m}$
A (additive)	$P_t = Y_t$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t + hb_t$	$P_t = Y_t - s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t - Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t + hb_t + s_{t+h-m}$	$P_t = Y_t / s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t / Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = (\ell_t + hb_t)s_{t+h-m}$
M (multiplicative)	$P_t = Y_t$ $Q_t = \ell_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = \ell_t / \ell_{t-1}$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t b_t^h$	$P_t = Y_t - s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = \ell_t / \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t - Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t b_t^h + s_{t+h-m}$	$P_t = Y_t / s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} b_{t-1}$ $R_t = \ell_t / \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t / Q_t$ $\phi = 1$ $Y_t(h) = \ell_t b_t^h s_{t+h-m}$
D (damped)	$P_t = Y_t$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $\beta < \phi < 1$ $Y_t(h) = \ell_t +$ $(1 + \phi + \cdots + \phi^{h-1})b_t$	$P_t = Y_t - s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t - Q_t$ $\beta < \phi < 1$ $Y_t(h) = \ell_t +$ $(1 + \phi + \cdots + \phi^{h-1})b_t + s_{t+h-m}$	$P_t = Y_t / s_{t-m}$ $Q_t = \ell_{t-1} + b_{t-1}$ $R_t = \ell_t - \ell_{t-1}$ $T_t = Y_t / Q_t$ $\beta < \phi < 1$ $Y_t(h) = [\ell_t +$ $(1 + \phi + \cdots + \phi^{h-1})b_t]s_{t+h-m}$

Metode Holt-Winters adalah metode khusus dari metode exponential smoothing. Algortima untuk metode Holt Winter adalah sebagai berikut.

Misalkan: S_t= *Deseasonalized Time Series Smoothing Factor*, G=*Trend Factor*, C_t=*Seasonal Factor*, ϵ_t=*Error Factor*, maka

$$D_t = (S_t + G * t)C_t + \epsilon_t$$

dengan t menyatakan waktu.

Deseasonalized Time Series Smoothing Factor

Multiplicative

$$S_t = \frac{\alpha\, X_t}{S_{t-l}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + \phi G_{t-1})$$

Additive

$$S_t = \alpha(X_t - C_{t-L}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + \phi G_{t-1})$$

Trend Factor

Multiplicative

$$G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)\phi G_{t-1}$$

Additive

$$G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)\phi G_{t-1}$$

Season Factor

Multiplicative

$$C_t = \gamma \frac{X_t}{S_{t-1} + \phi G_{t-1}} + (1-\gamma) C_{t-L}$$

Additive

$$C_t = \gamma (X_t - S_{t-1} - \phi G_{t-1}) + (1-\gamma) C_{t-L}$$

Parameter $\alpha, \beta, \gamma,$ dan φ dapat diperoleh dengan mengimplementasikan toolbox forecasting di software R.

Untuk forecast di h perioda ke depan, kita gunakan hubungan

$$F_{t+h} = \left[S_t + \left(\phi + \phi^2 + \cdots + \phi^h\right)\right] C_{t-l+h}$$

untuk pola multiplicative, dan hubungan untuk pola additive adalah

$$F_{t+h} = S_t + \left(\phi + \phi^2 + \cdots + \phi^h\right) G_t + C_{t-L+h}$$

Dalam software R, metode-metode ES dapat diperoleh dengan memanggil fungsi ets() atau hw() dengan sebelumnya mengaktifkan package forecast. Pada dasarnya kedua fungsi tersebut didasarkan pada model ES. Perbedaannya terletak pada kriteria optimisasi dan nilai awal yang digunakan dalam proses optimisasinya.

Sementara model AR adalah model forecasting yang hanya berlaku untuk data time-series yang stasioner. Jadi untuk menggunakan model ini, tahap pertama adalah menguji apakah datanya bersifat stasioner atau tidak. Jika memang datanya stasioner, maka kita dapat menggunakan model AR untuk mendapatkan nilai forecast.

Model AR dengan lag k diberikan oleh

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \ldots + \alpha_k y_{t-k} + \epsilon_t,$$

dengan $\epsilon_t \sim$ N(0, v) untuk t = 1, 2, . . . Parameter α_{t-i} dapat ditentukan dengan menggunakan toolbox untuk AR di software R.

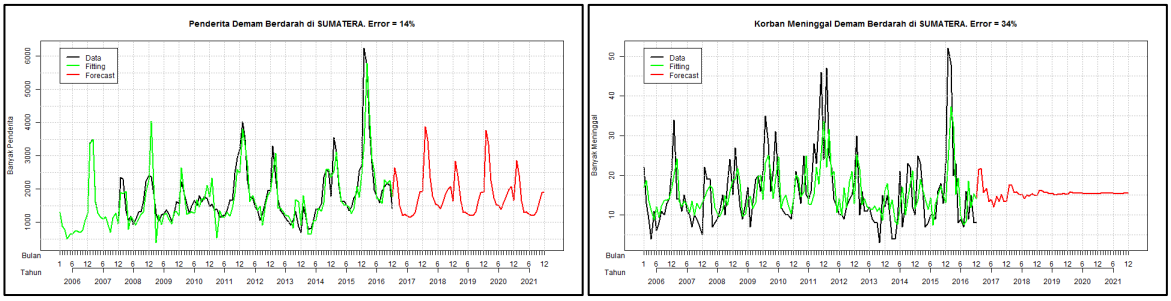
II.2 Hasil Prediksi Jumlah Kejadian DBD dan Tingkat Kesalahannya

Dengan menggunakan model ES atau AR, didapat hasil-hasil prediksi yang ditunjukkan pada Lampiran II dan diresumekan pada yakit DBD pada periode proyeksi berikut. Hasil-hasil tersebut menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang sangat besar, baik pada prediksi bulan terjadinya puncak kejadian DBD maupun besaran prediksi jumlah kejadian dan kematiannya. Dengan demikian penentuan tingkat bahaya peningkatan kejadian penyakit DBD pada periode proyeksi tidak dapat dilakukan melalui penyediaan data jumlah kejadian penyakit DBD pada periode proyeksi

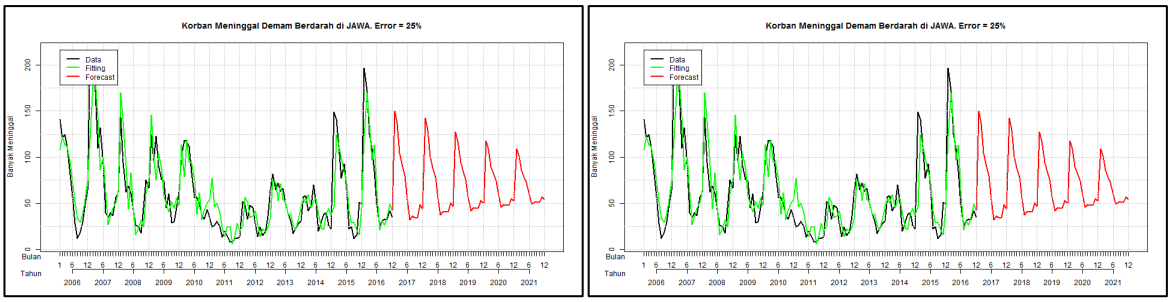
Tabel II. 4 Resume hasil prediksi jumlah kejadian DBD dan tingkat kesalahan (error)

Lokasi	Bulan terjadinya puncak kejadian	Tingkat kesalahan pada prediksi	
		Jumlah kejadian	Jumlah kematian
Sumatera	Januari	14%	34%
Jawa	Februari	15%	25%
Kalimantan	Januari	25%	41%
Sulawesi	Februari	19%	45%
Nusa Tenggara	April	21%	71%
Maluku	Februari dan April	46%	117%
Papua	Tidak diketahui	61%	133%

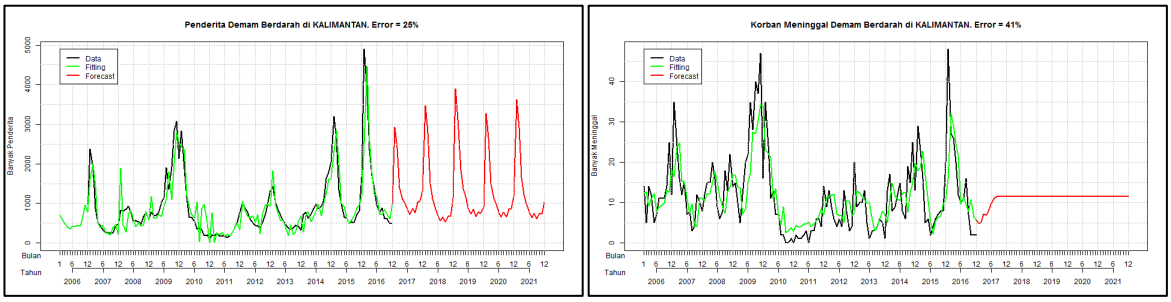
II.3 Lampiran Hasil Prediksi



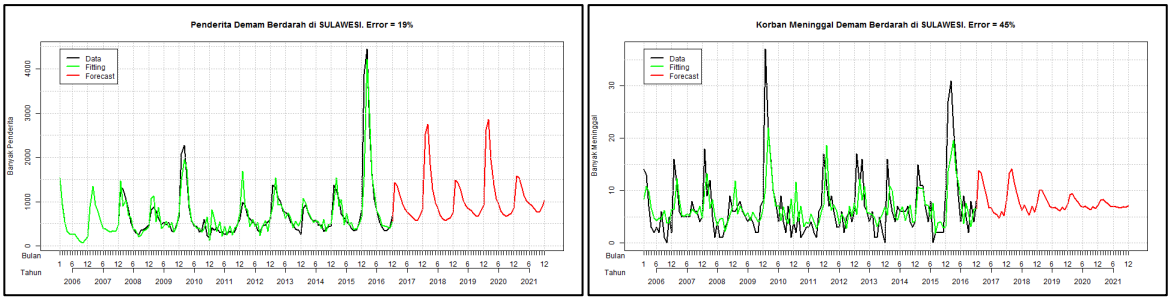
Gambar II. 1 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Sumatera



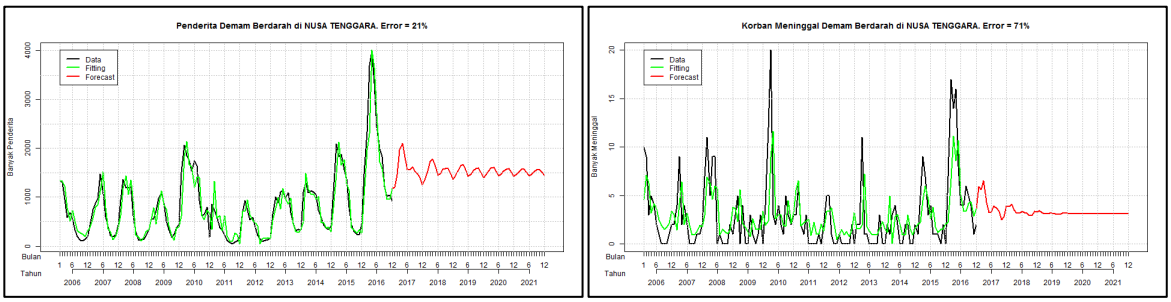
Gambar II. 2 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Jawa



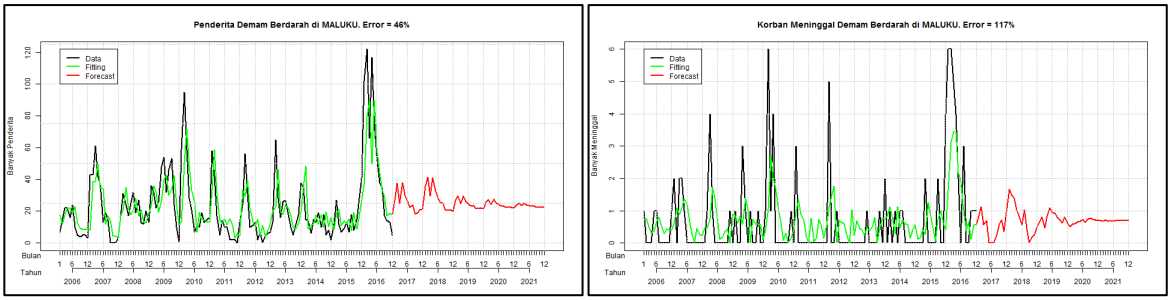
Gambar II. 3 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Kalimantan



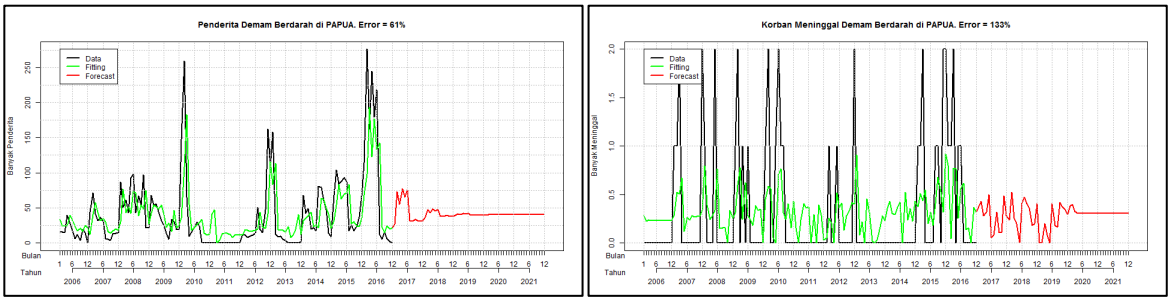
Gambar II. 4 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Sulawesi



Gambar II. 5 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Nusa Tenggara

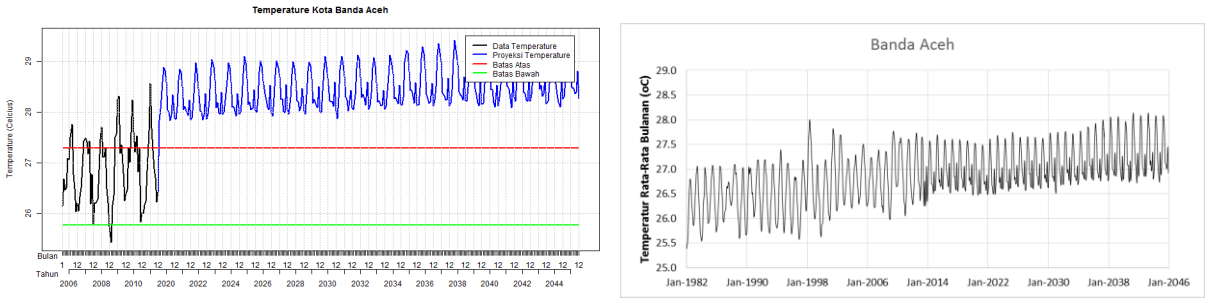


Gambar II. 6 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Maluku

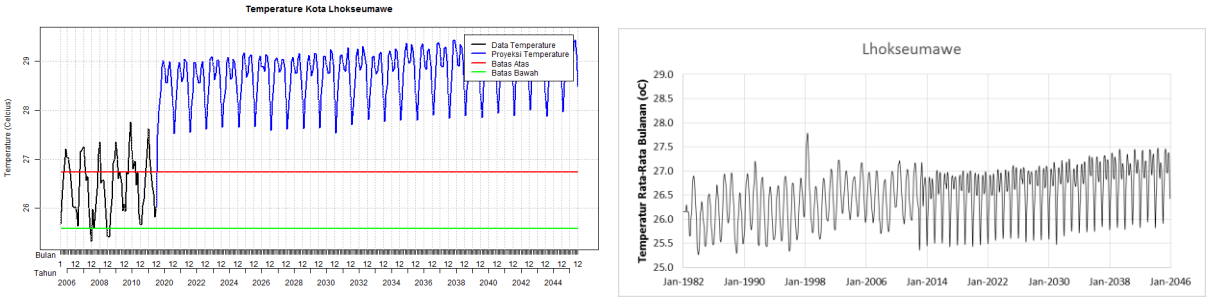


Gambar II. 7 Hasil prediksi jumlah kejadian (kiri) dan jumlah kematian (kanan) akibat penyakit DBD di Papua

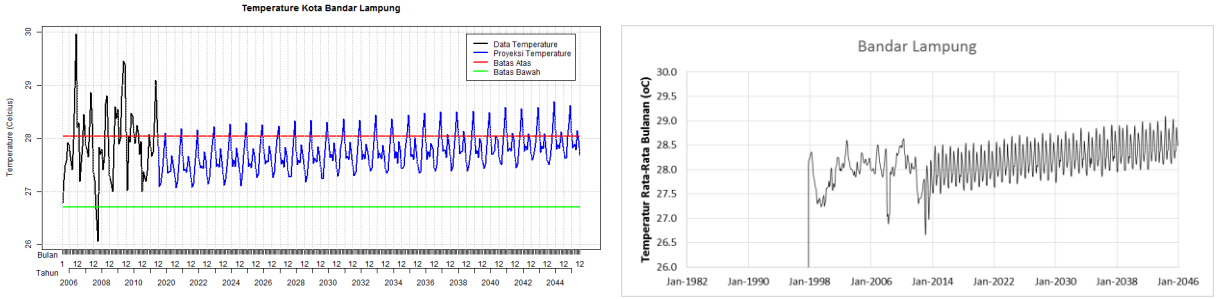
Lampiran 3 Data Temperatur Sebelum dan Setelah Bias Correction



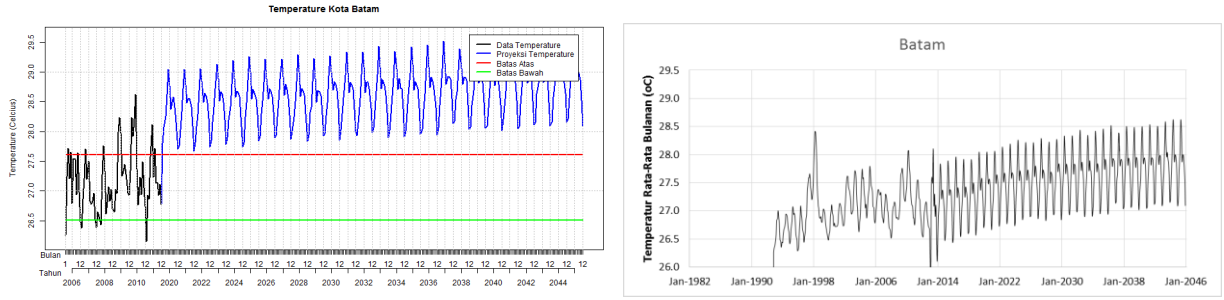
Gambar III.1 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction *di Banda Aceh*



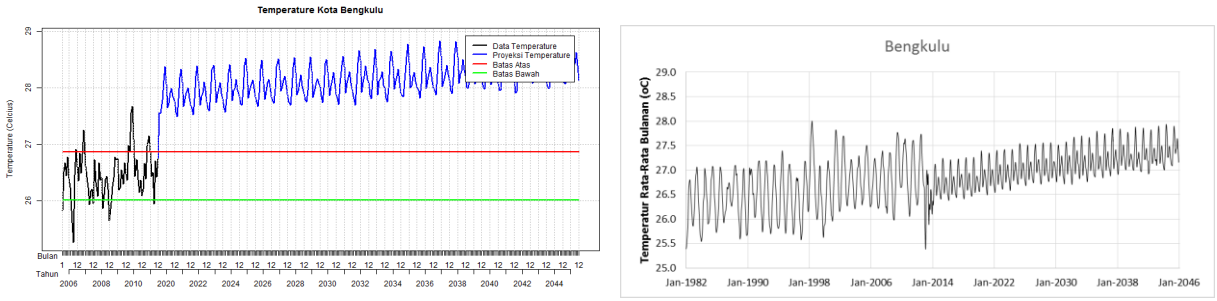
Gambar III.2 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction *di Lhoksumawe*



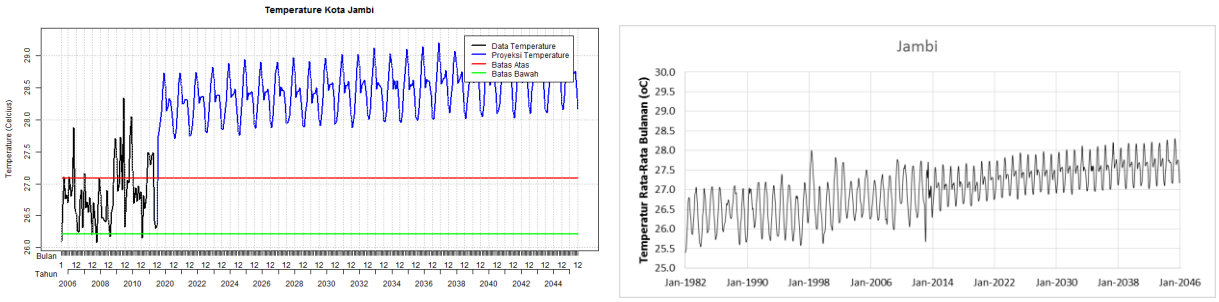
Gambar III.3 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction *di Bandar Lampung*



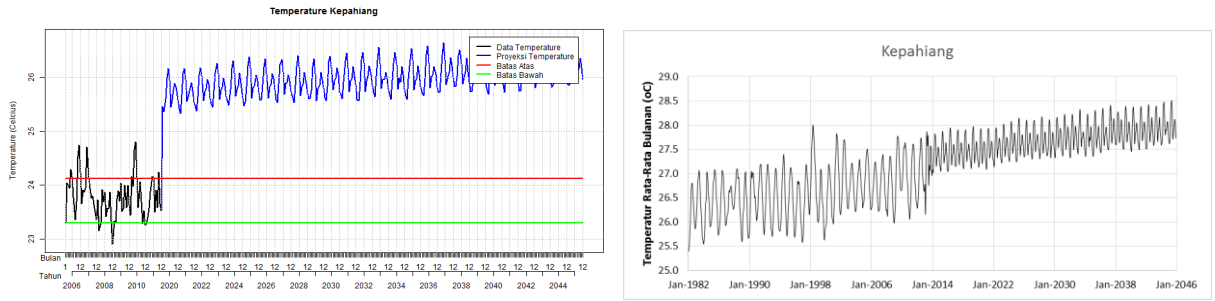
Gambar III.4 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction *di Batam*



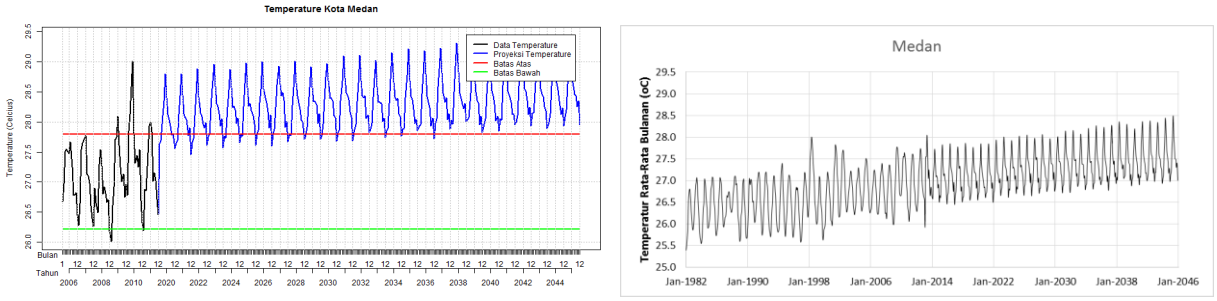
Gambar III.5 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Bengkulu



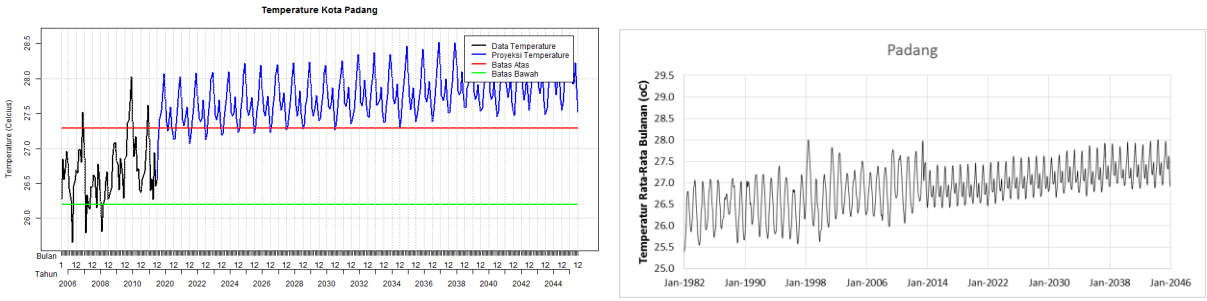
Gambar III.6 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Jambi



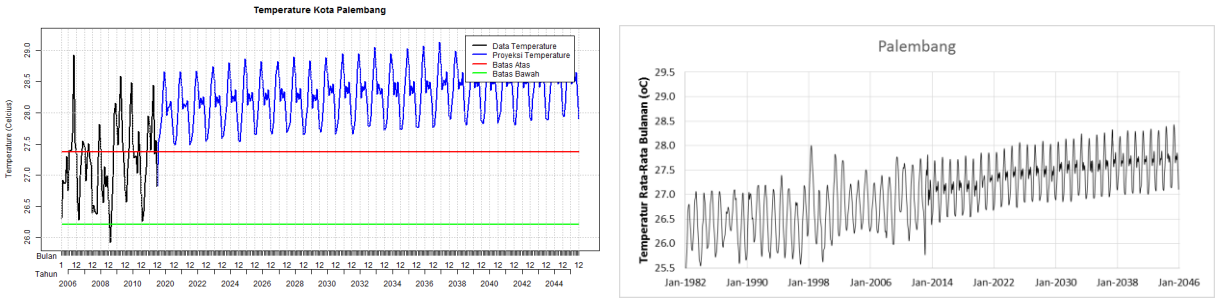
Gambar III.7 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kepahiang



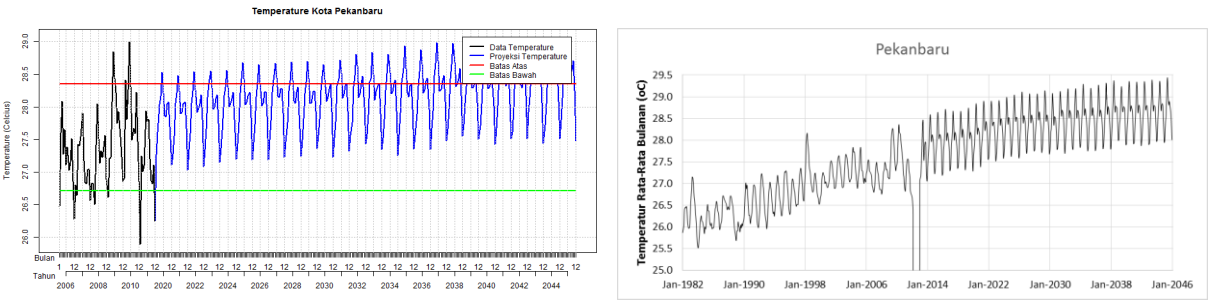
Gambar III.8 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Medan



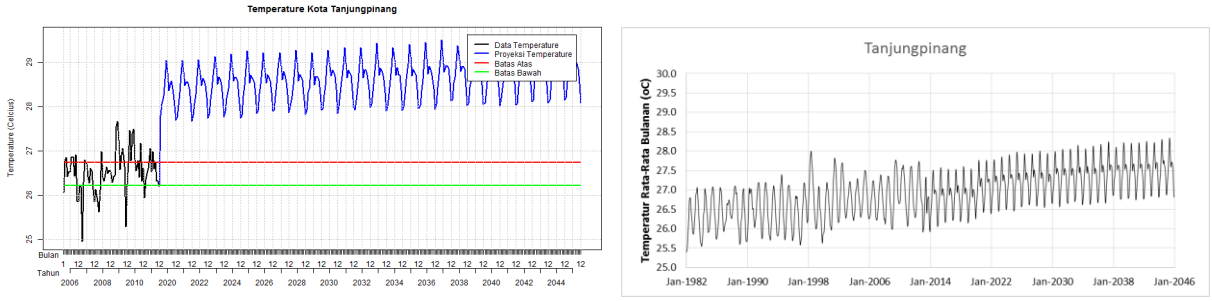
Gambar III.9 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Padang



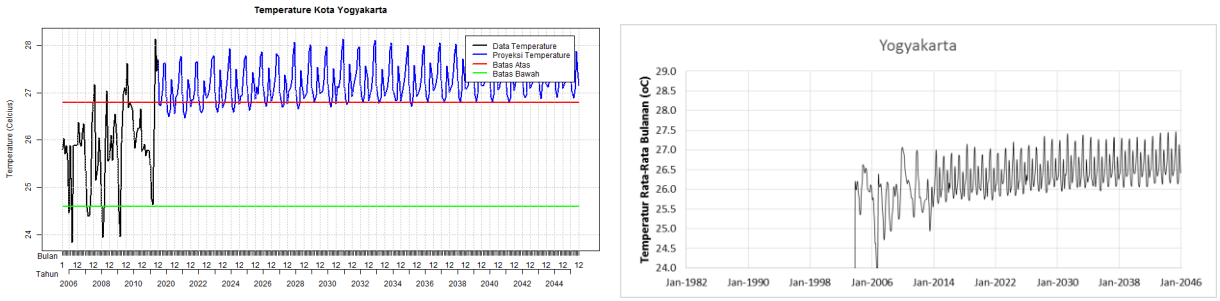
Gambar III.10 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Palembang



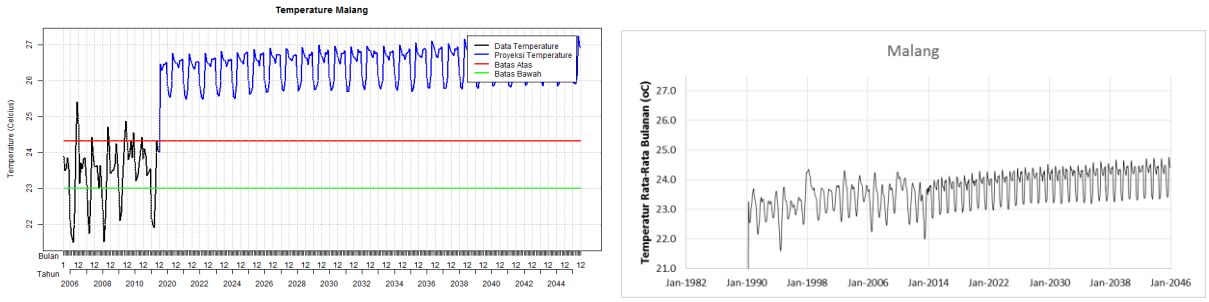
Gambar III.11 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Pekanbaru



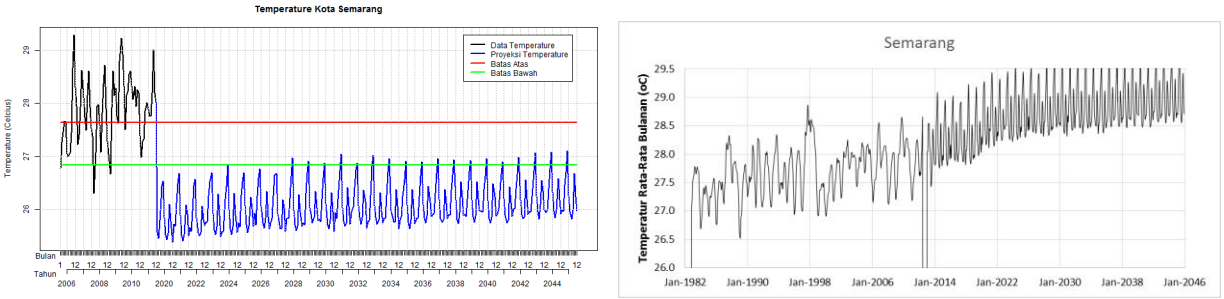
Gambar III.12 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Tanjung Pinang



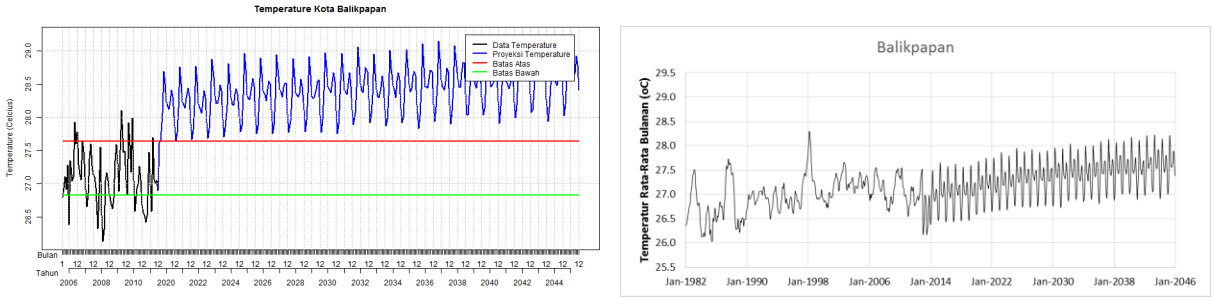
Gambar III.13 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Yogyakarta



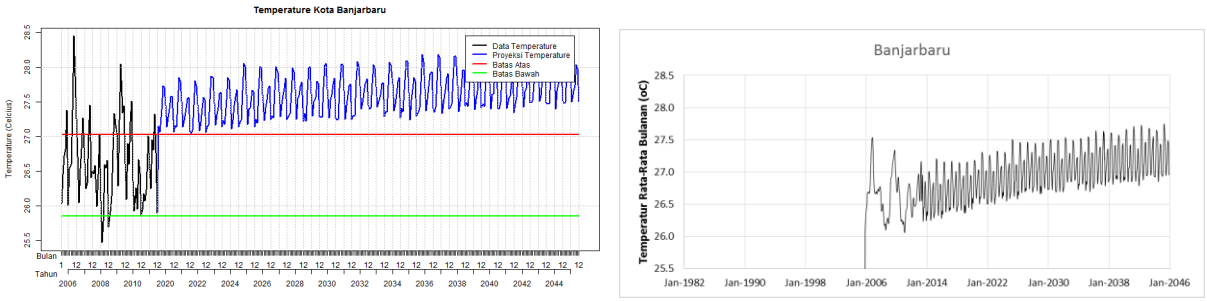
Gambar III.14 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Malang



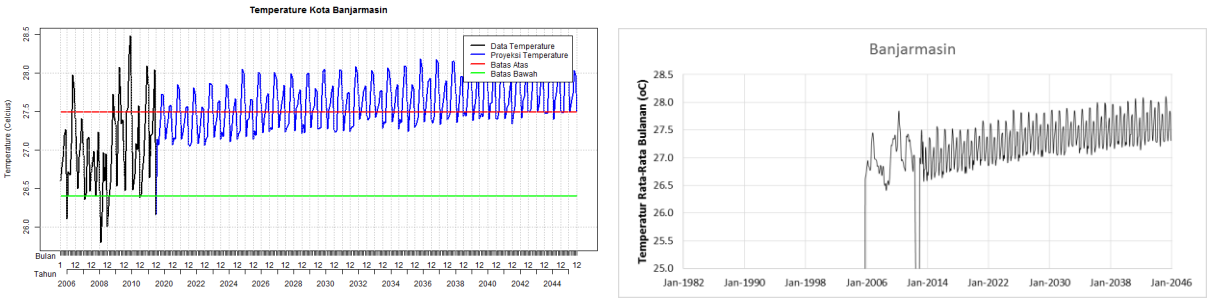
Gambar III.15 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Semarang



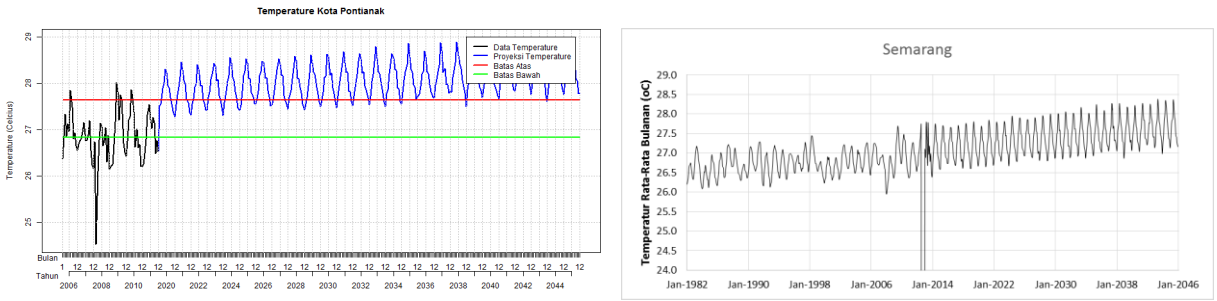
Gambar III.16 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Balikpapan



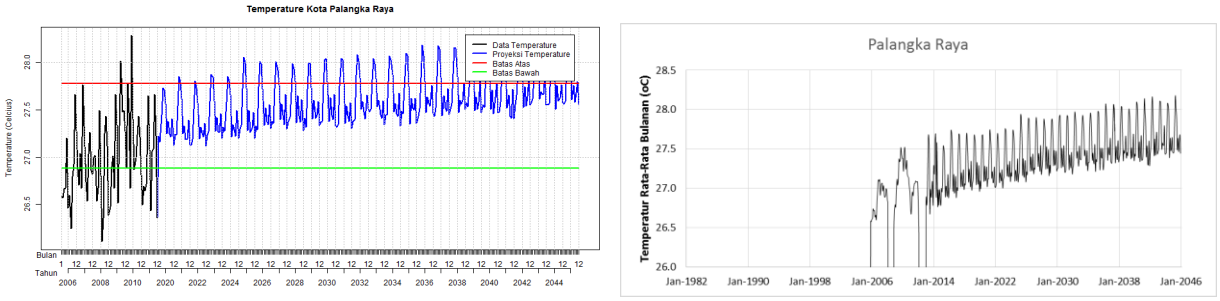
Gambar III.17 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Banjarbaru



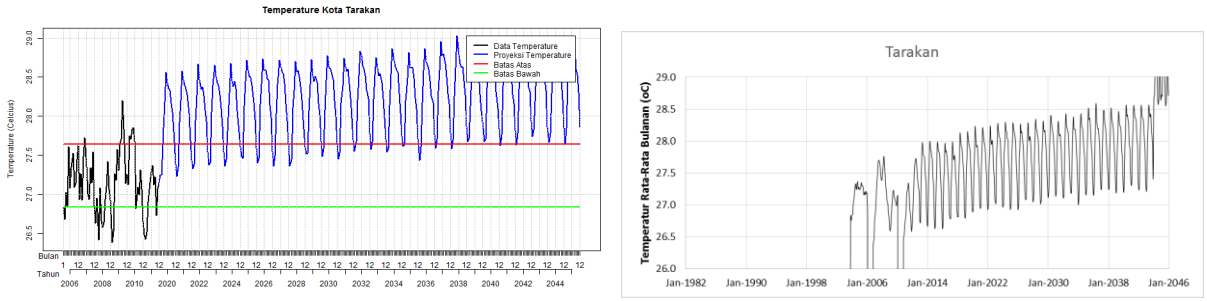
Gambar III.18 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Banjarmasin



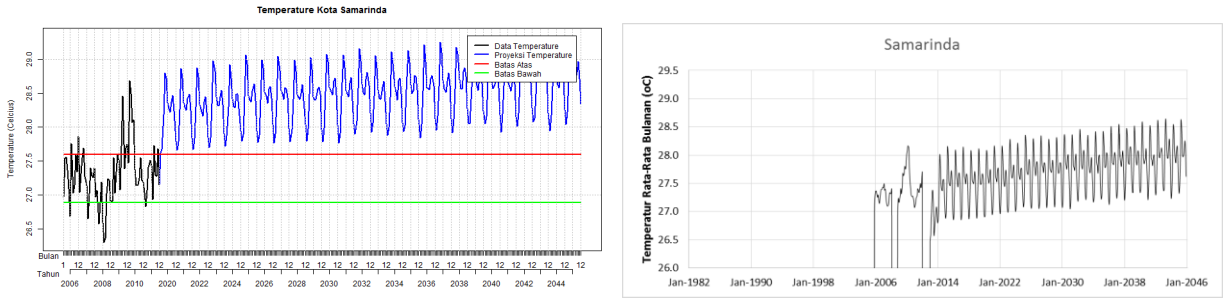
Gambar III.19 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Pontianak



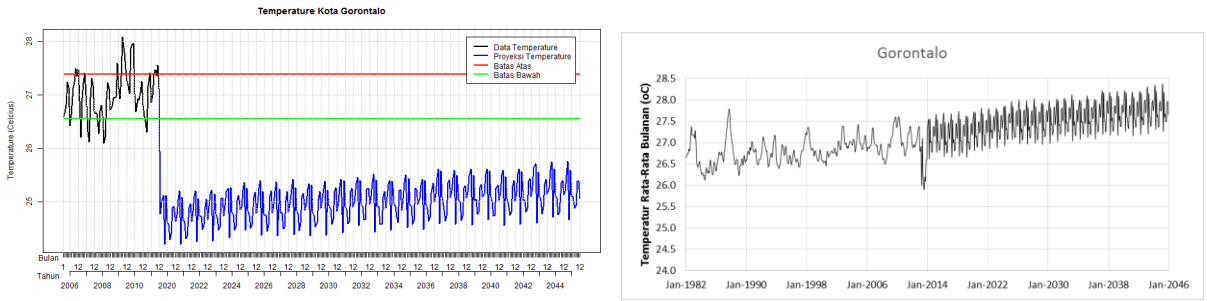
Gambar III.20 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Palangkaraya



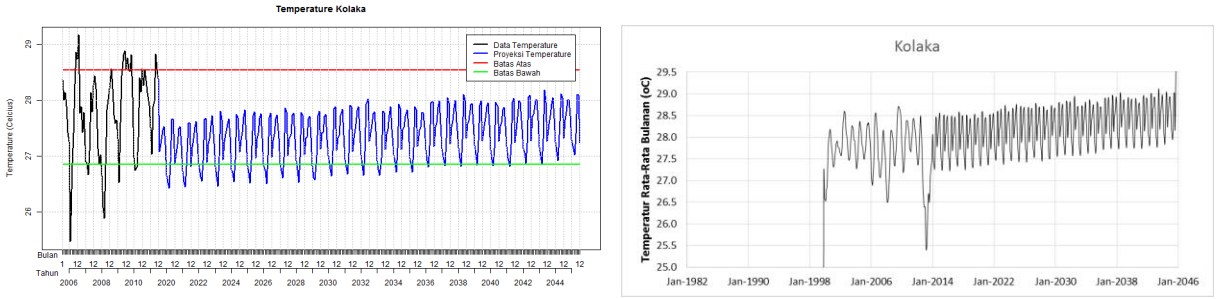
Gambar III.21 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Tarakan



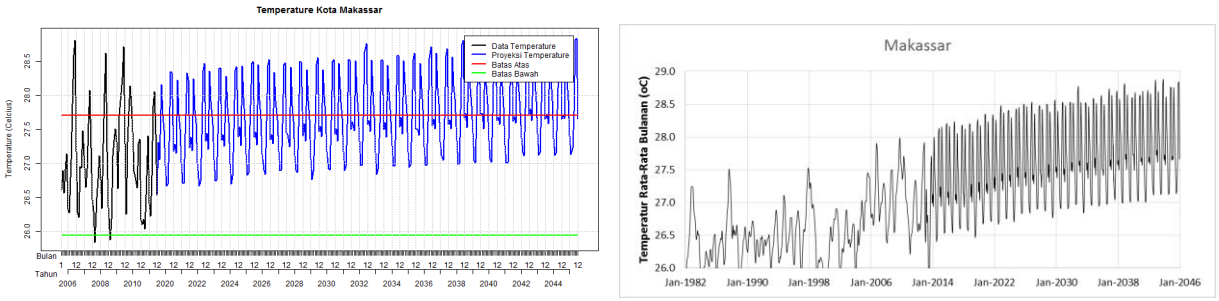
Gambar III.22 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Samarinda



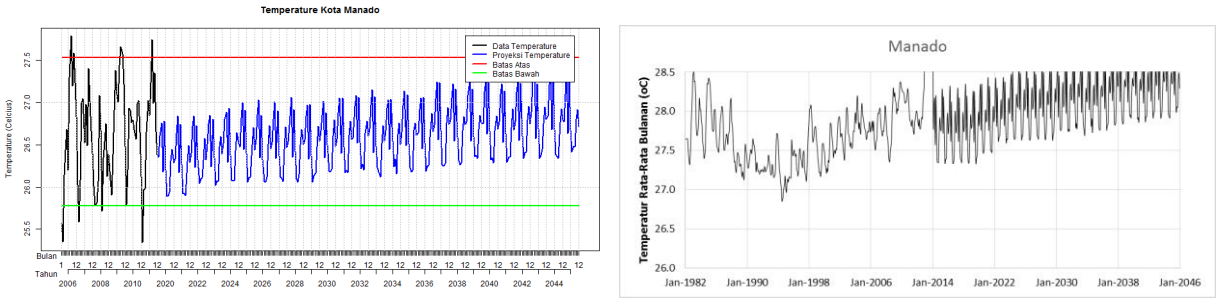
Gambar III.23 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Gorontalo



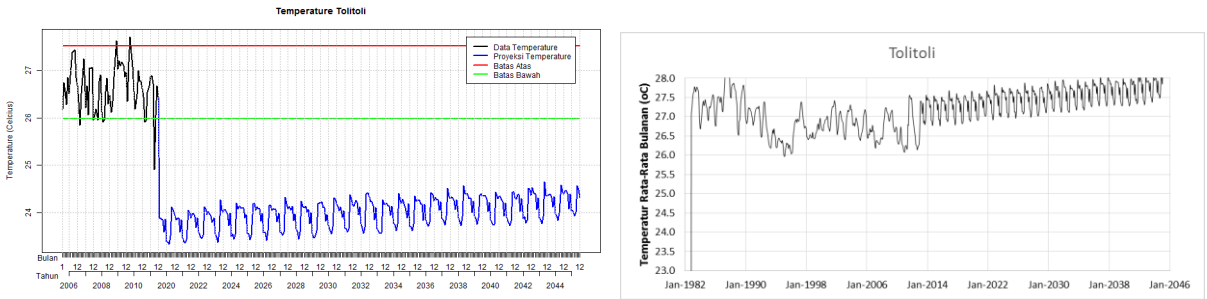
Gambar III.24 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kolaka



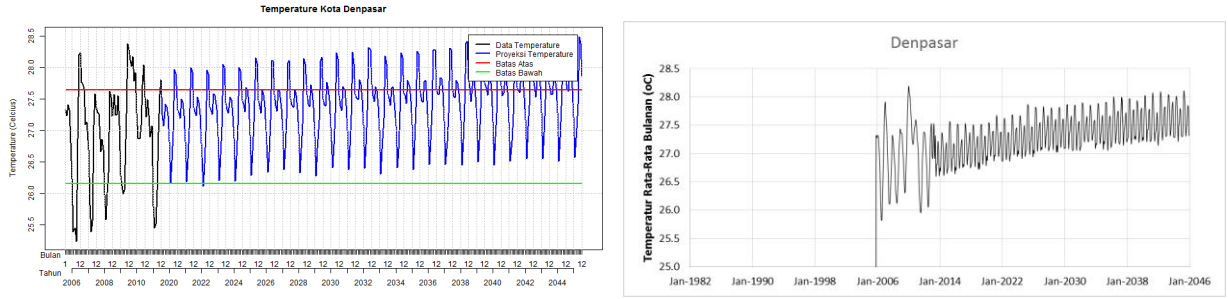
Gambar III.25 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Makassar



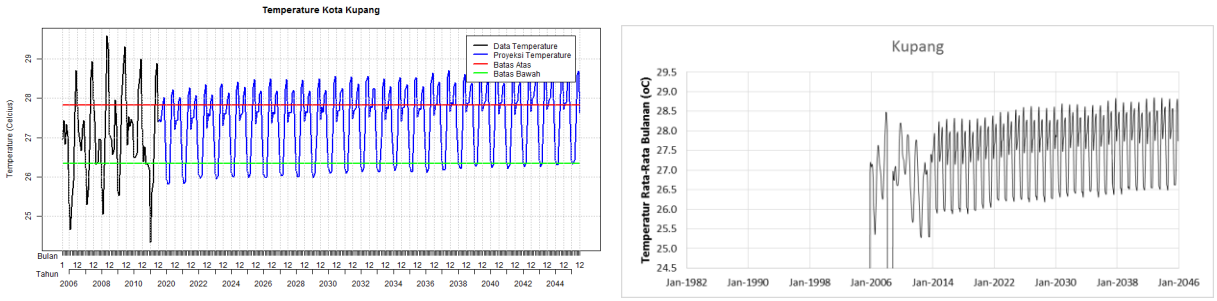
Gambar III.26 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Manado



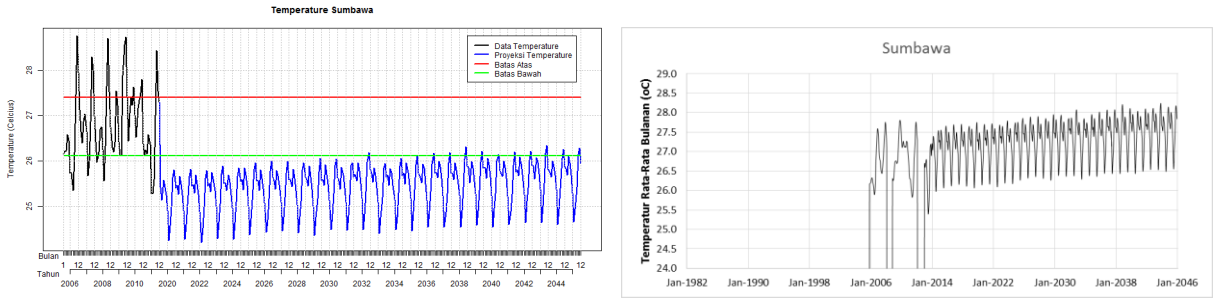
Gambar III.27 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Toli-toli



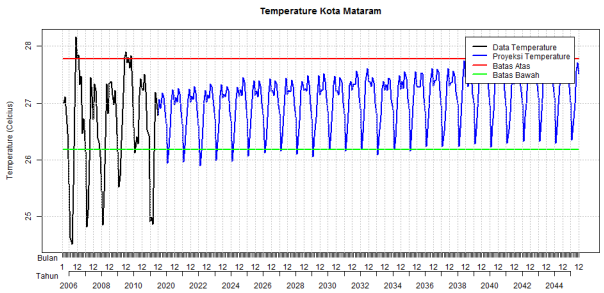
Gambar III.28 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Denpasar



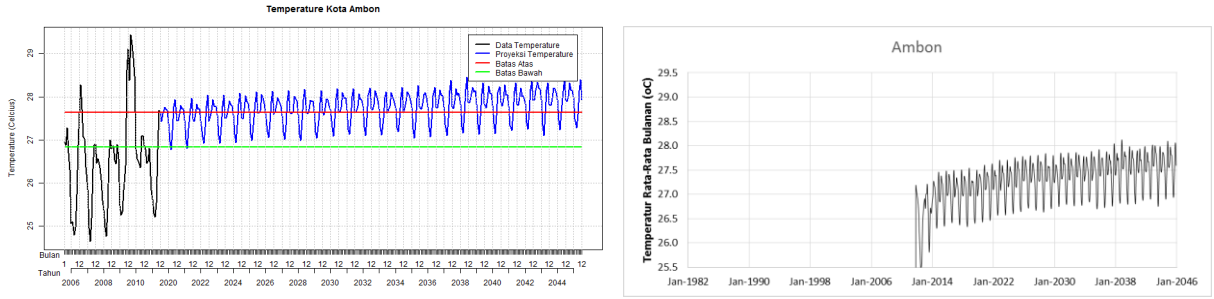
Gambar III.29 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kupang



Gambar III.30 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Sumbawa

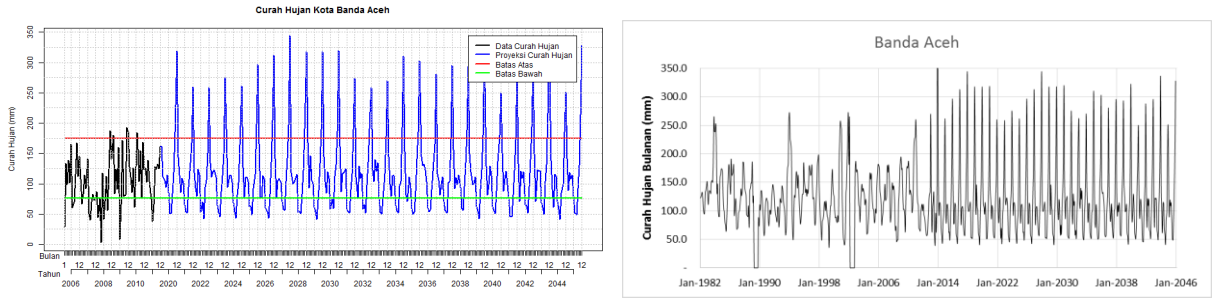


Gambar III.31 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Mataram

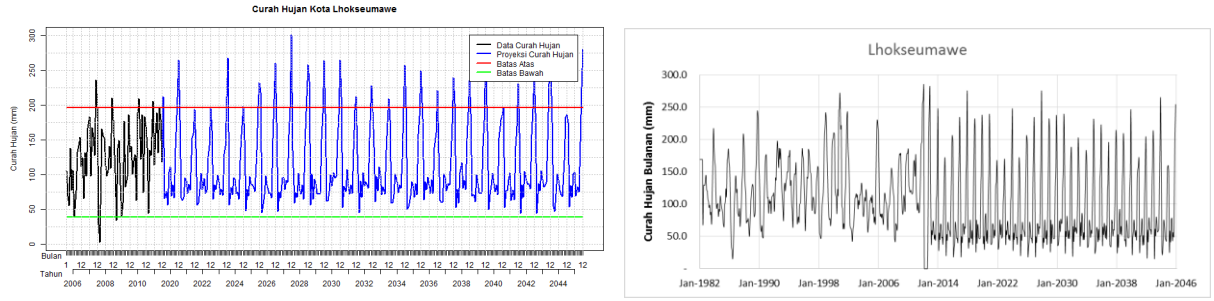


Gambar III.32 Kondisi Temperatur Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kota Ambon

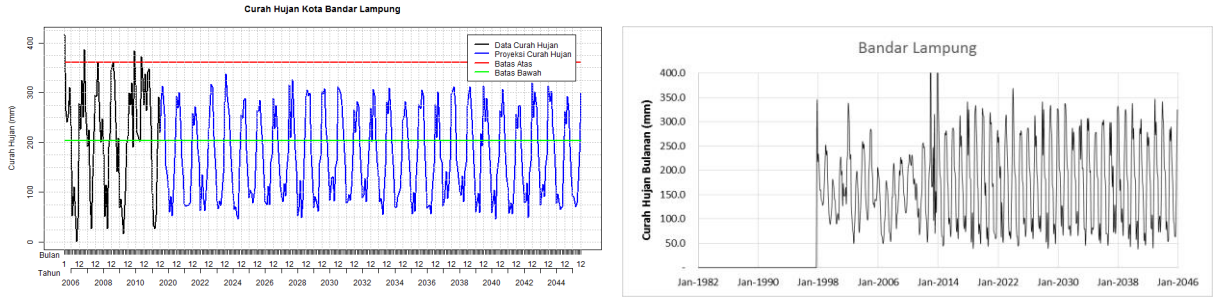
Lampiran 4 Data Curah Hujan Sebelum dan Sesudah Bias Correction



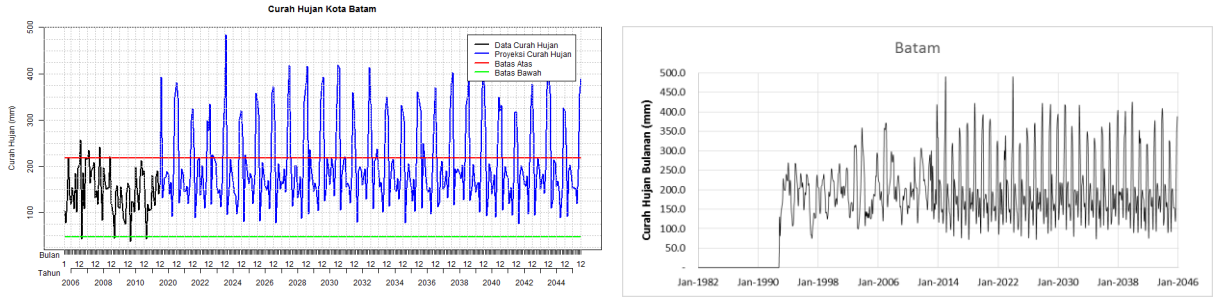
Gambar IV.1 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Banda Aceh



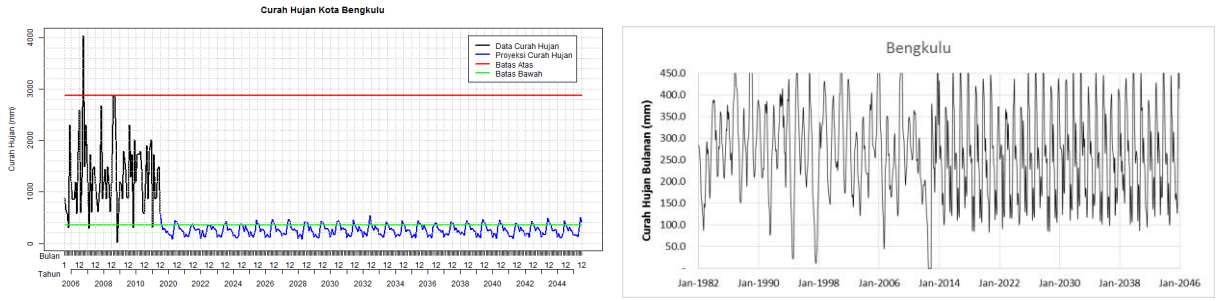
Gambar IV.2 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Lhoksumawe



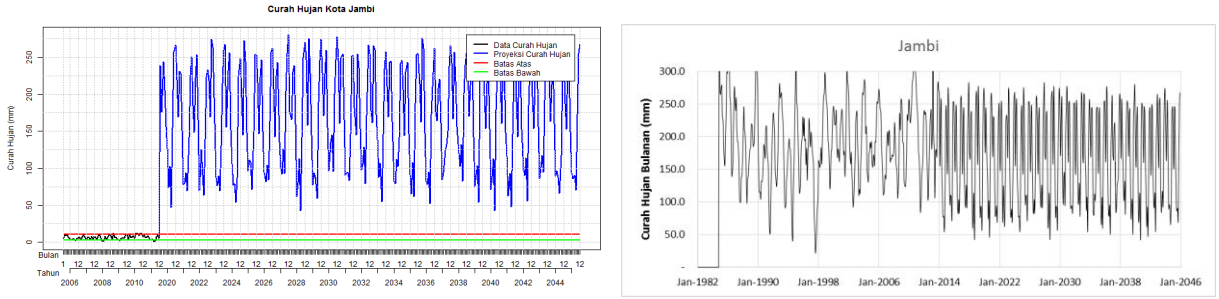
Gambar IV.3 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Bandar Lampung



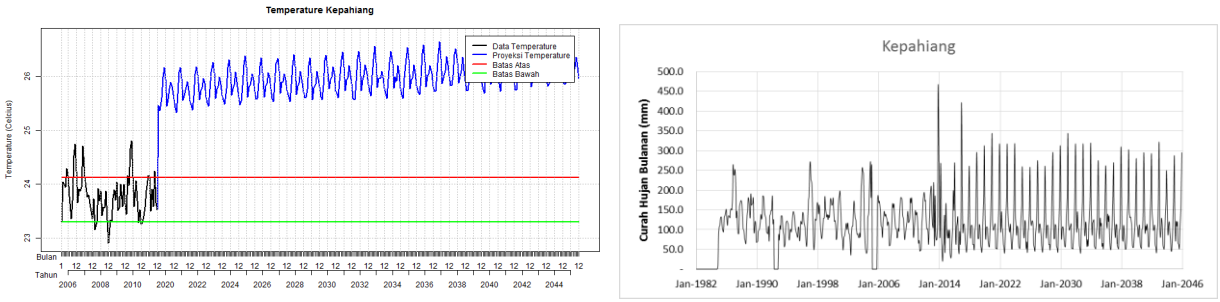
Gambar IV.4 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Batam



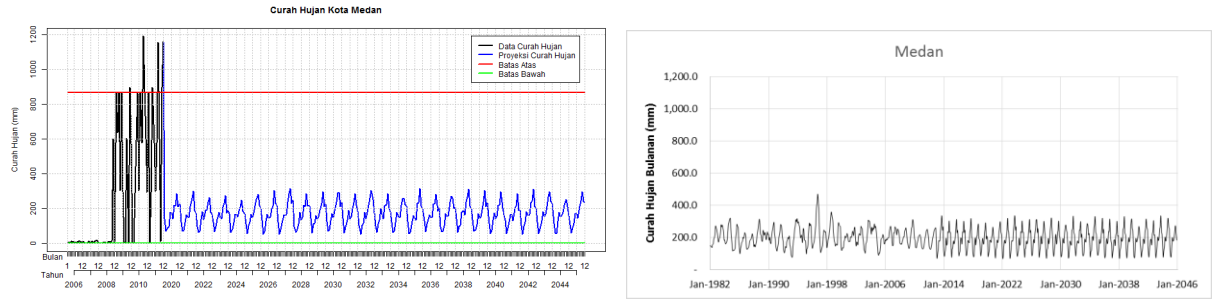
Gambar IV.5 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Bengkulu



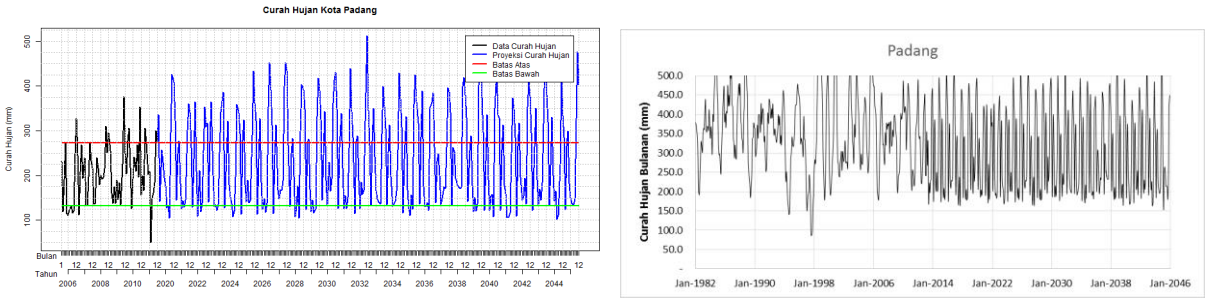
Gambar IV.6 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Jambi



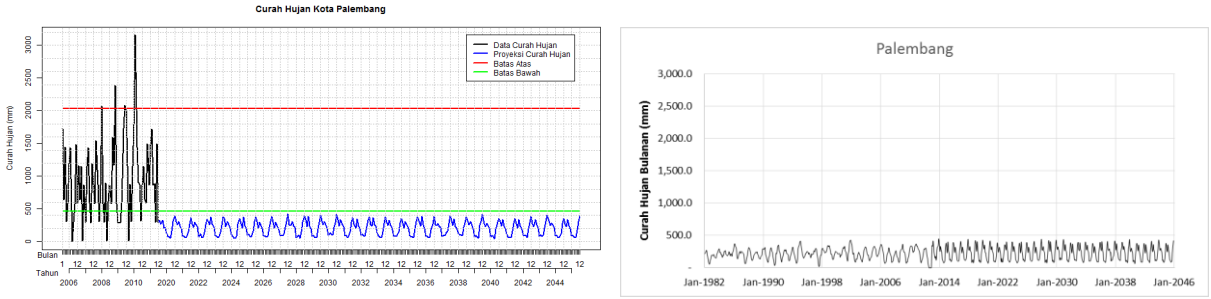
Gambar IV.7 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kepahiang



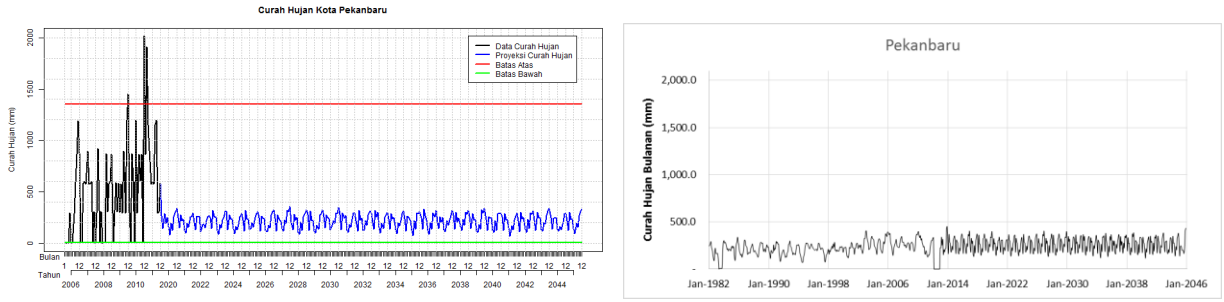
Gambar IV.8 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Medan



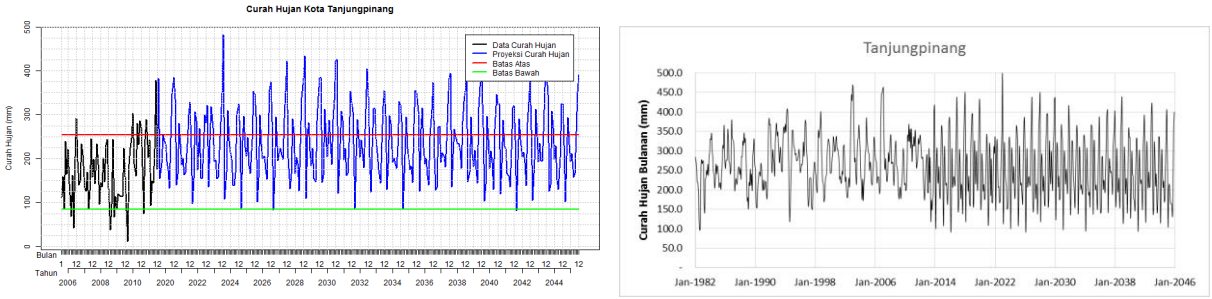
Gambar IV.9 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Padang



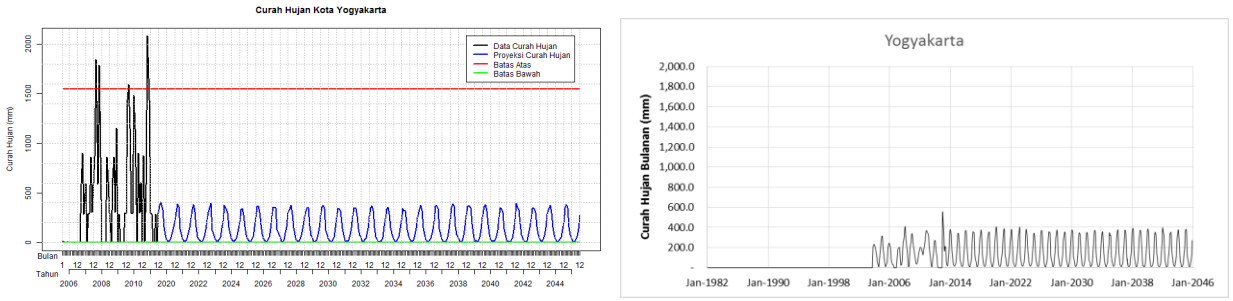
Gambar IV.10 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Palembang



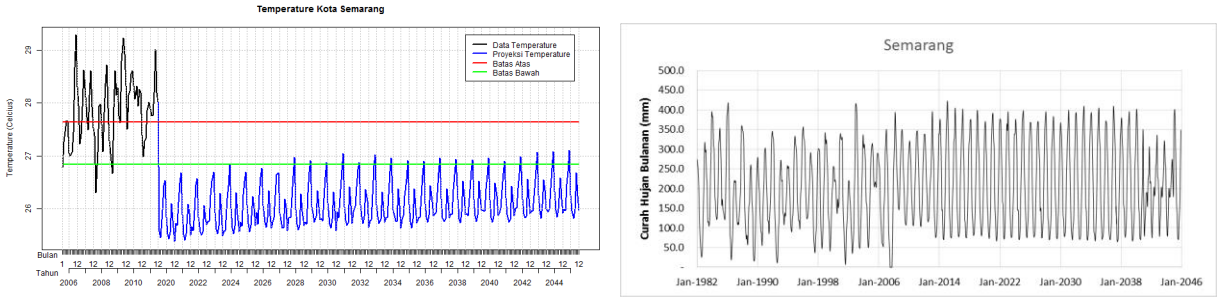
Gambar IV.11 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Pekanbaru



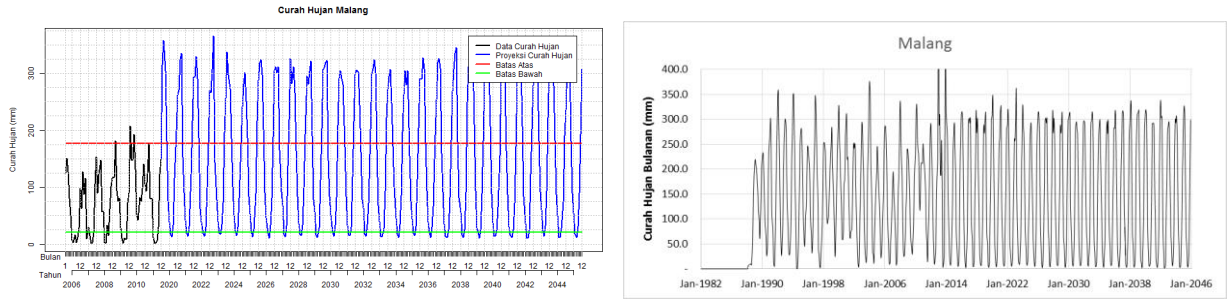
Gambar IV.12 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Tanjung Pinang



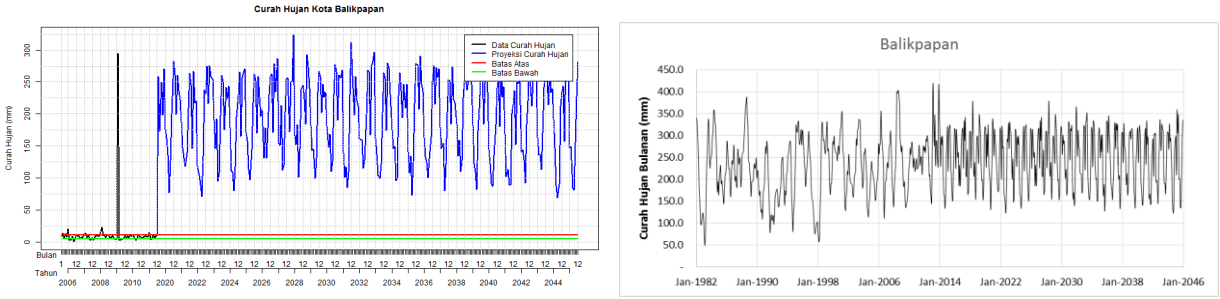
Gambar IV.13 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Yogyakarta



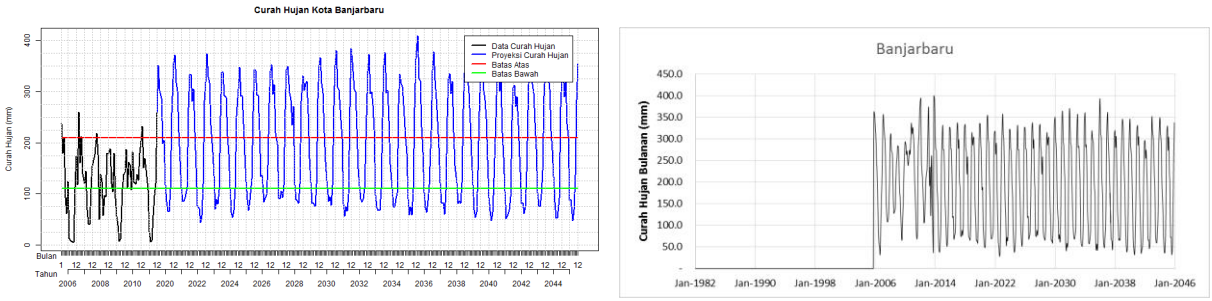
Gambar IV.14 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Semarang



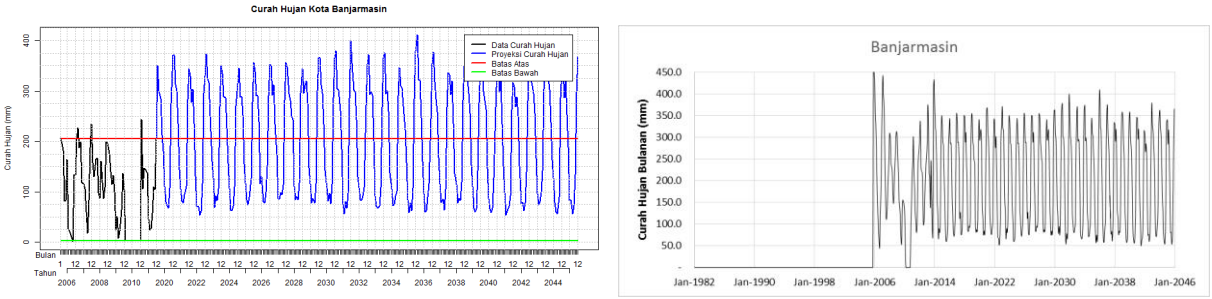
Gambar IV.15 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Malang



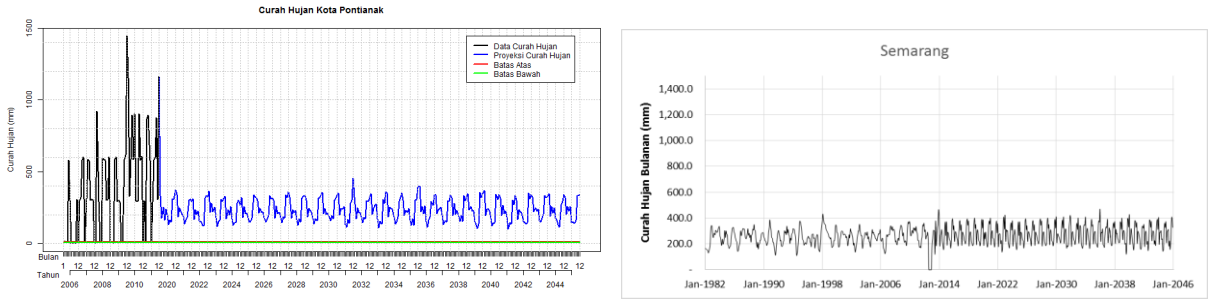
Gambar IV.16 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Balikpapan



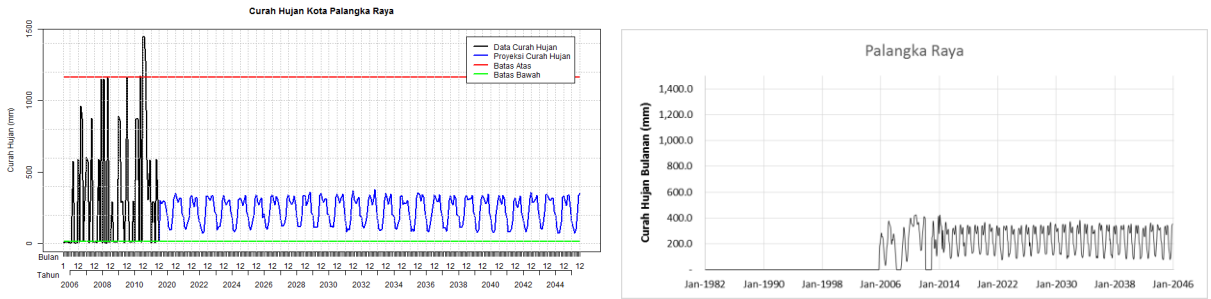
Gambar IV.17 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Banjarbaru



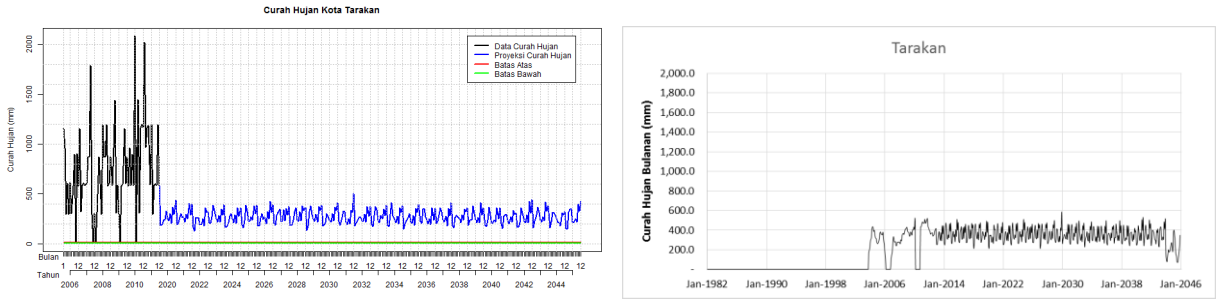
Gambar IV.18 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Banjarmasin



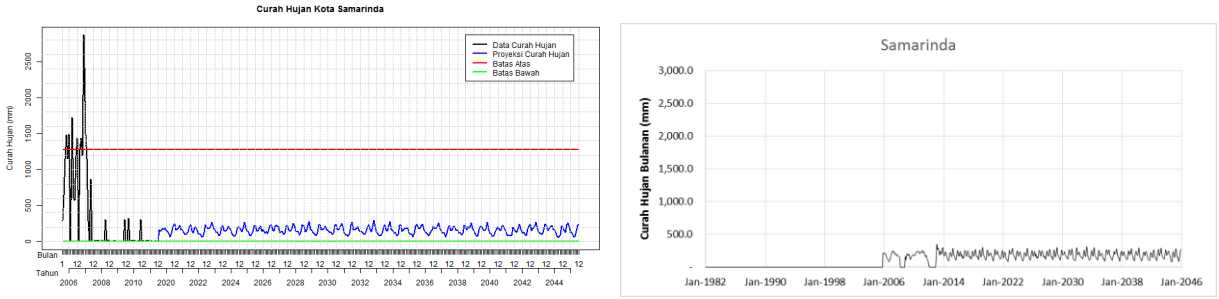
Gambar IV.19 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Pontianak



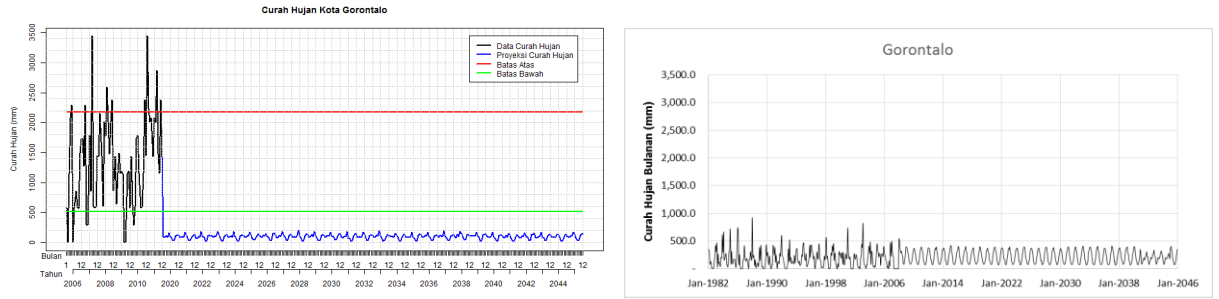
Gambar IV.20 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Palangkaraya



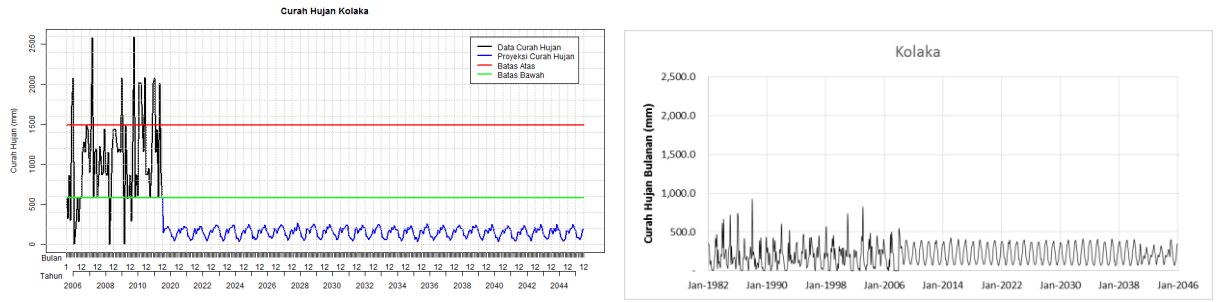
Gambar IV.21 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Tarakan



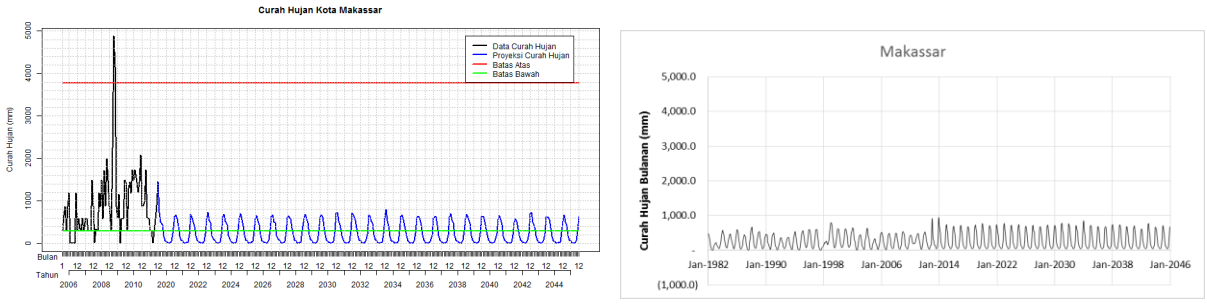
Gambar IV.22 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Samarinda



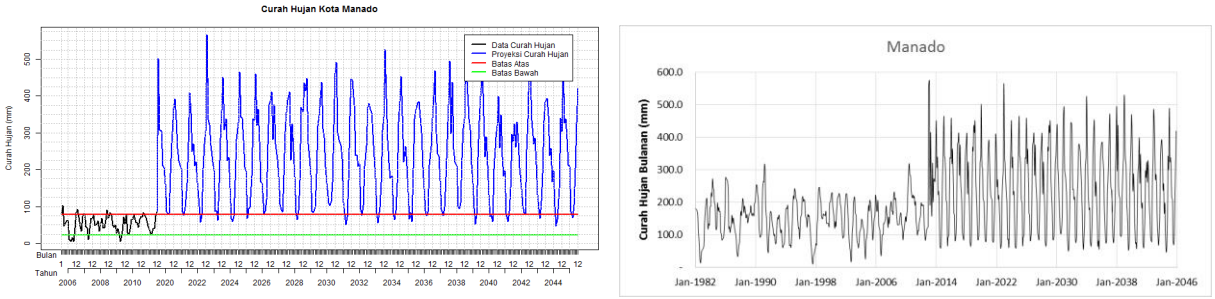
Gambar IV.23 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Gorontalo



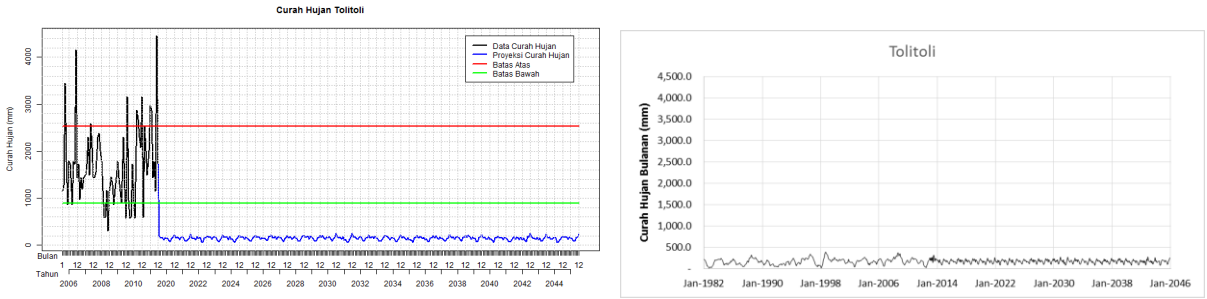
Gambar IV.24 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kolaka



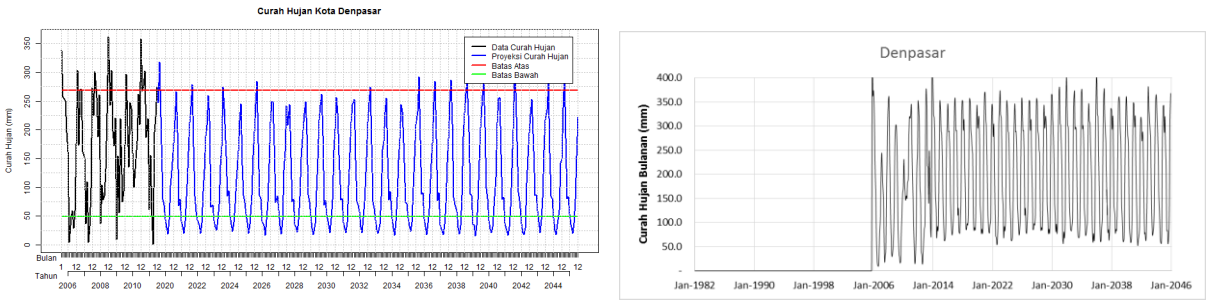
Gambar IV.25 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Makassar



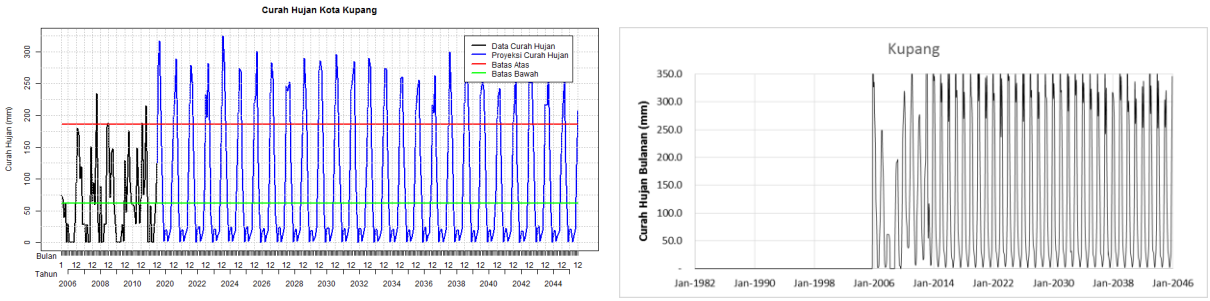
Gambar IV.26 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Manado



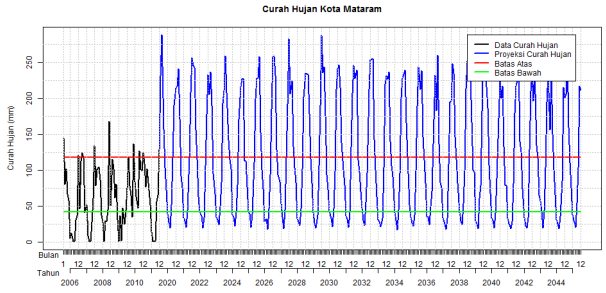
Gambar IV.27 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Toli-toli



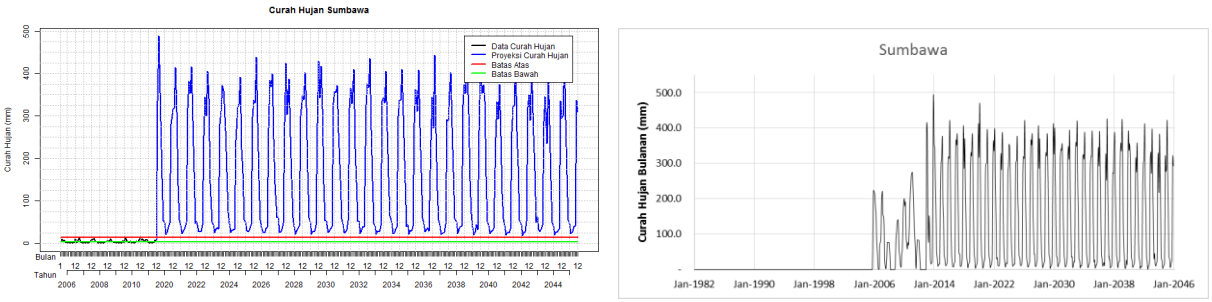
Gambar IV.28 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Denpasar



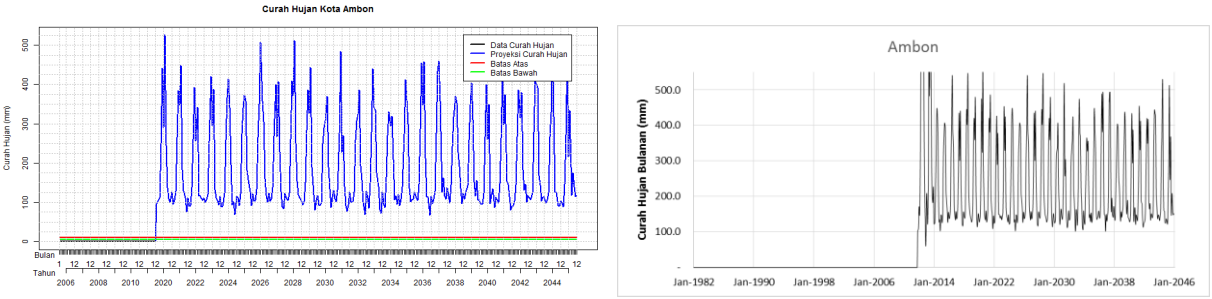
Gambar IV.29 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kupang



Gambar IV.30 Kondisi Curah Hujan Sebelum Bias Correction di Mataram

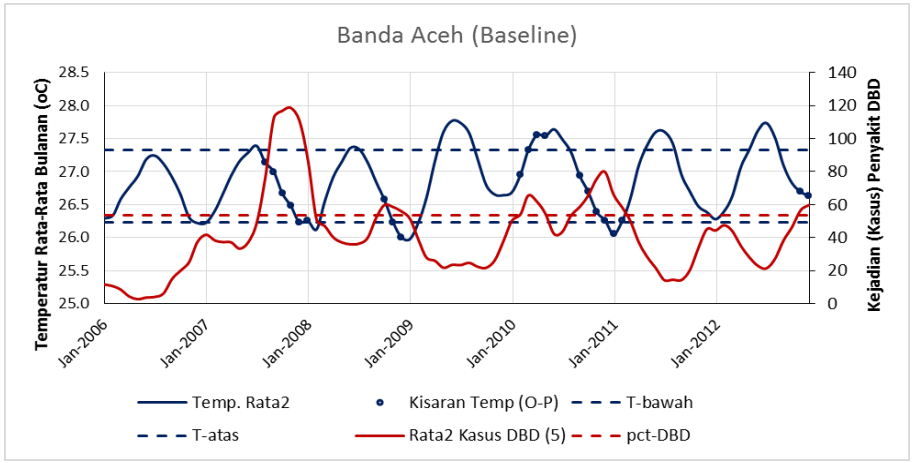


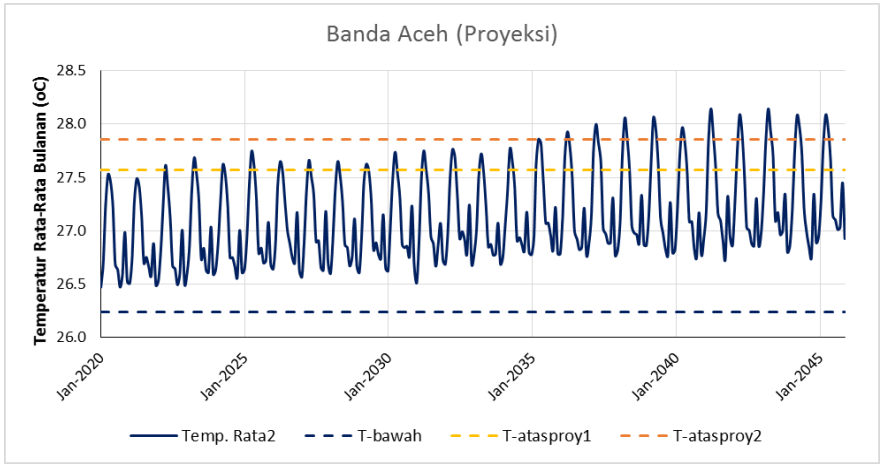
Gambar IV.31 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Sumbawa



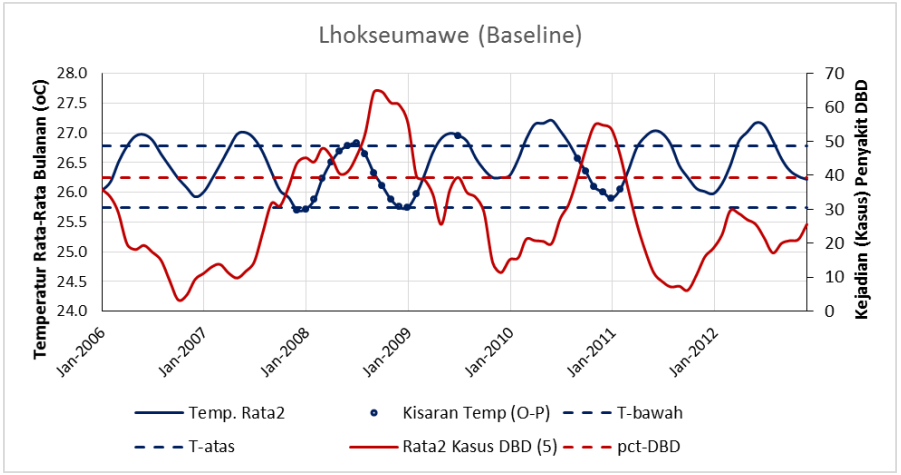
Gambar IV.32 Kondisi Curah Hujan Sebelum (Kiri) dan Sesudah (Kanan) Bias Correction di Kota Ambon

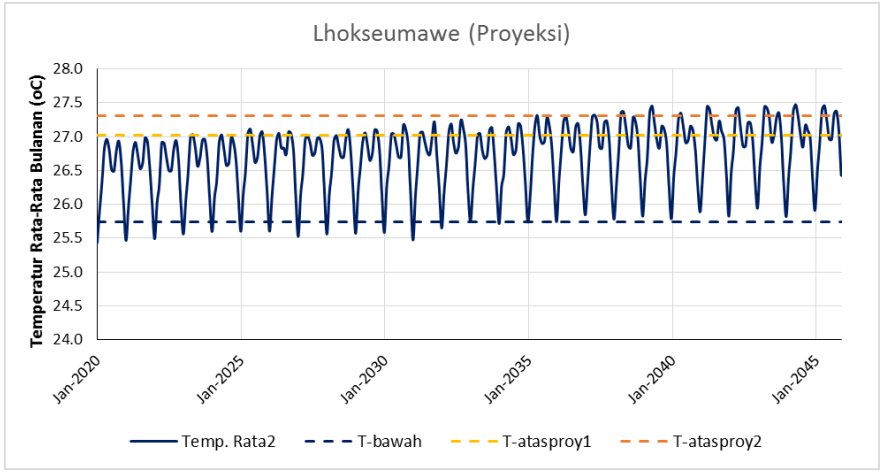
Lampiran 5 Identifikasi Kisaran Temperatur Terhadap Kejadian Penyakit DBD



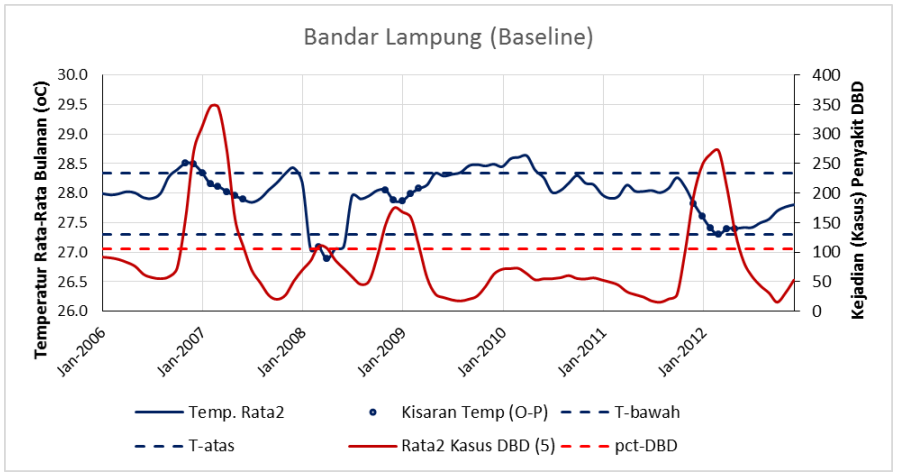


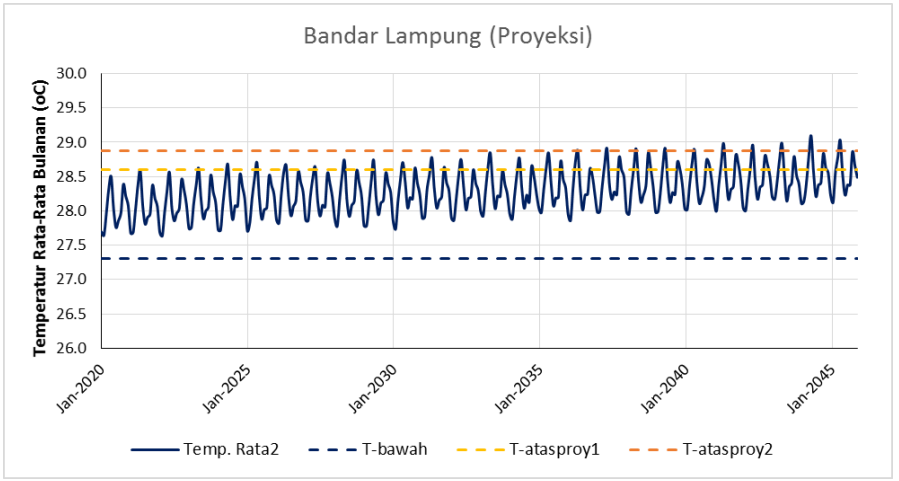
Gambar V.1 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Banda Aceh waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



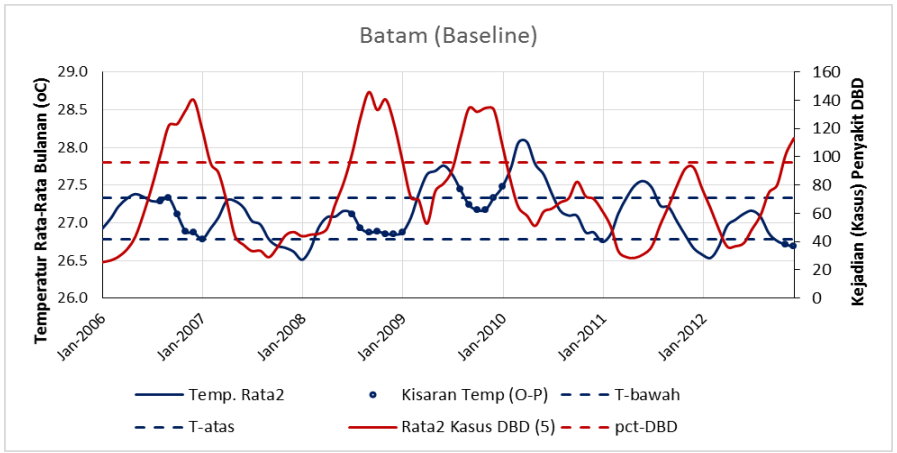


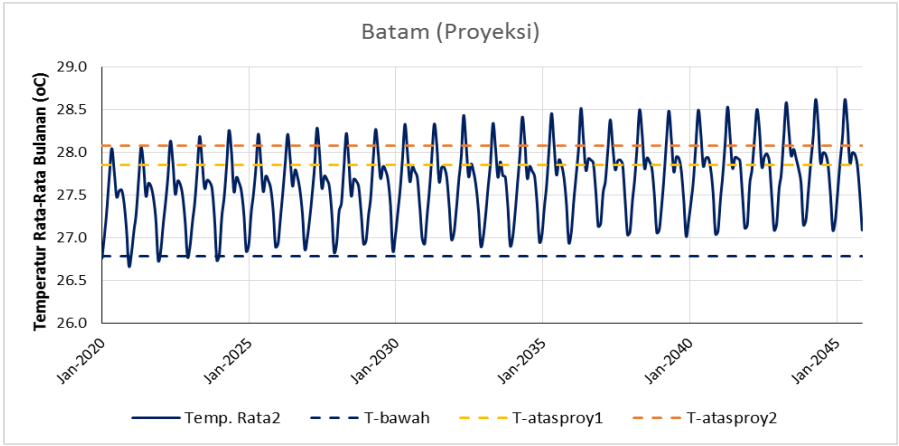
Gambar V.2 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Lhokseumawe waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



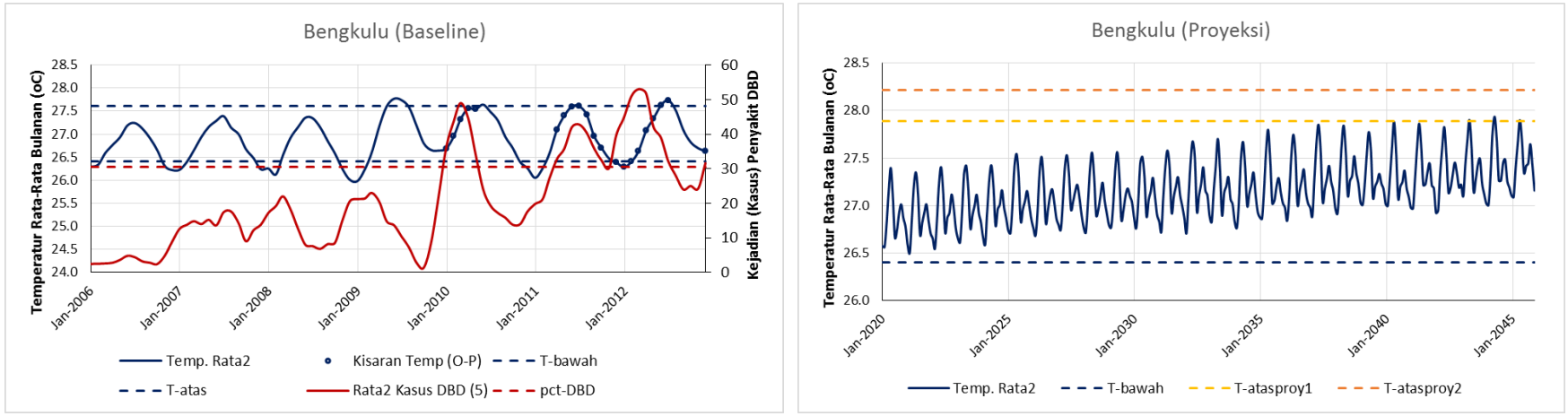


Gambar V.3 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Bandar Lampung waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

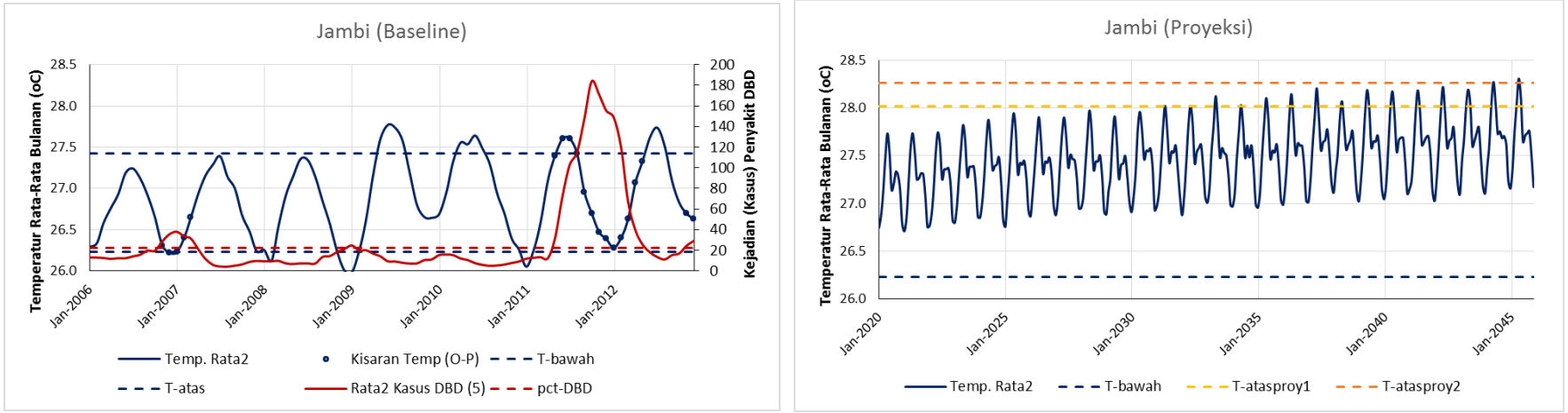




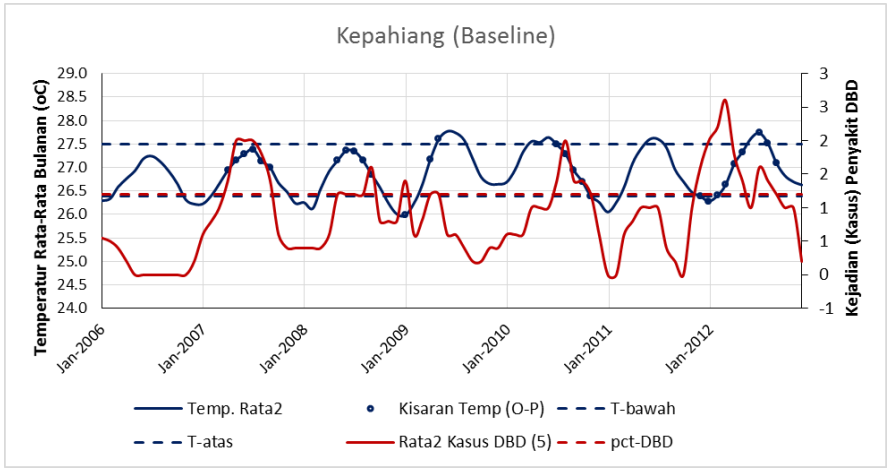
Gambar V.4 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Batam waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

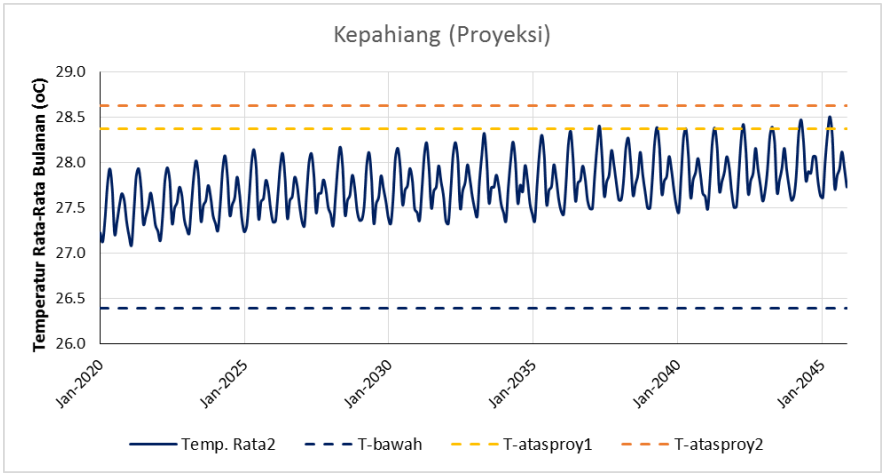


Gambar V.5 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Bengkulu waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

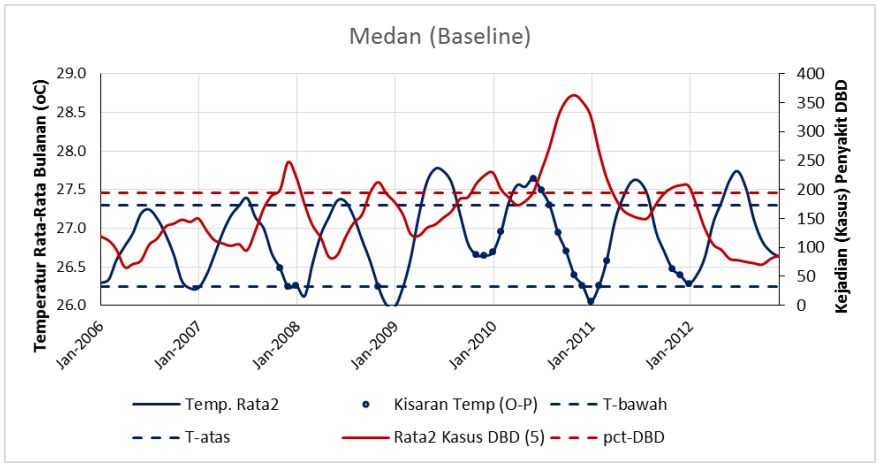


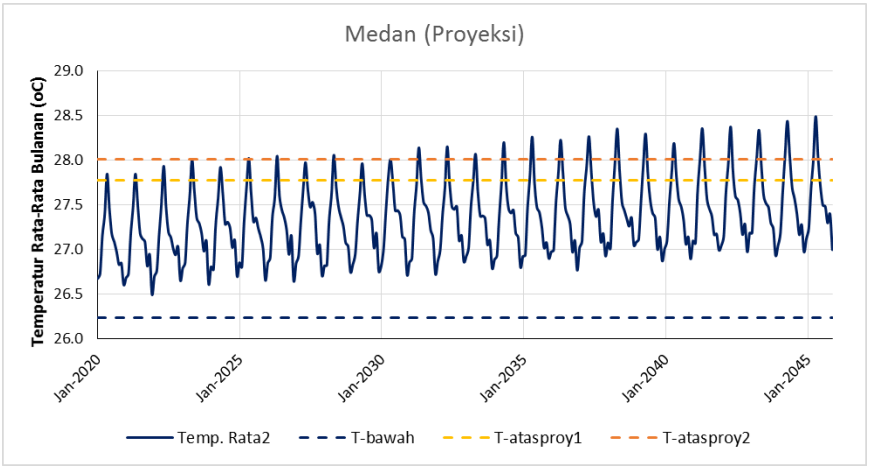
Gambar V.6 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Jambi waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



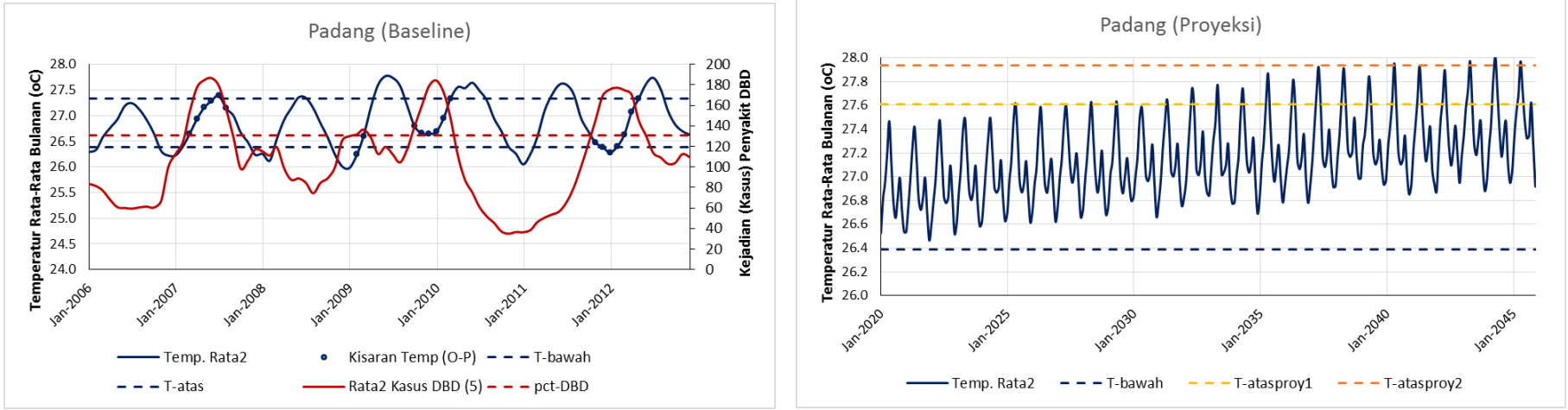


Gambar V.7 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Kepahiang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

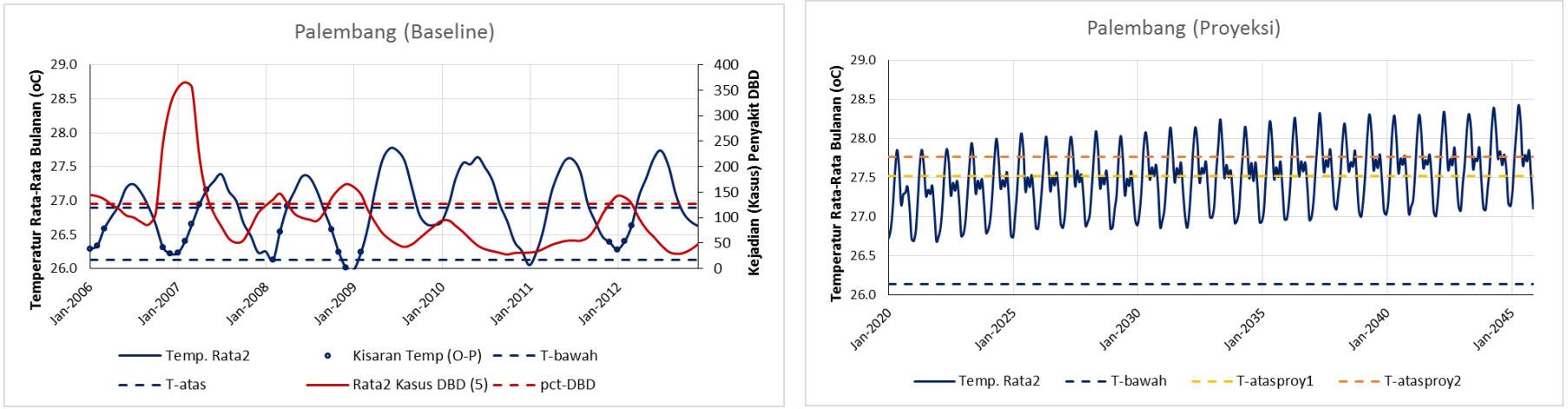




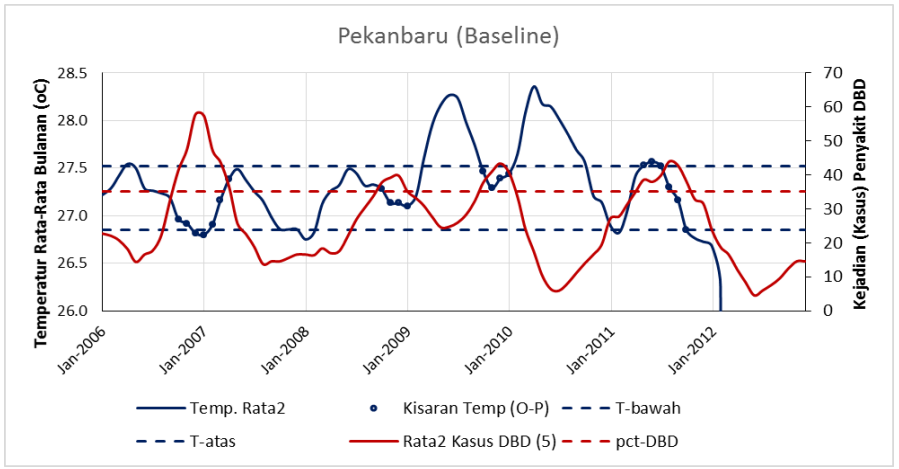
Gambar V.8 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Medan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

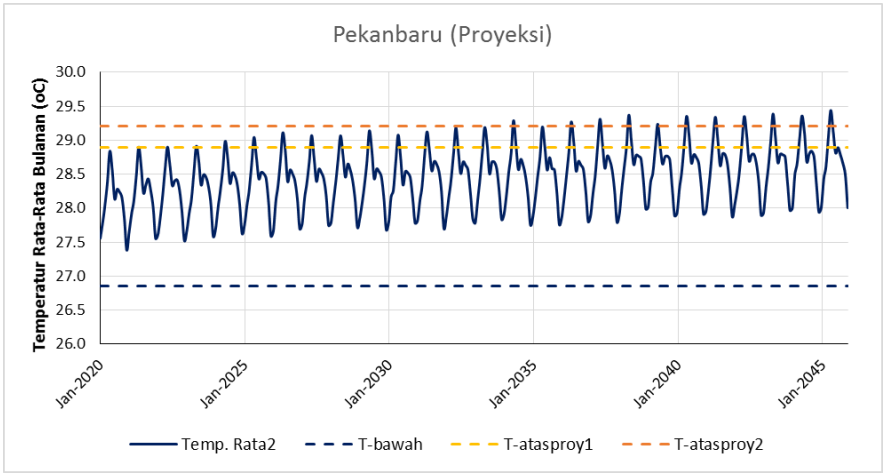


Gambar V.9 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Padang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

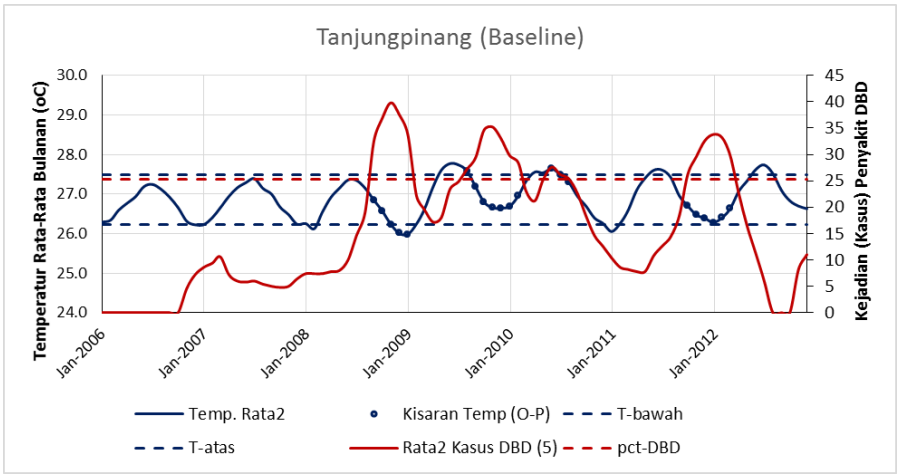


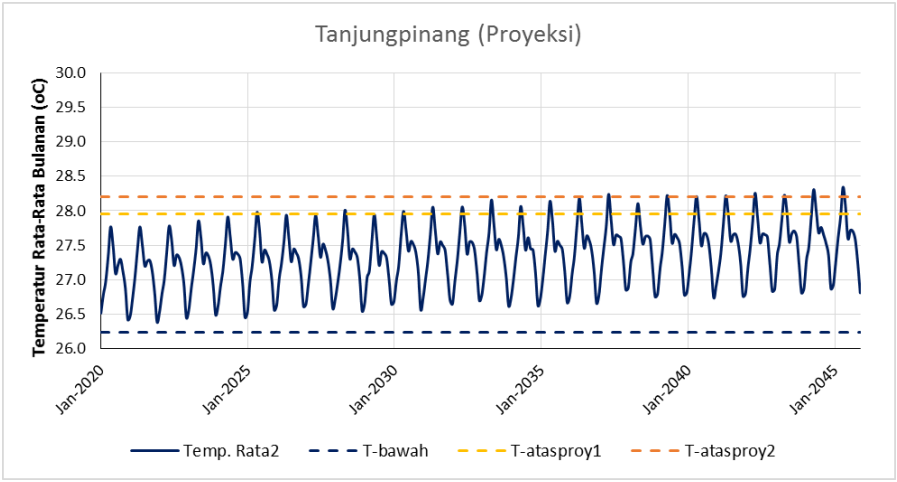
Gambar V.10 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Palembang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



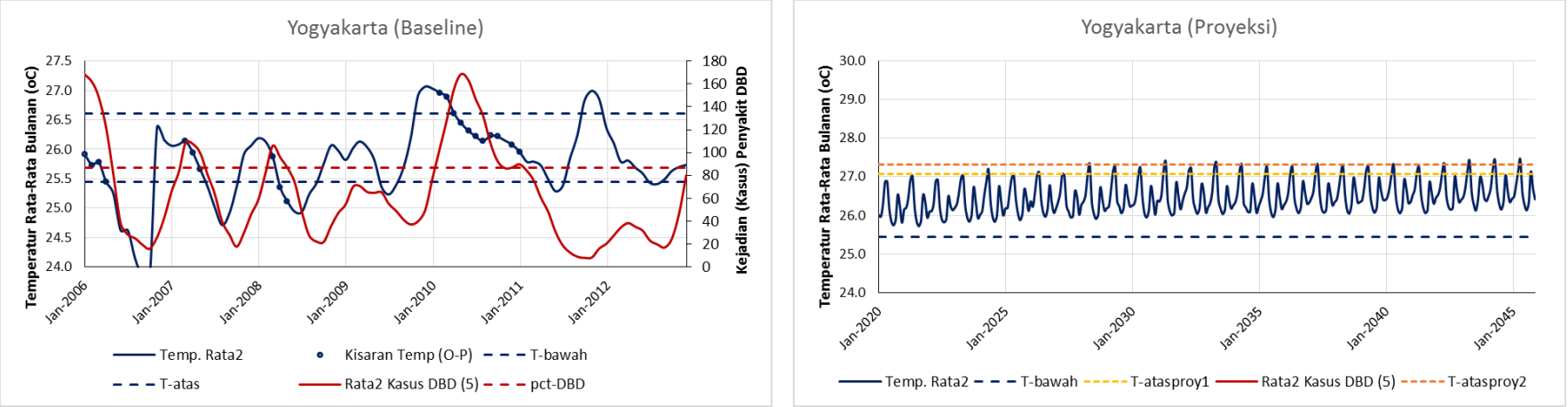


Gambar V.11 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Pekanbaru waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

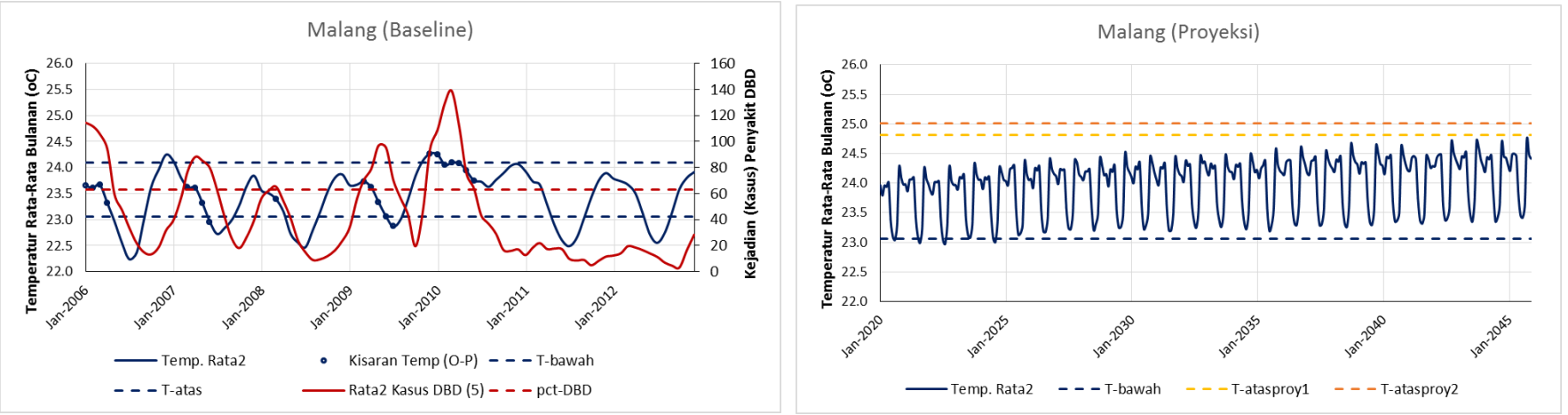




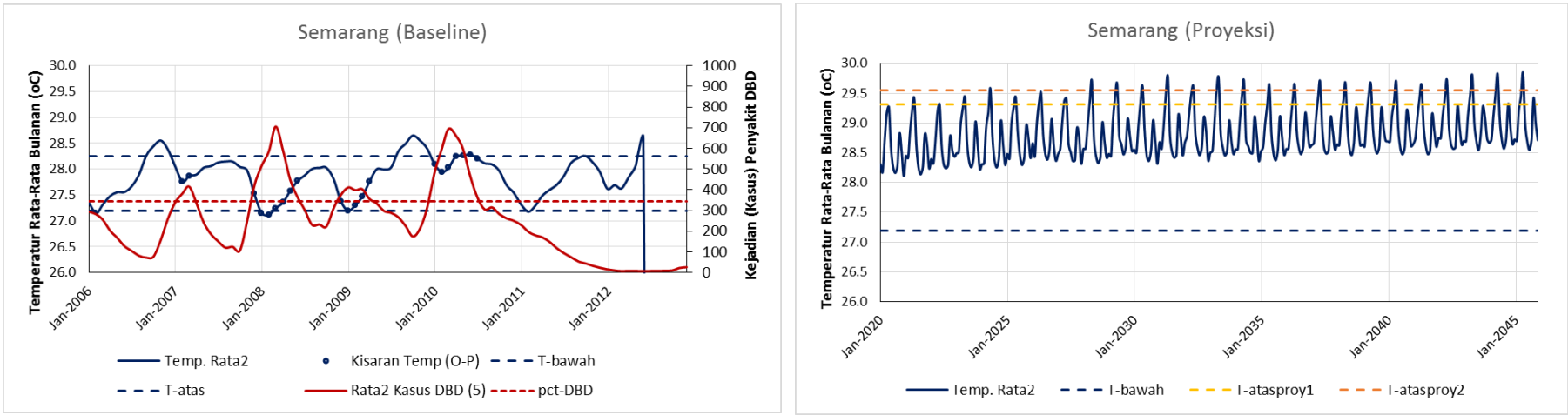
Gambar V.12 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Tanjung Pinang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



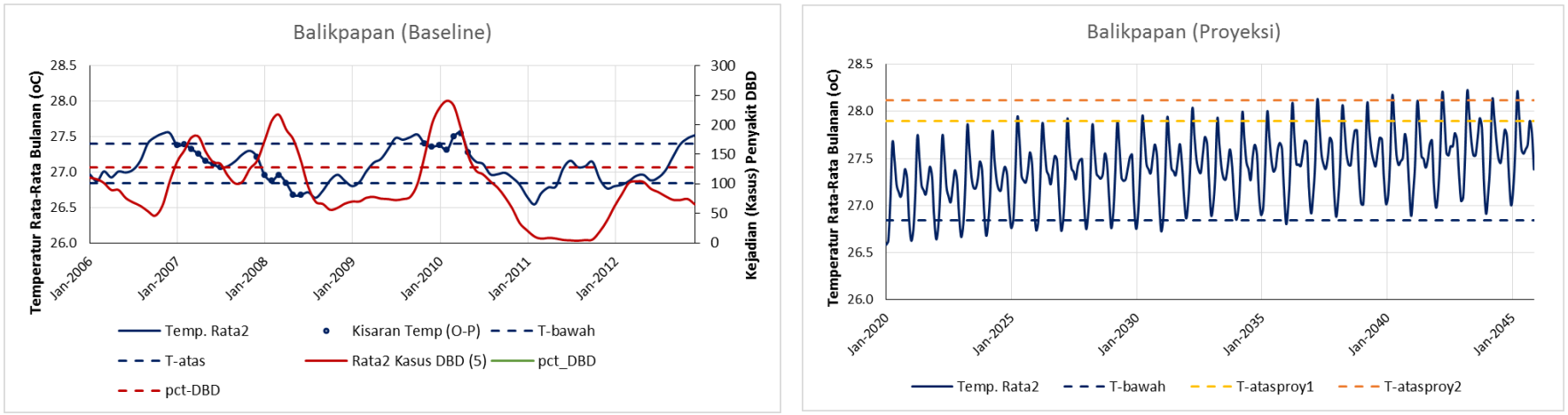
Gambar V.13 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Yogyakarta waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



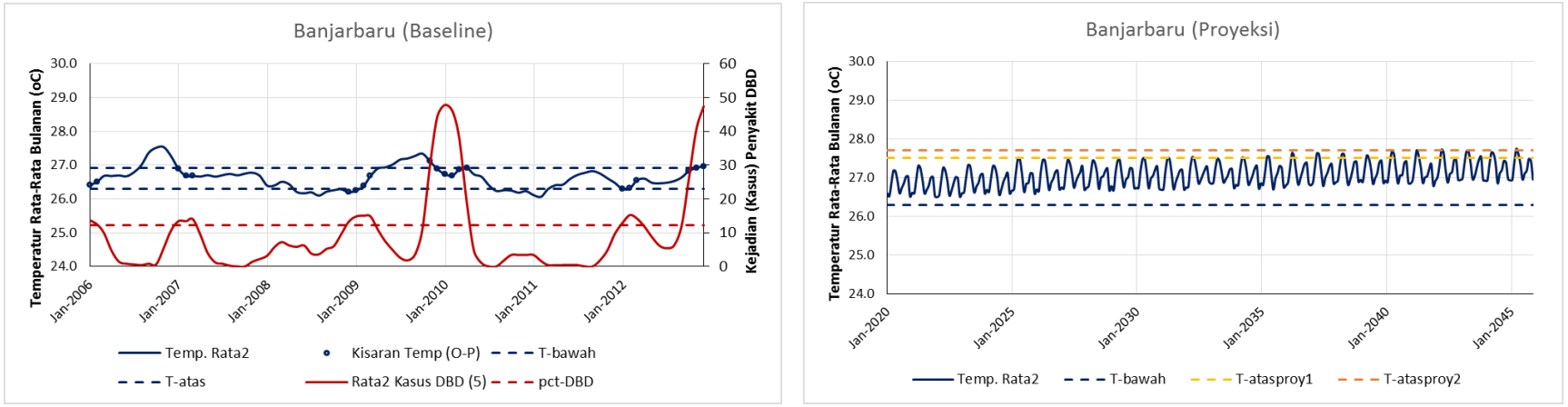
Gambar V.14 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Malang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



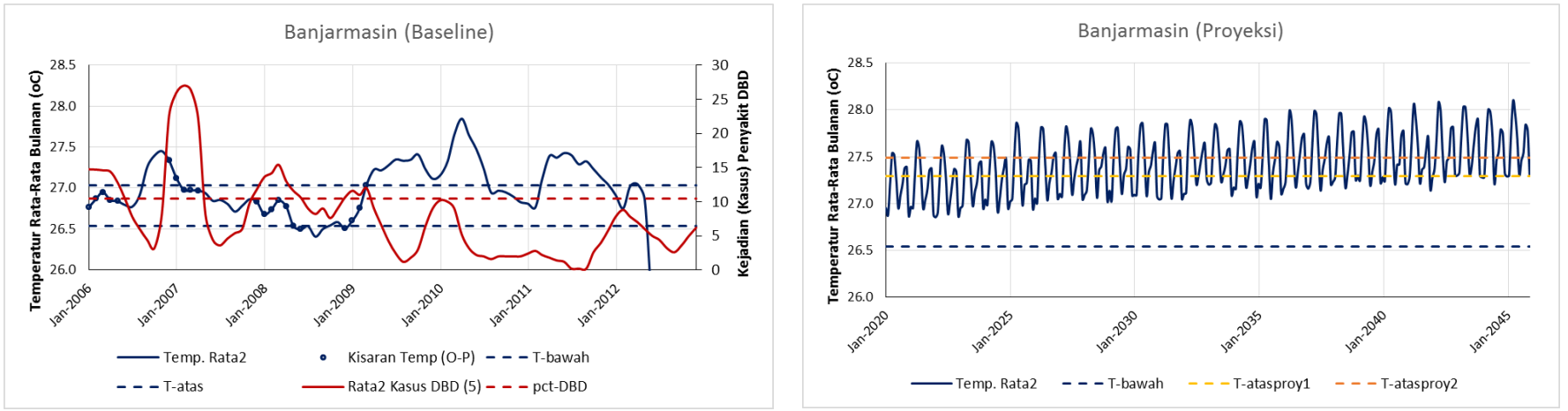
Gambar V. 15 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Semarang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



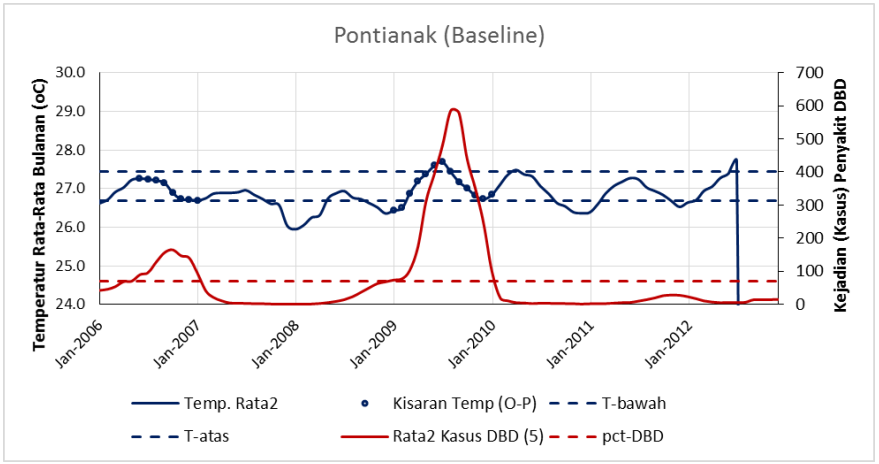
Gambar V.16 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Balikpapan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

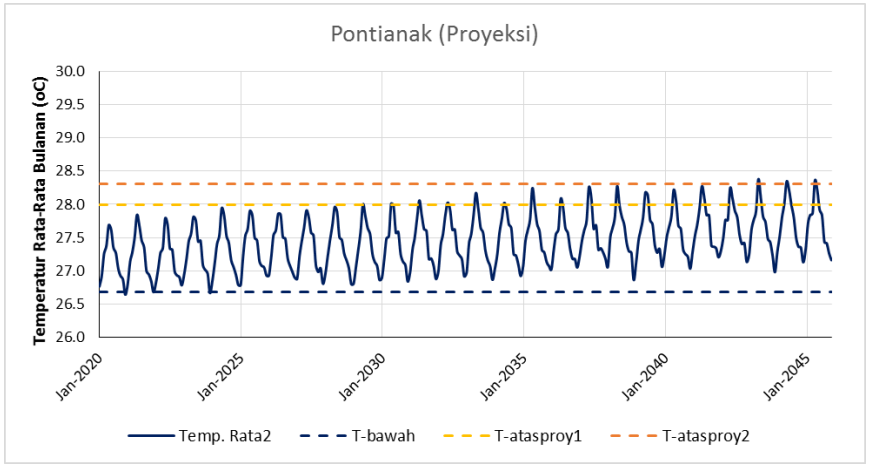


Gambar V.17 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Banjar Baru waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

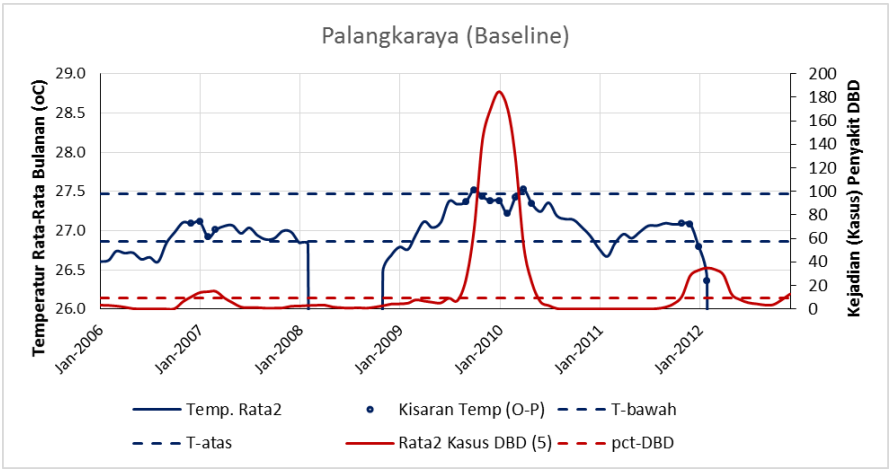


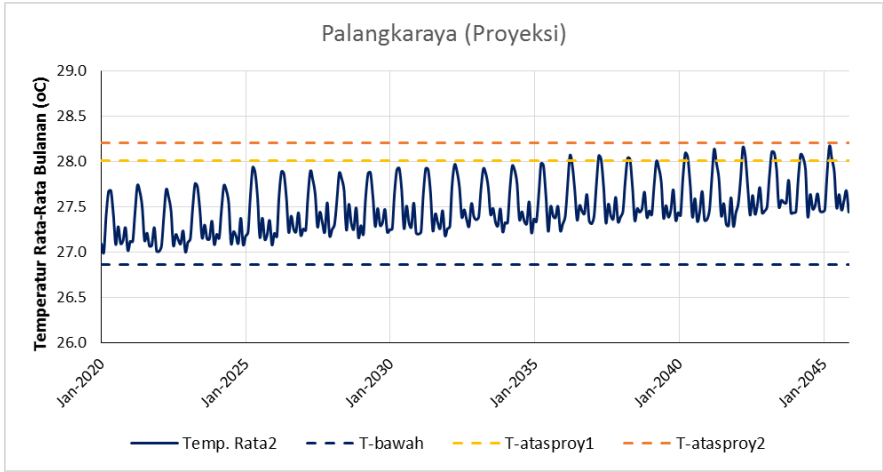
Gambar V.18 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Banjarmasin waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



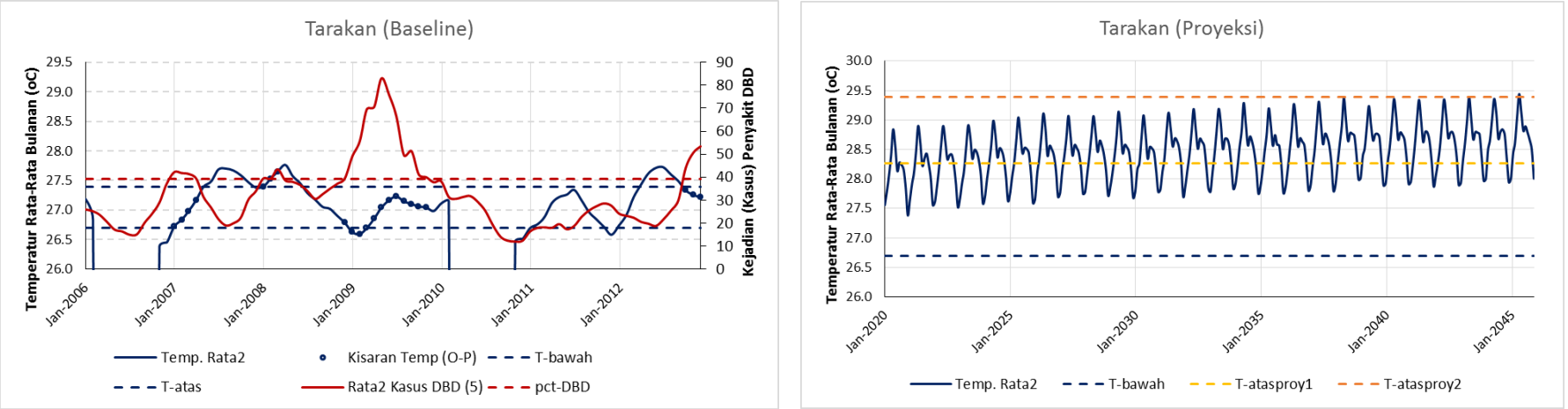


Gambar V.19 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Pontianak waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

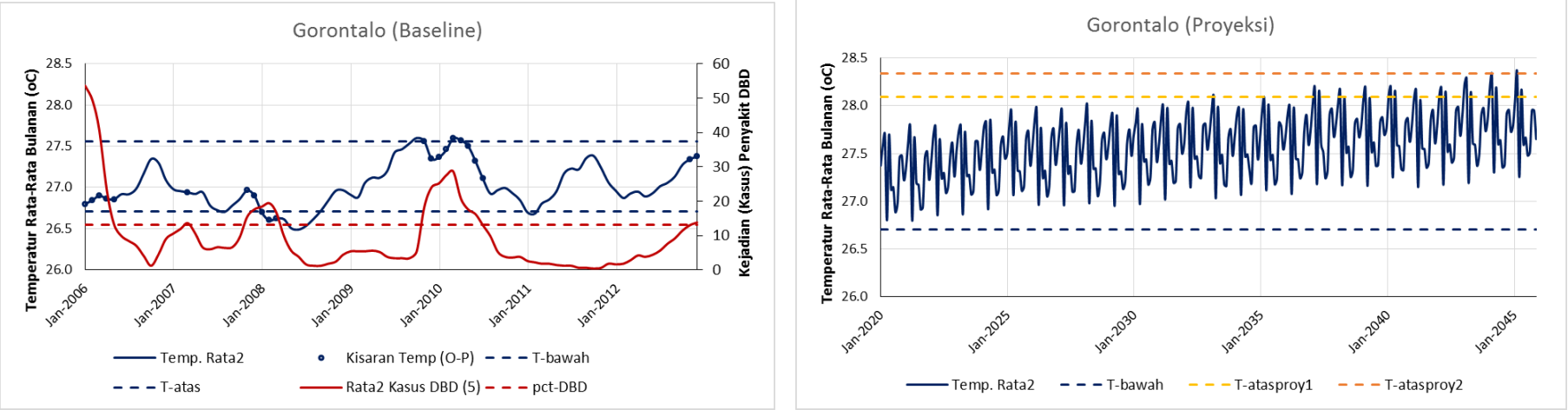




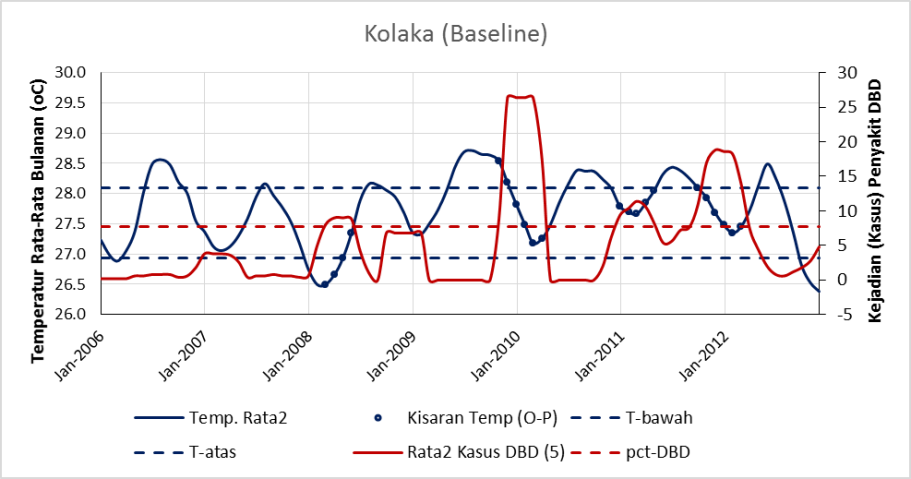
Gambar V.20 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Palangkaraya waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

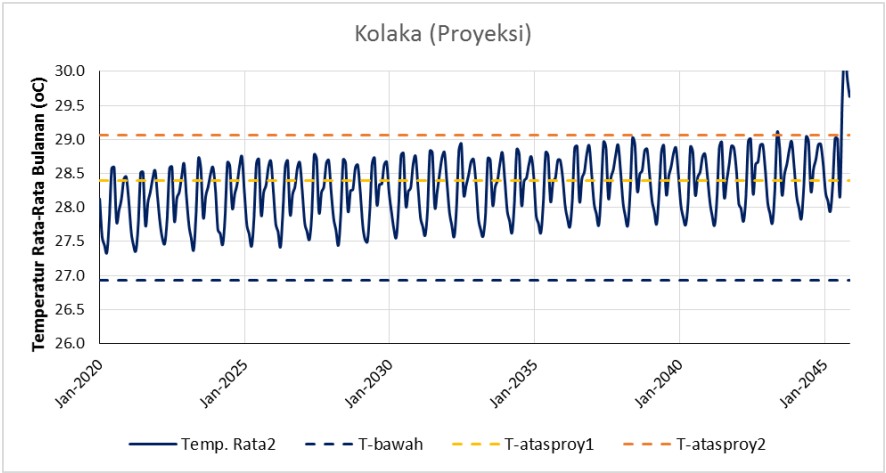


Gambar V.21 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Tarakan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

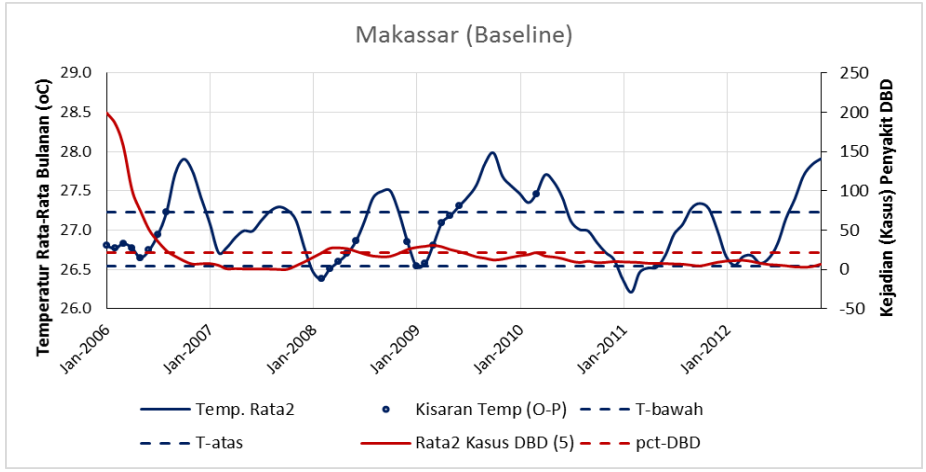


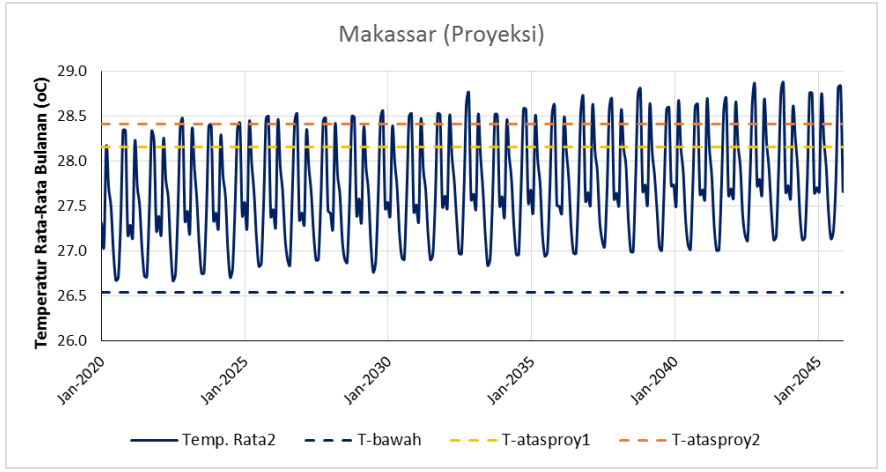
Gambar V.22 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Gorontalo waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



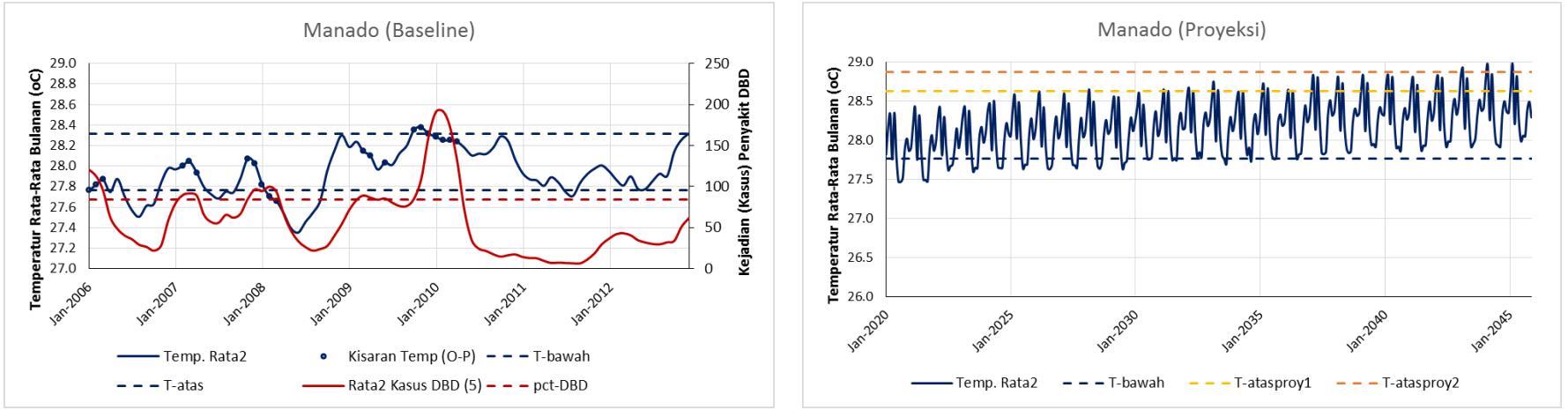


Gambar V.23 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Kolaka waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

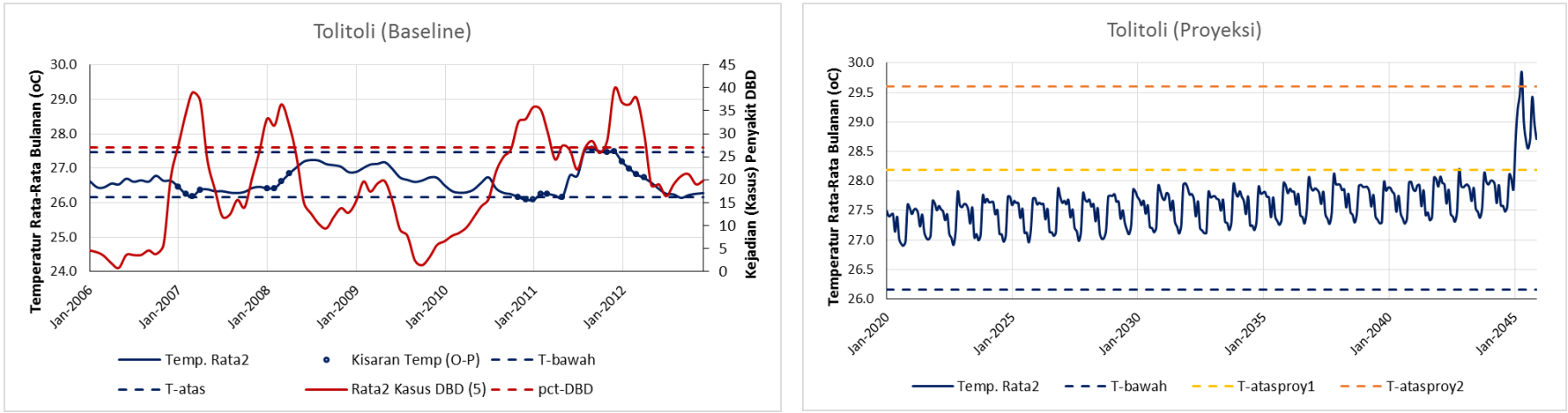




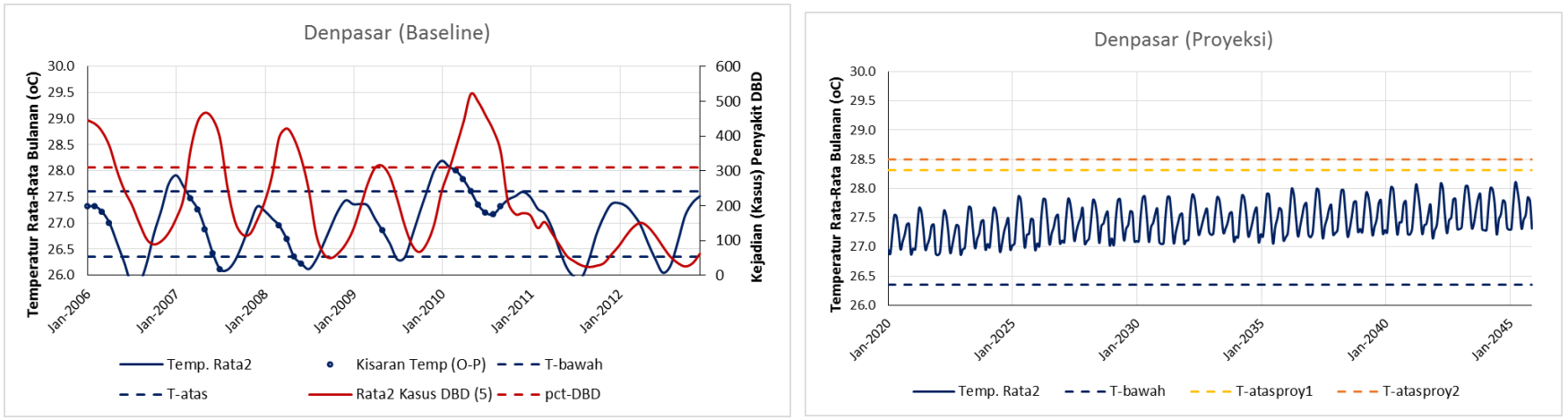
Gambar V.24 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Makassar waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



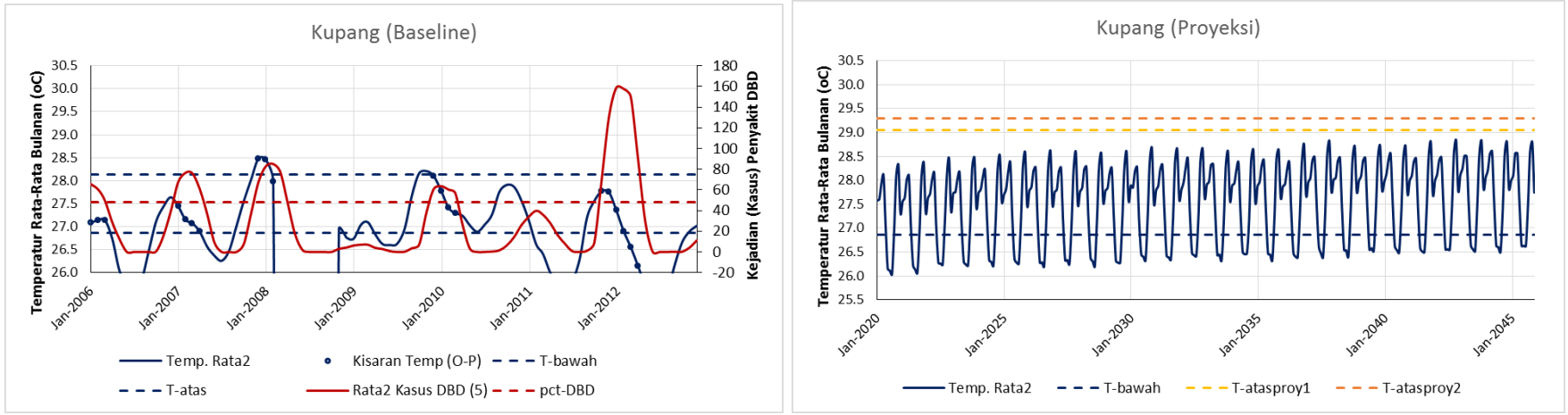
Gambar V.25 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Manado waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



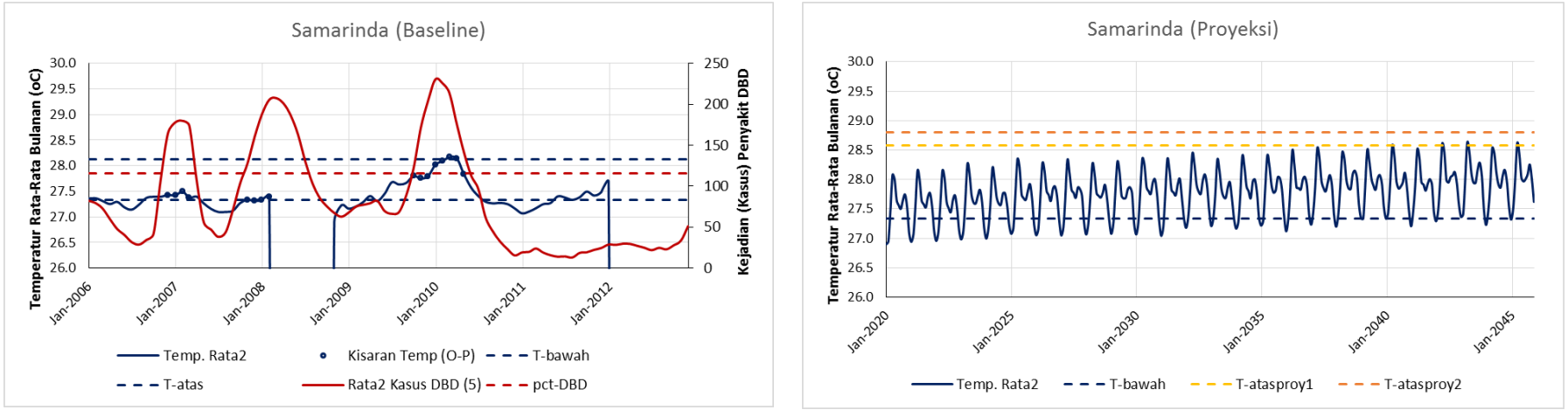
Gambar V.26 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Toli-Toli waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



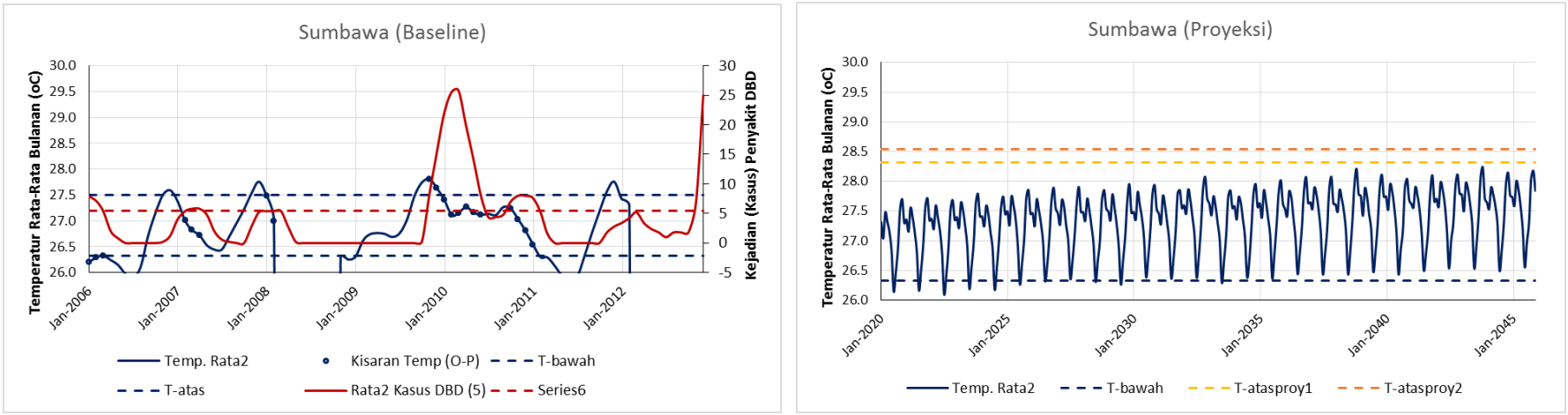
Gambar V.27 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Denpasar waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



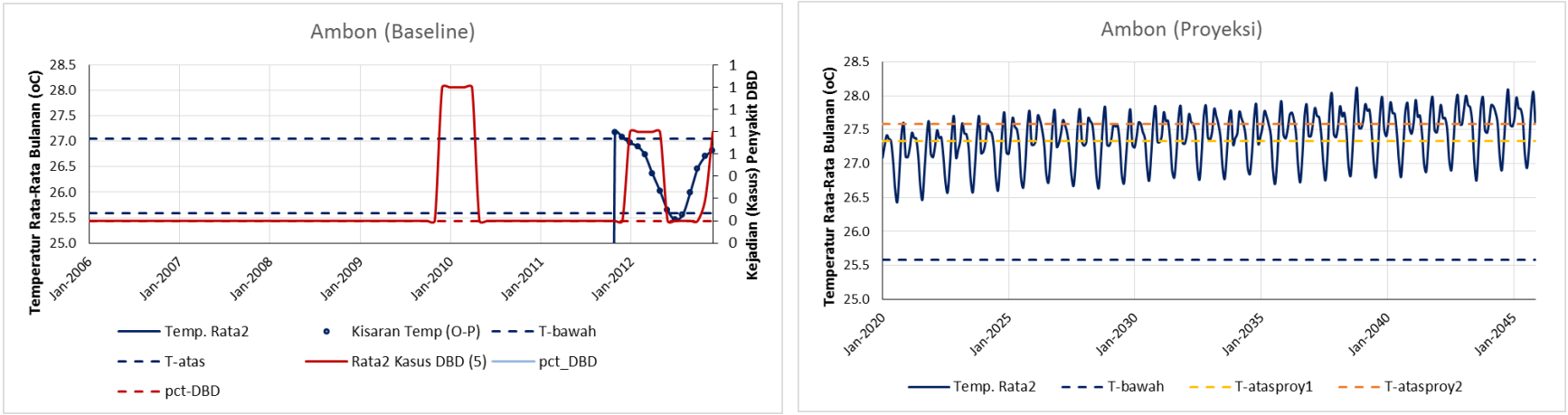
Gambar V.28 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Kupang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



Gambar V.29 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Samarinda waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

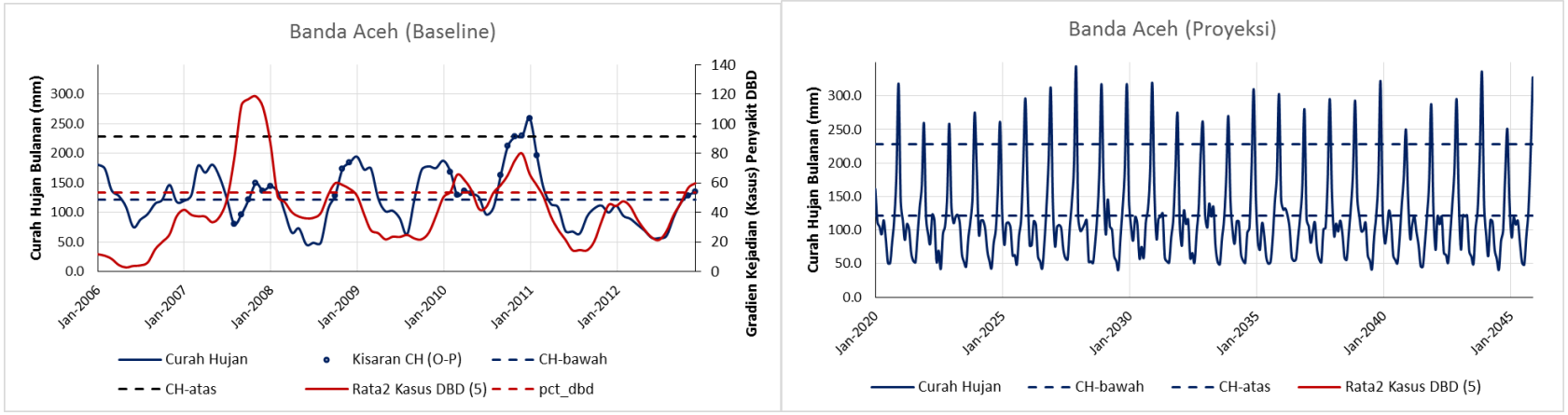


Gambar V.30 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Sumbawa waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

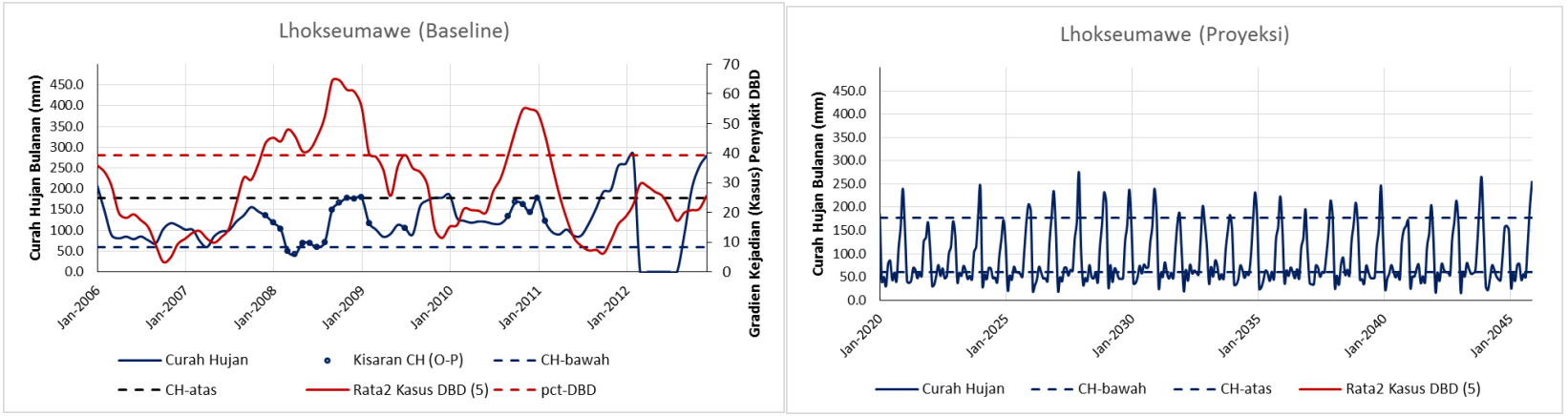


Gambar V.31 Identifikasi Kisaran Temperatur terhadap Kejadian Penyakit DBD di Ambon waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

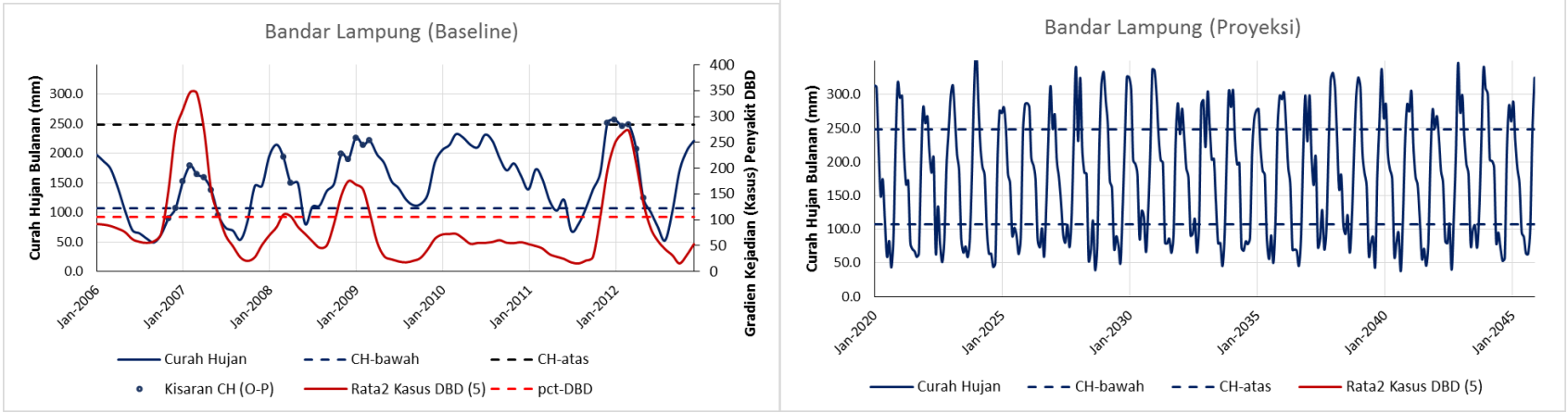
Lampiran 6 Identifikasi Kisaran Curah Hujan Terhadap Kejadian Penyakit DBD



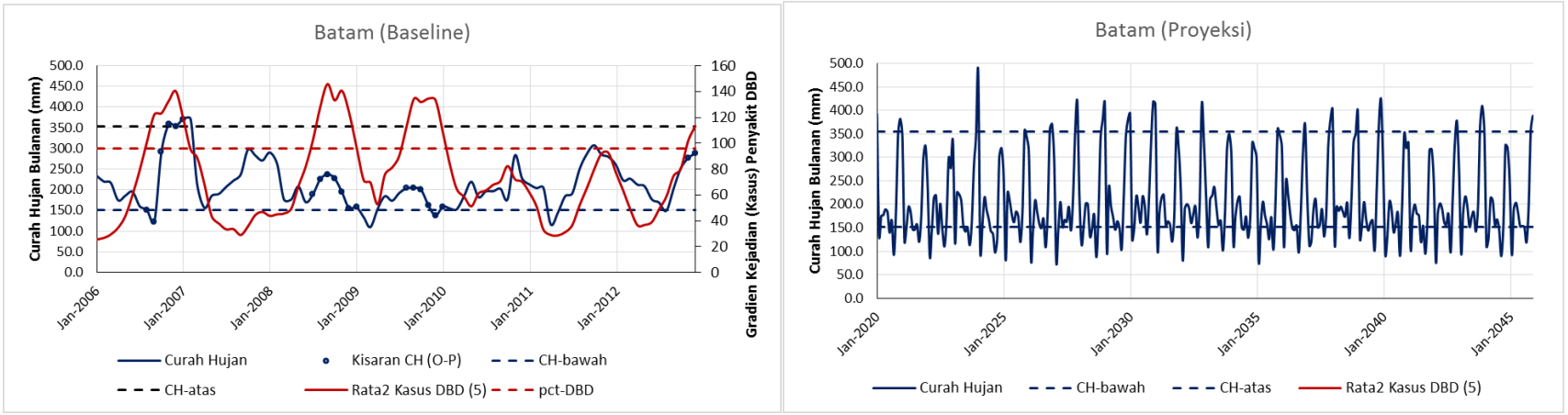
Gambar VI.1 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Banda Aceh waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



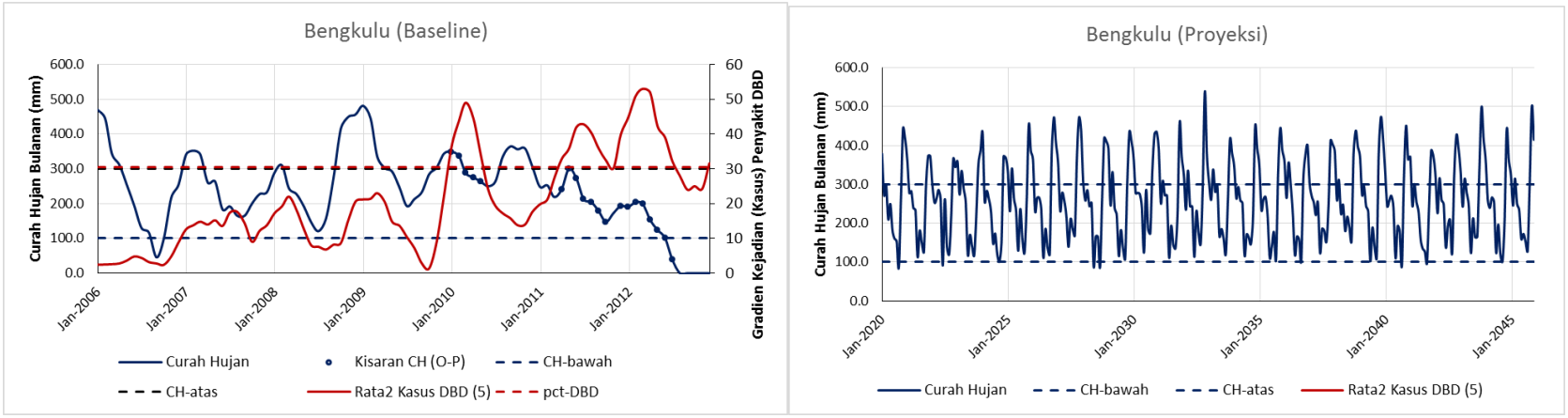
Gambar VI.2 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Lhokseumawe waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



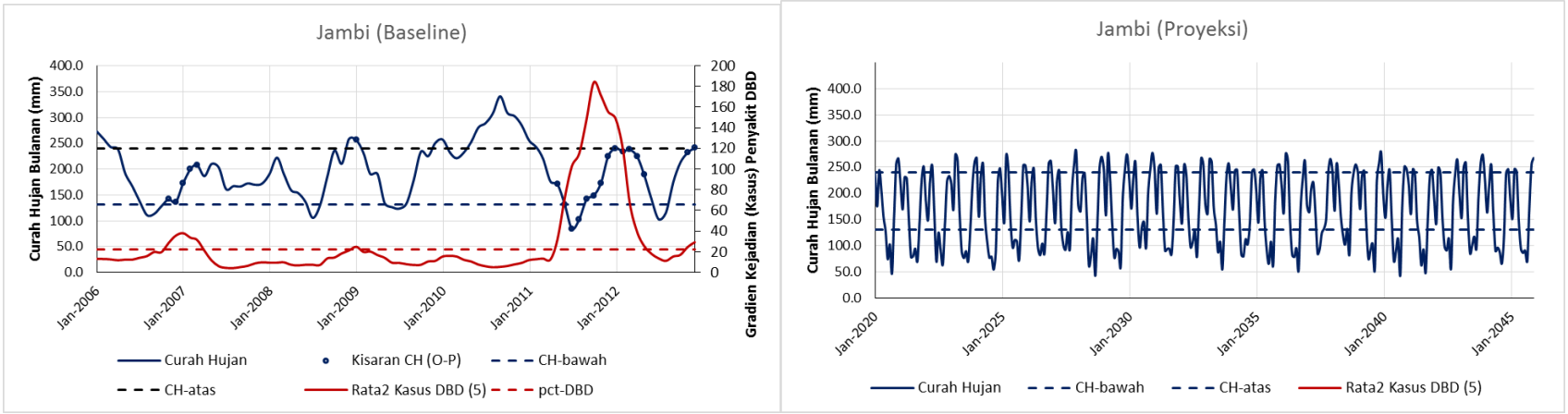
Gambar VI.3 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Bandar Lampung waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



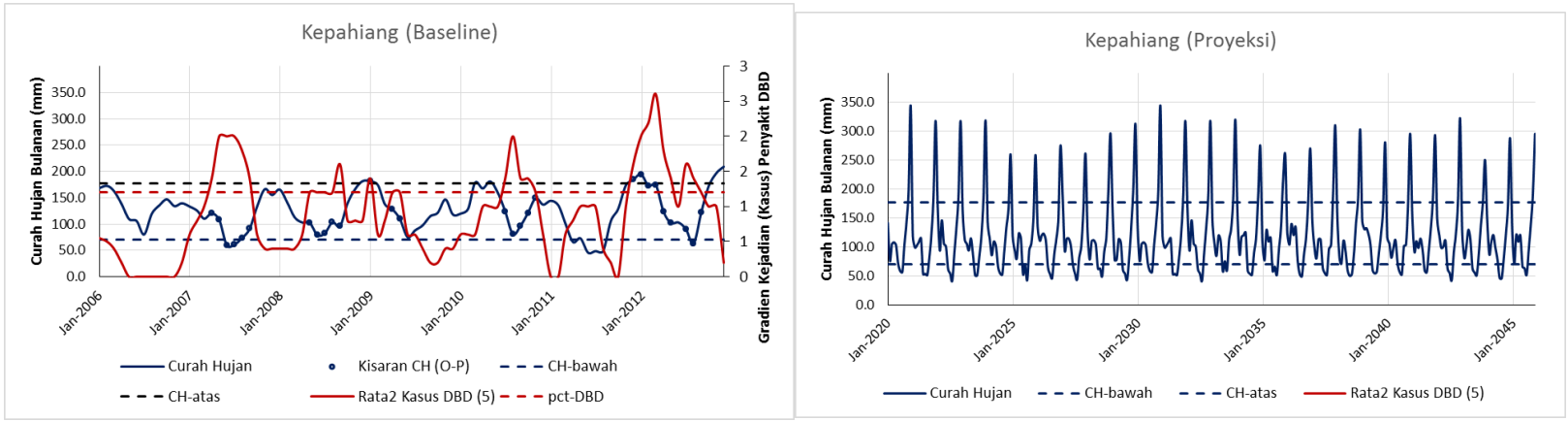
Gambar VI.4 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Batam waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



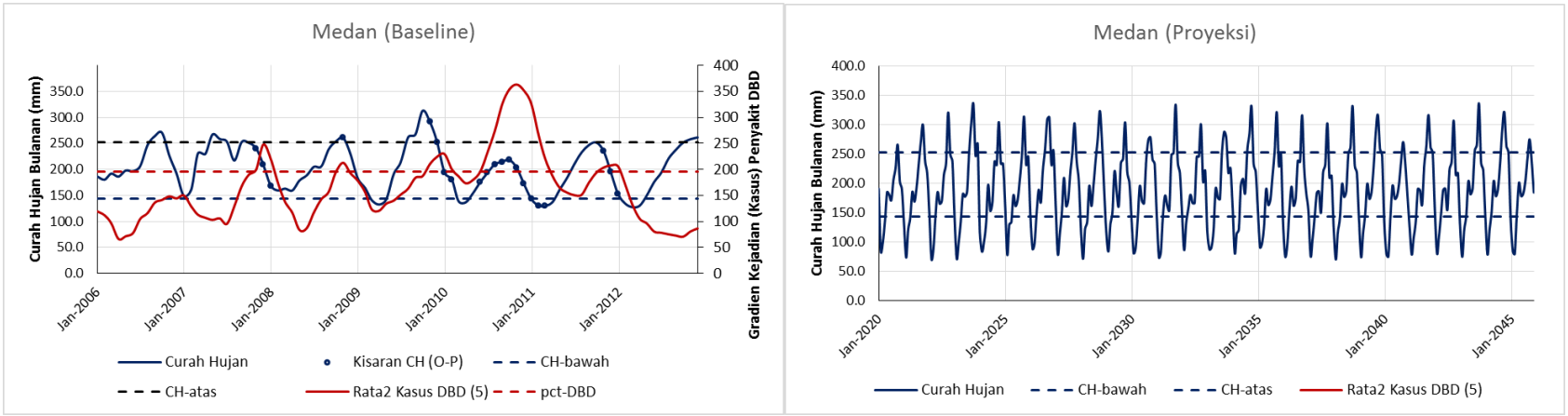
Gambar VI.5 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Bengkulu waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



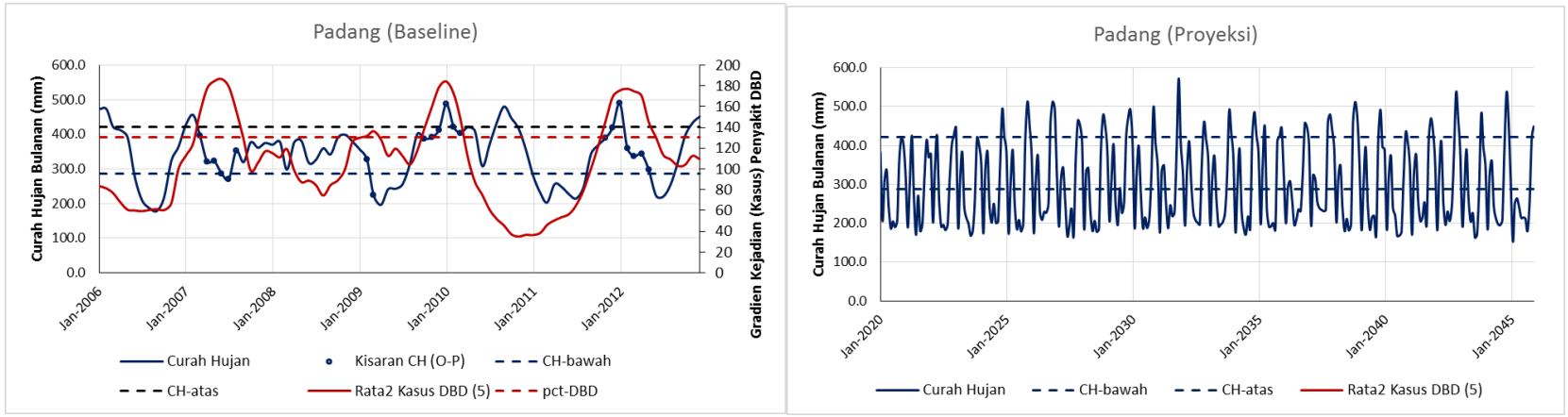
Gambar VI.6 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Jambi waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



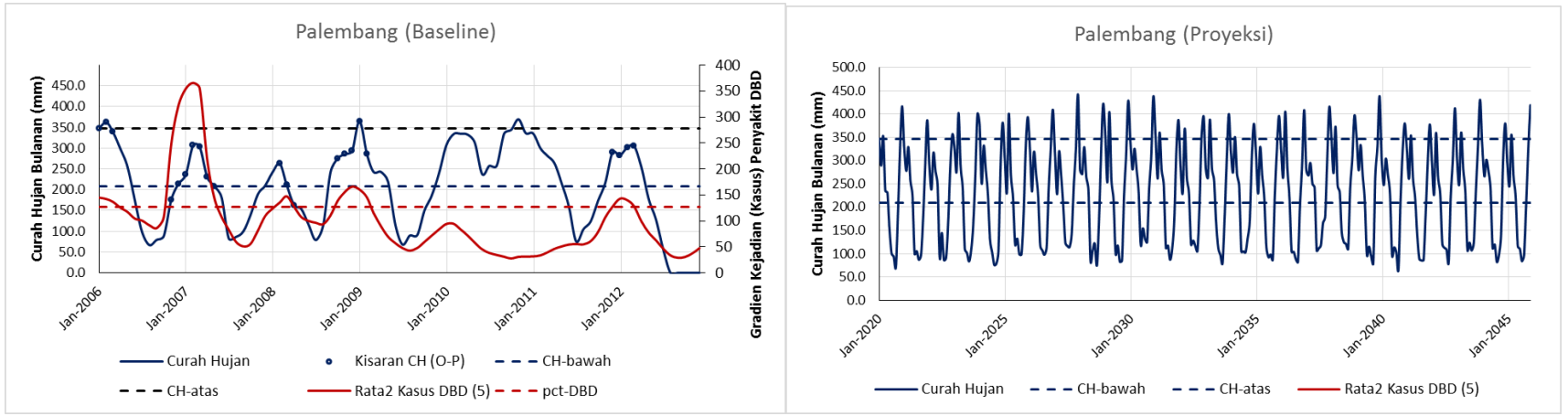
Gambar VI.7 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Kepahiang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



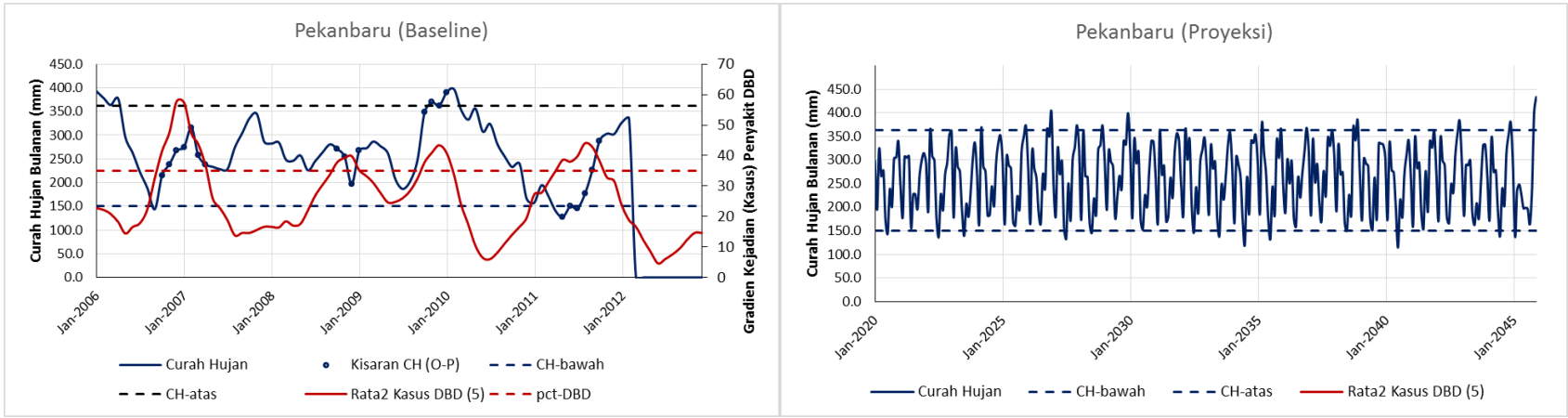
Gambar VI.8 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Medan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



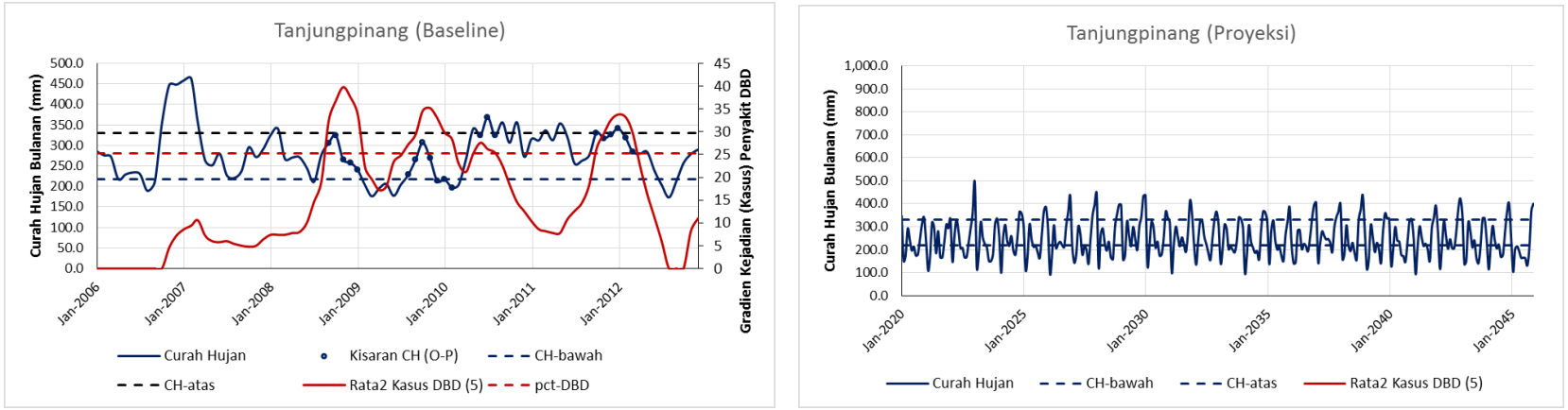
Gambar VI.9 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Padang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



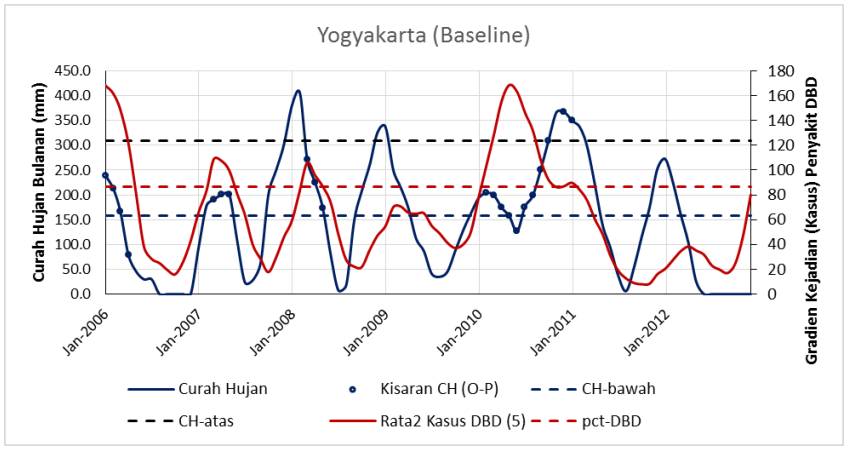
Gambar VI.10 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Palembang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

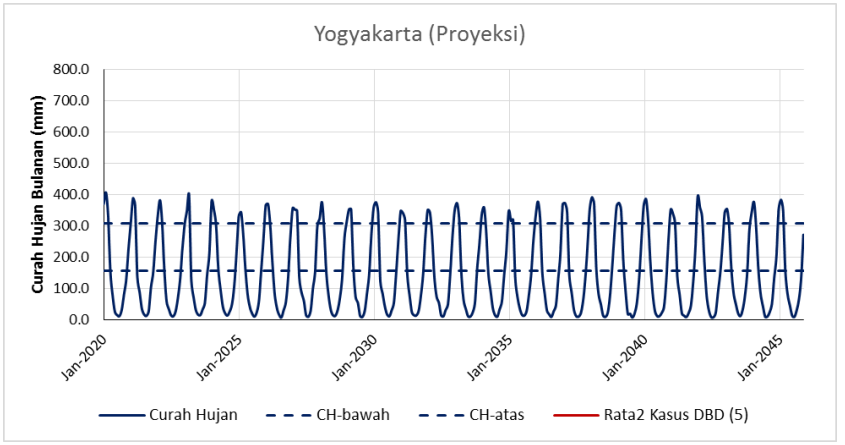


Gambar VI.11 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Pekanbaru waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

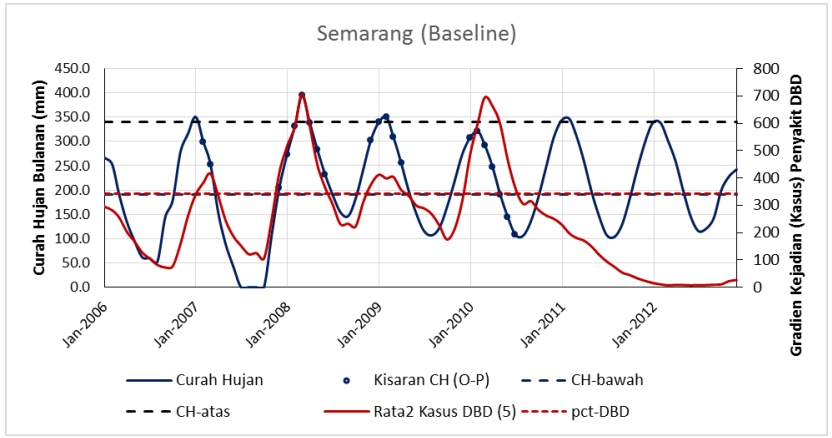


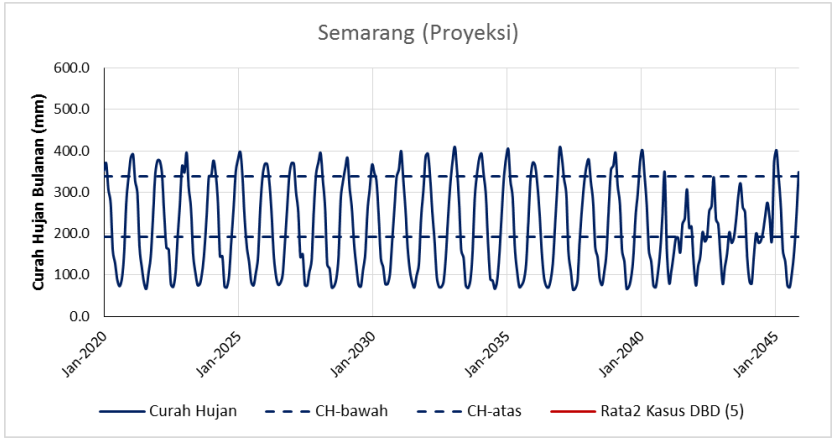
Gambar VI.12 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Tanjung Pinang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



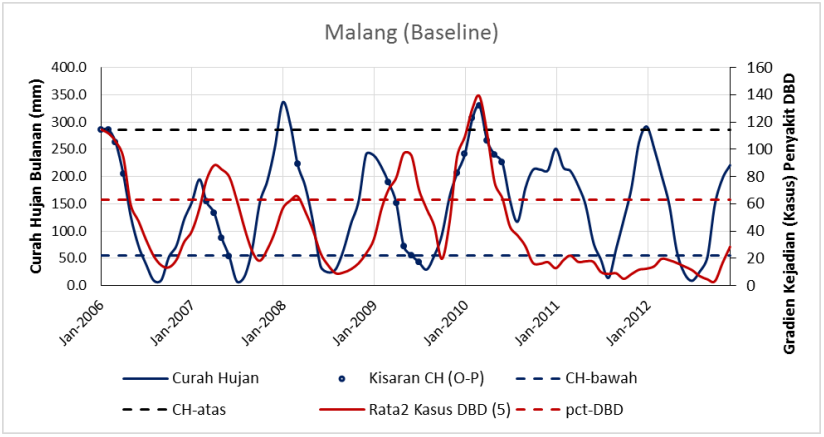


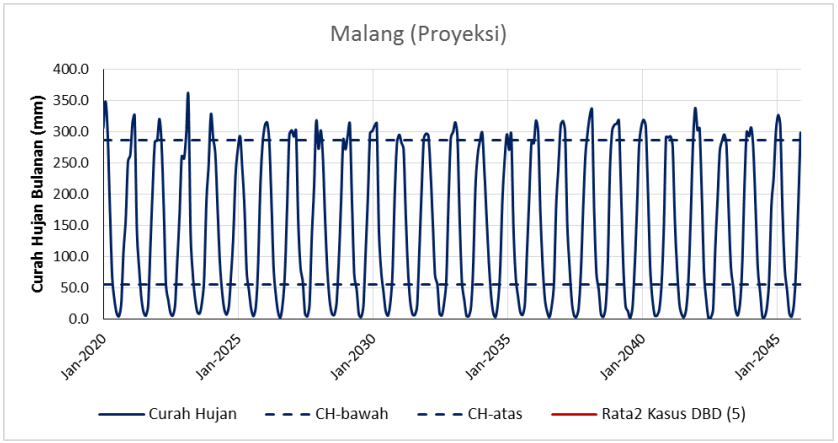
Gambar VI.13 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Yogyakarta Penyakit DBD Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



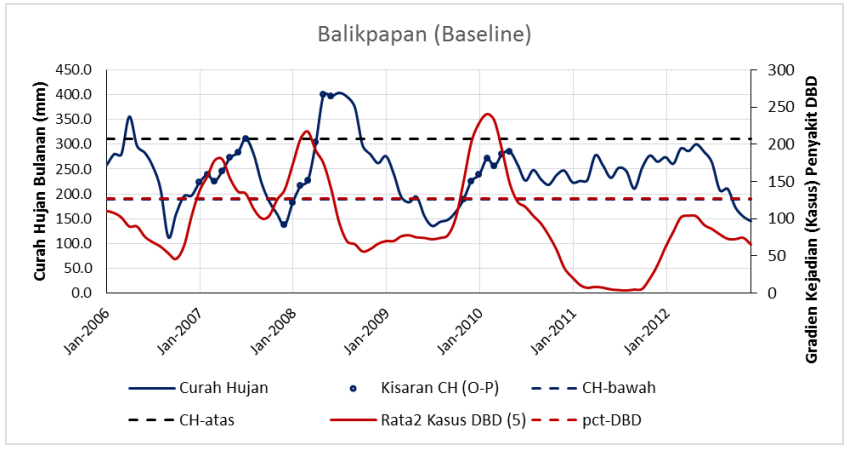


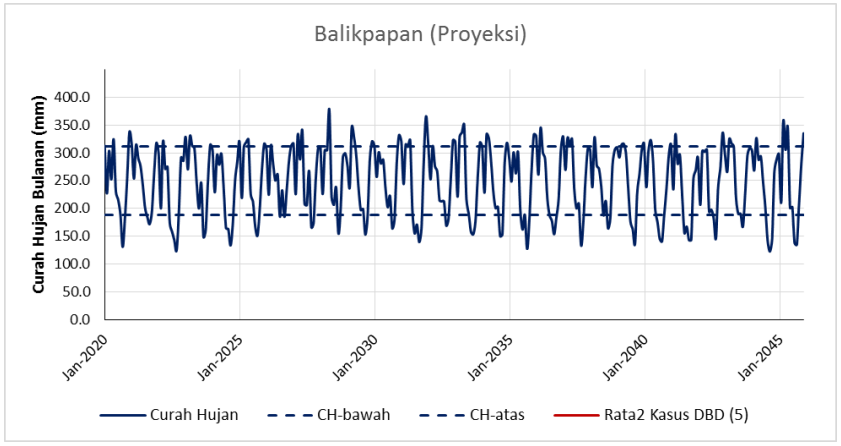
Gambar VI.14 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Semarang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



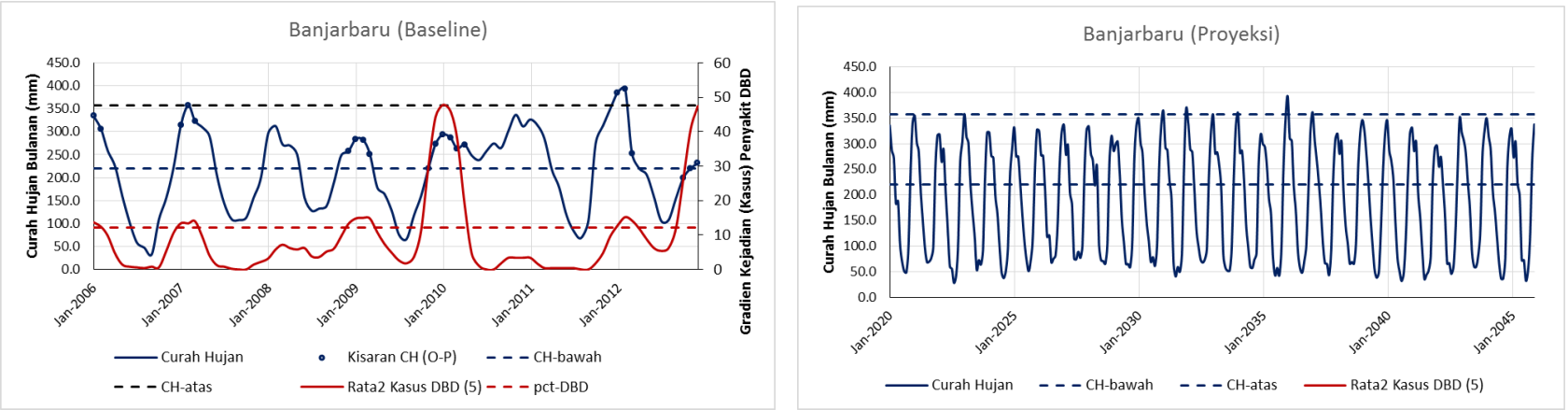


Gambar VI.15 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Malang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

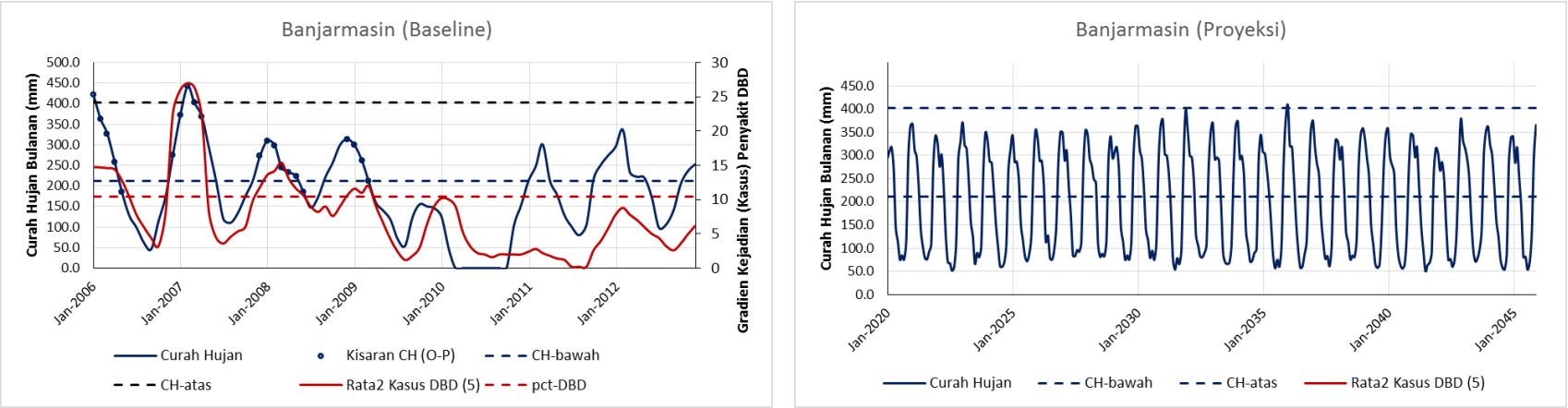




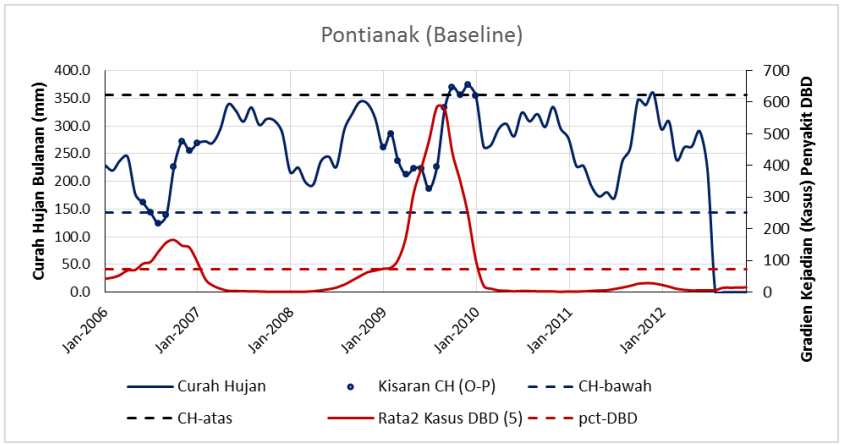
Gambar VI.16 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Balikpapan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

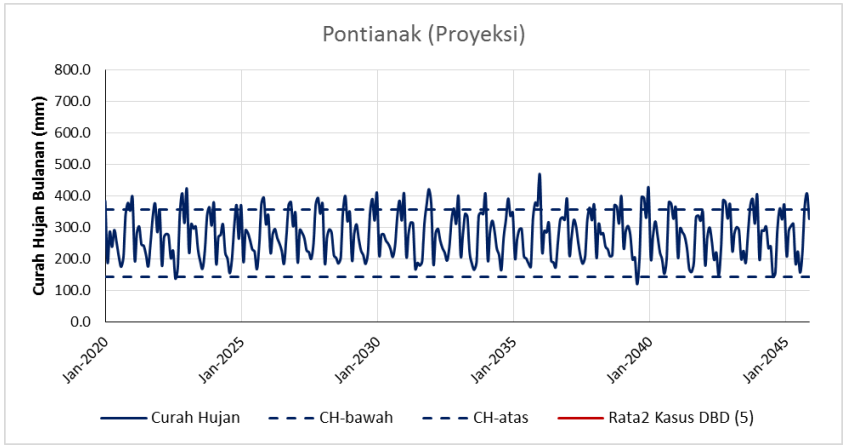


Gambar VI.17 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Banjarbaru waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

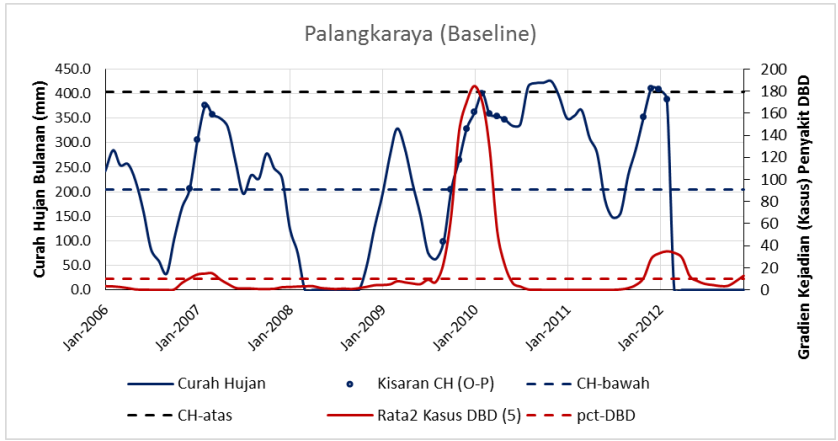


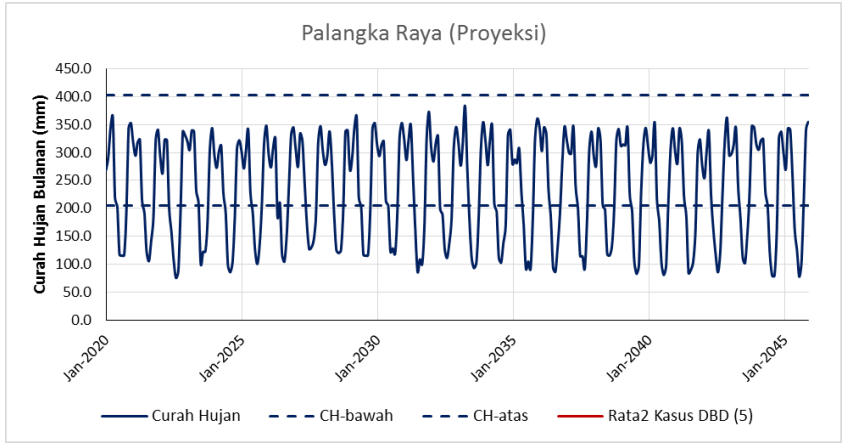
Gambar VI.18 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Banjarmasin waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



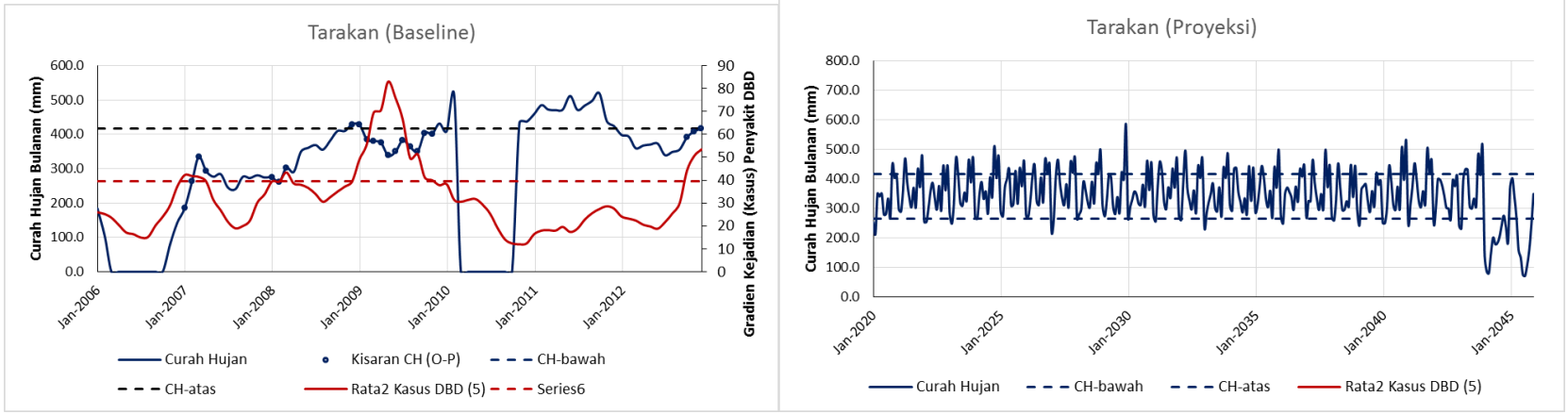


Gambar VI.19 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Pontianak waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

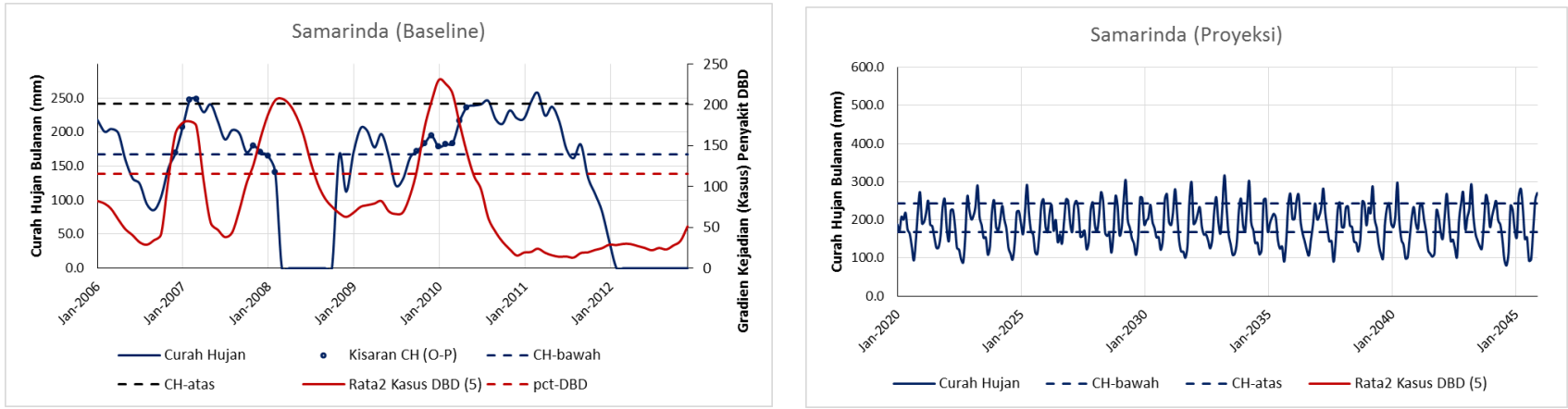




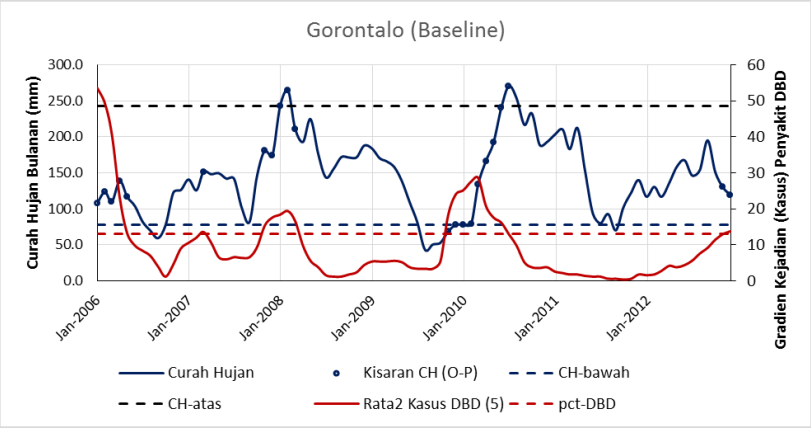
Gambar VI.20 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Palangkaraya waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

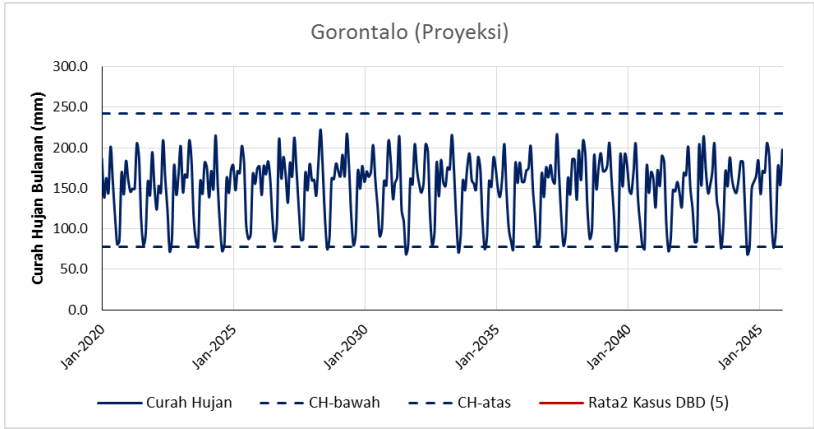


Gambar VI.21 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Tarakan waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

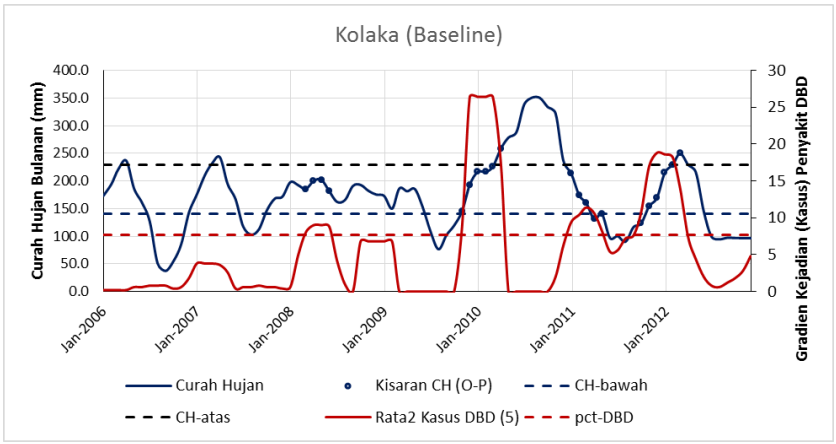


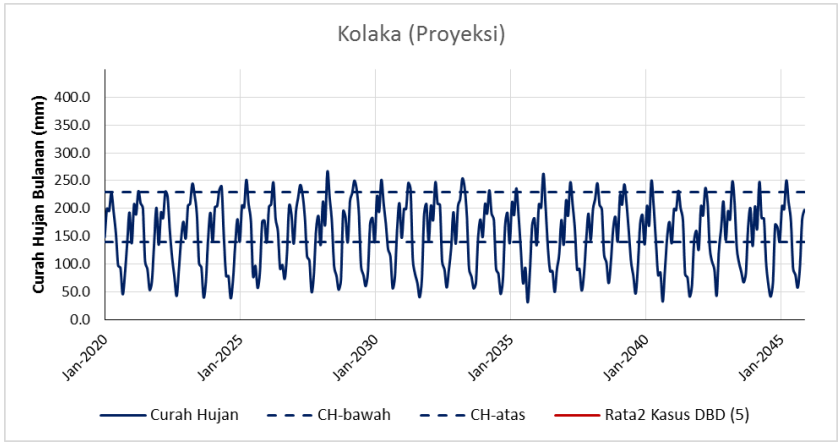
Gambar VI.22 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Samarinda waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



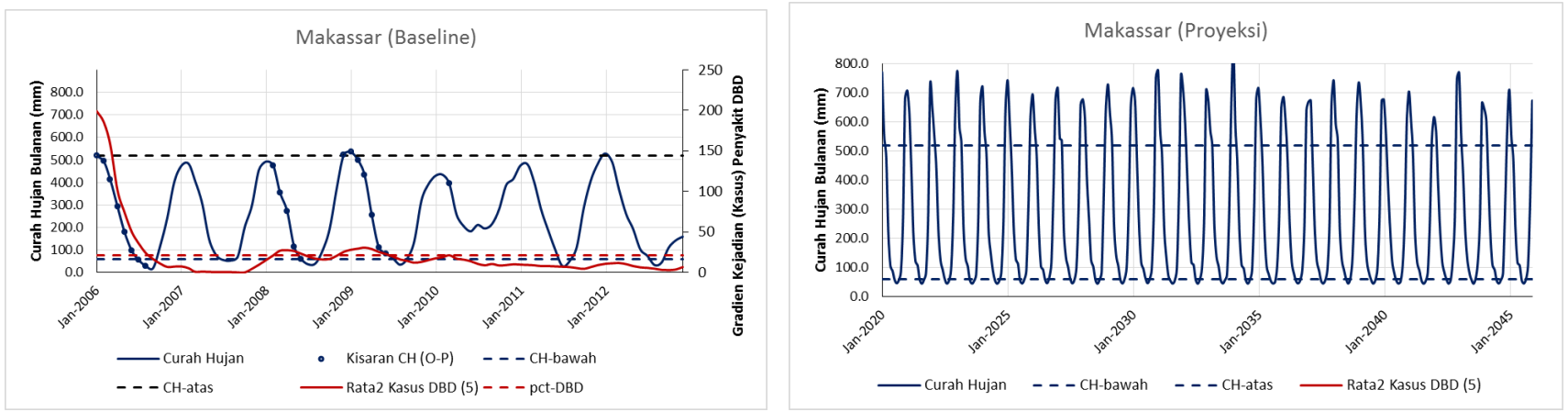


Gambar VI.23 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Gorontalo waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

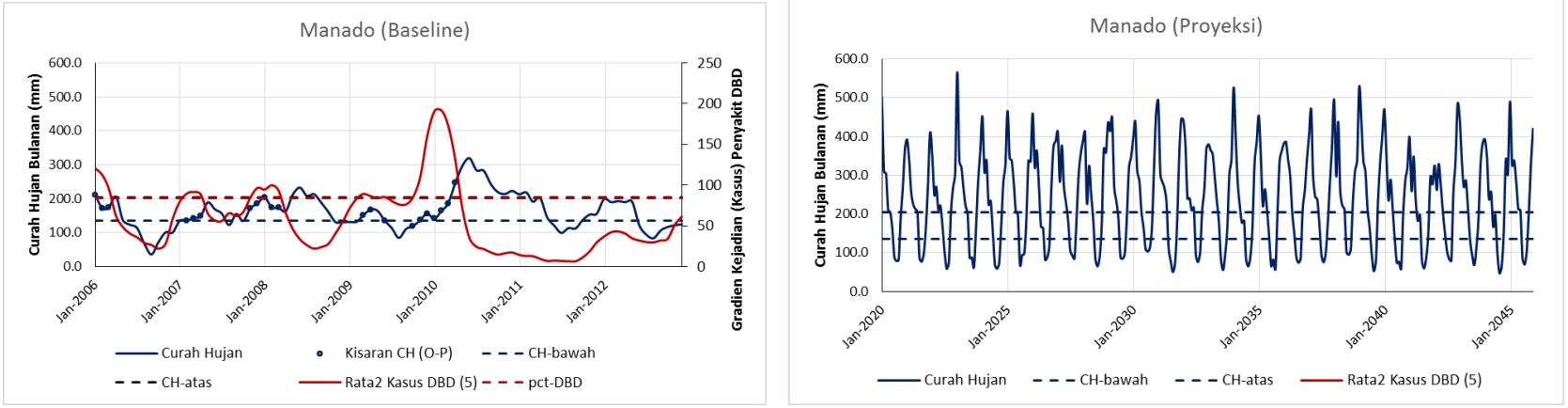




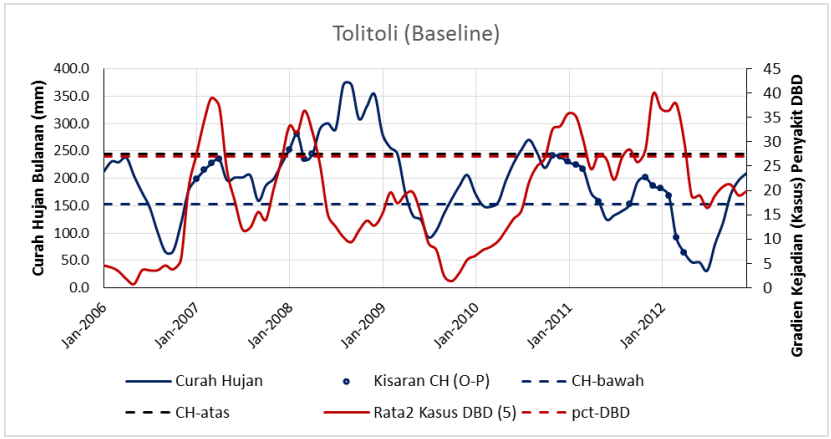
Gambar VI.24 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Kolaka waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

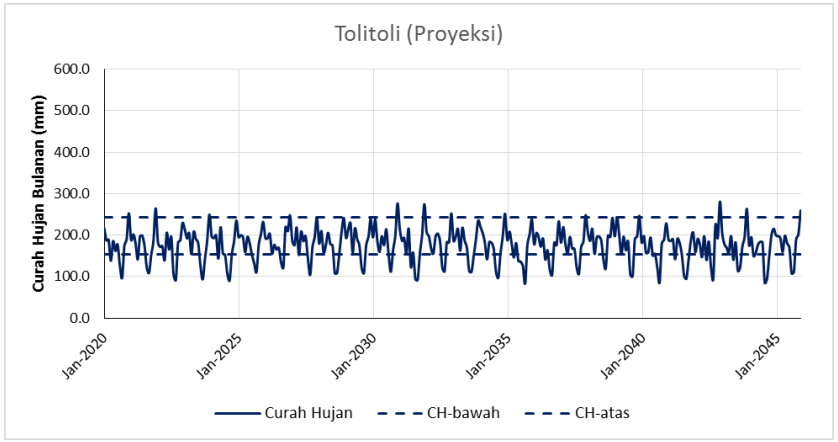


Gambar VI.25 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Makassar waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

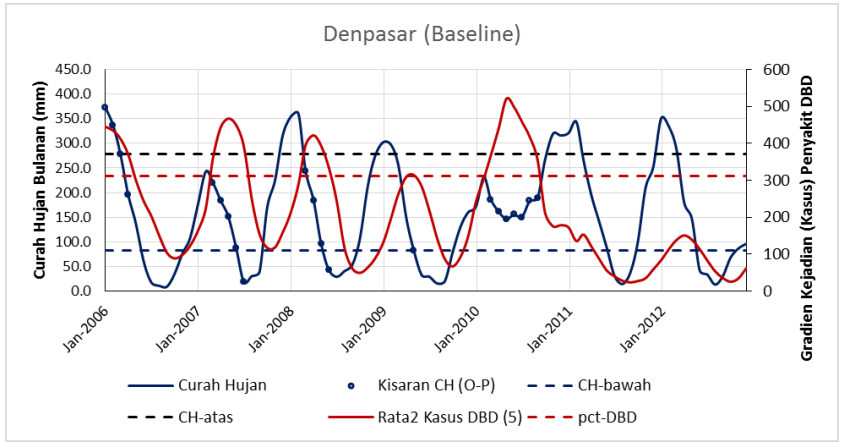


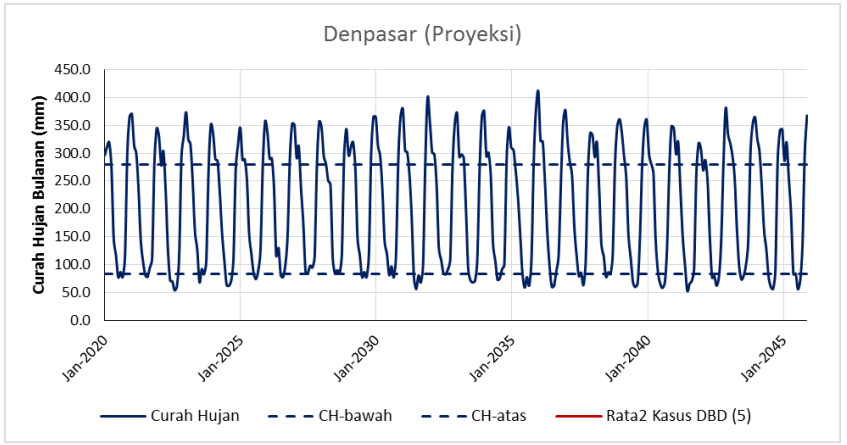
Gambar VI.26 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Manado waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



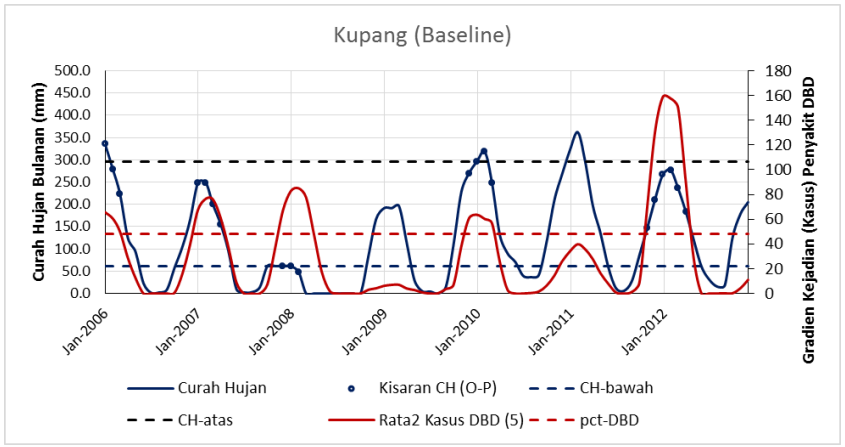


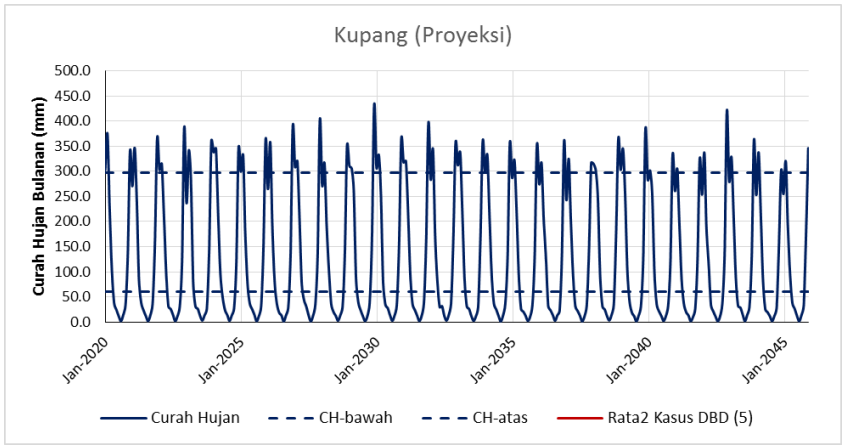
Gambar VI.27 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Toli-toli waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



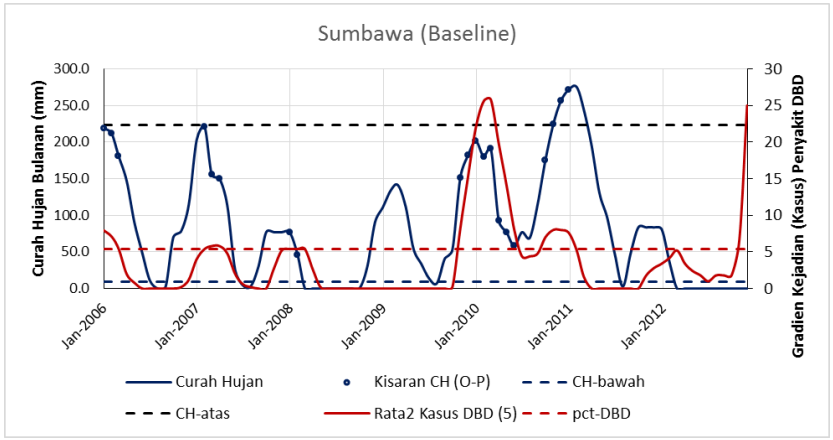


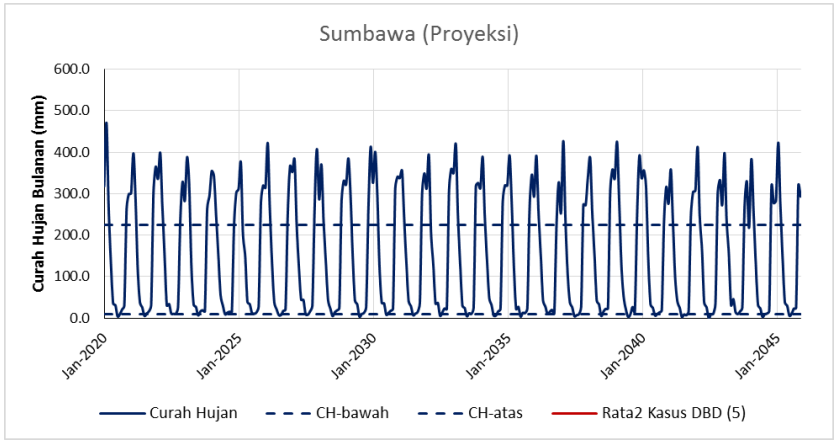
Gambar VI.28 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Denpasar waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



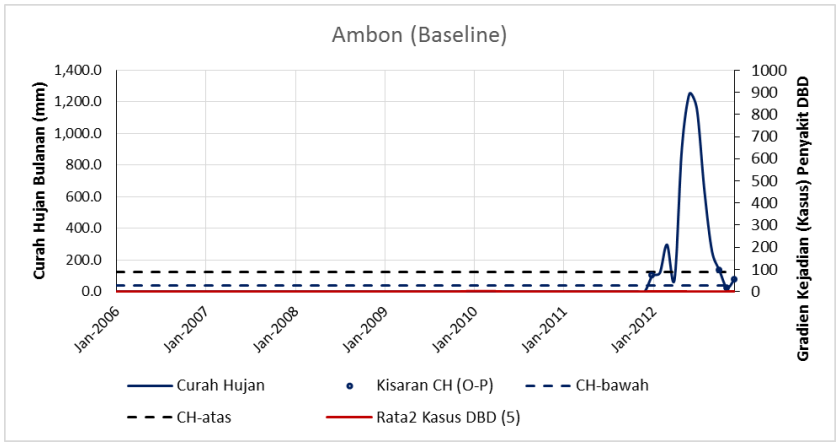


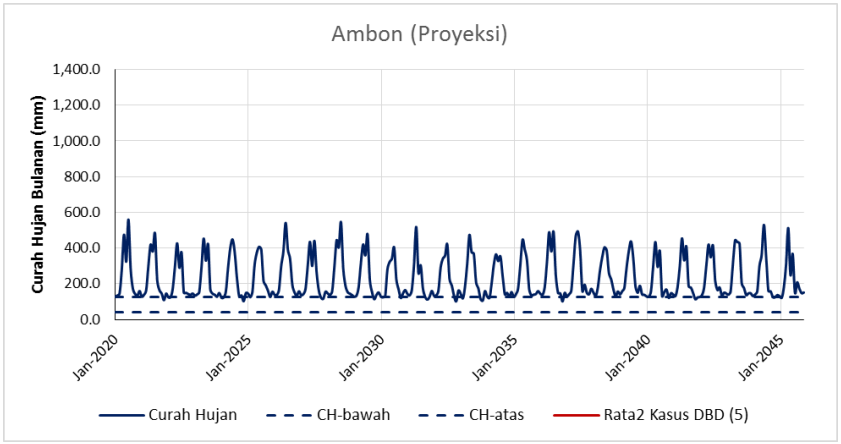
Gambar VI.29 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Kupang waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)





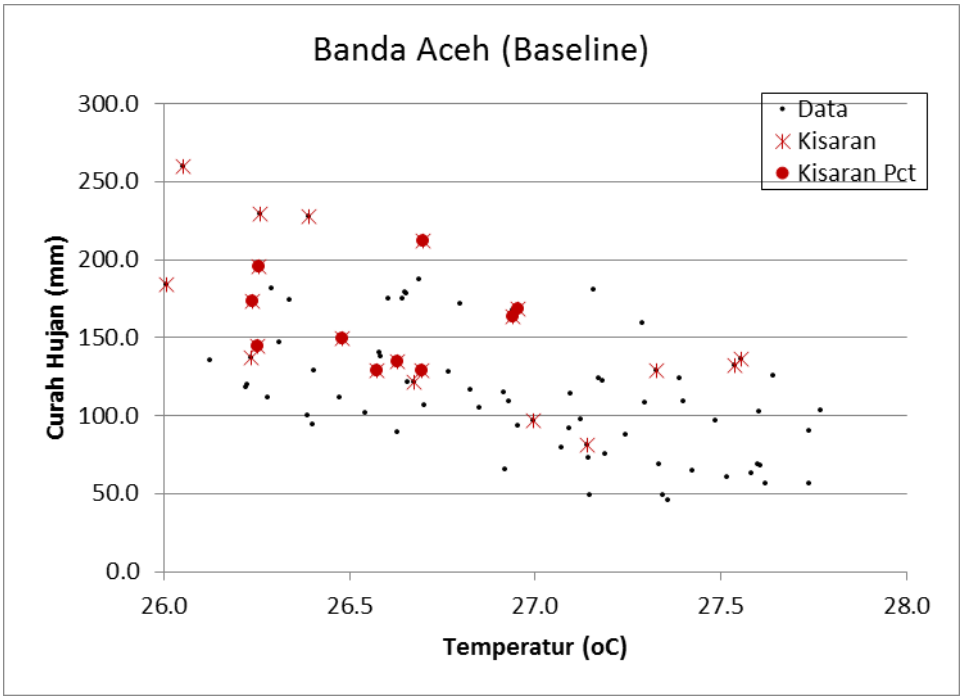
Gambar VI.30 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Sumbawa waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)



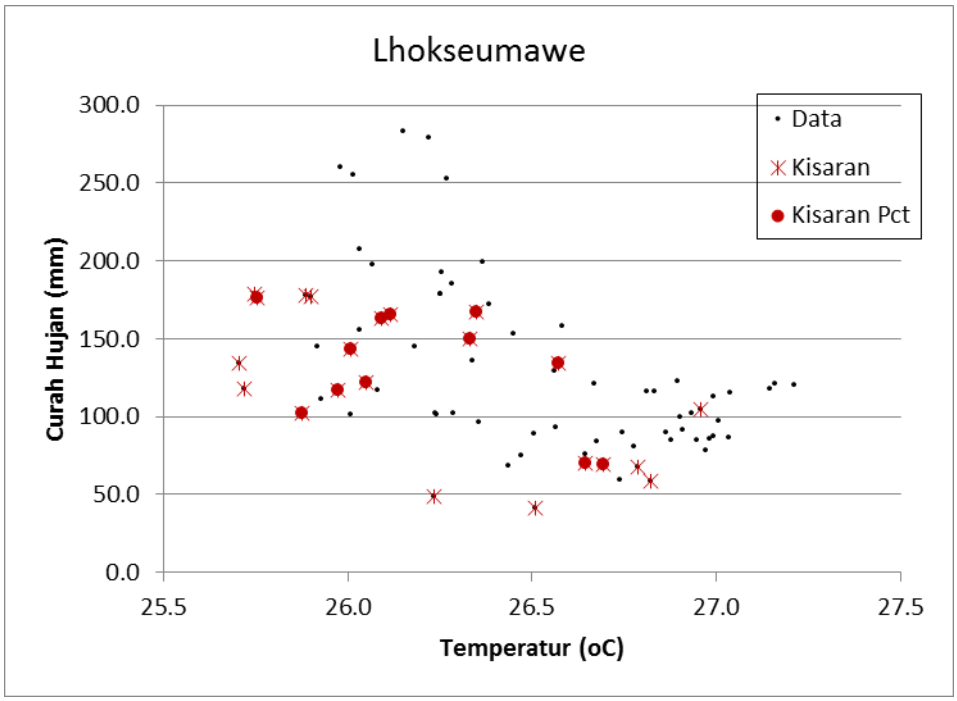


Gambar VI.31 Identifikasi Kisaran Curah Hujan terhadap Kondisi Penyakit DBD di Ambon waktu Historis (kiri) dan Proyeksi (kanan)

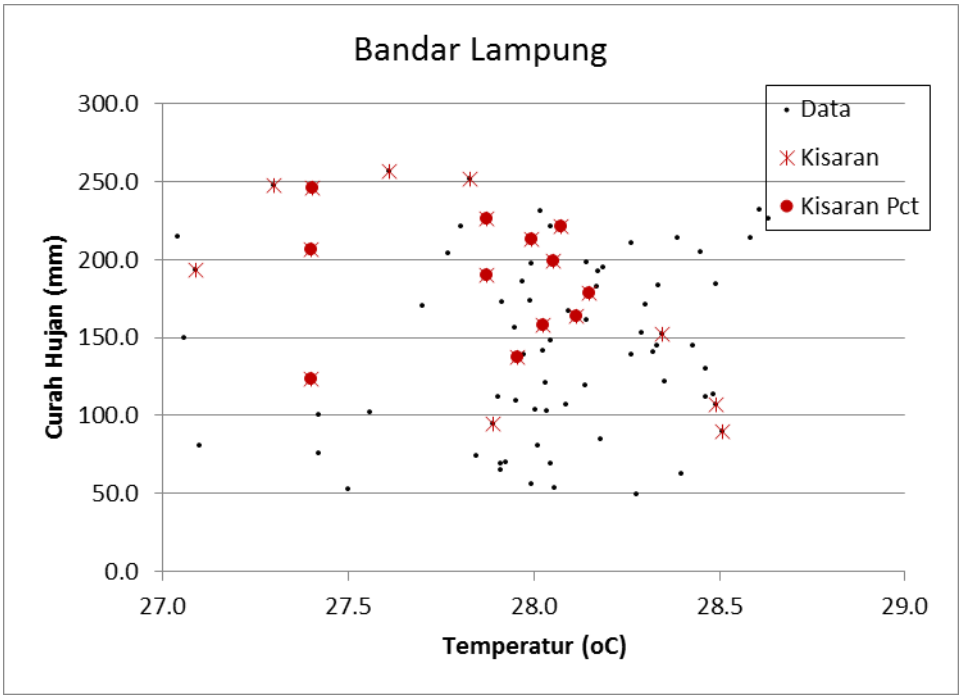
Lampiran 7 Hubungan antara Temperatur dan Curah Hujan



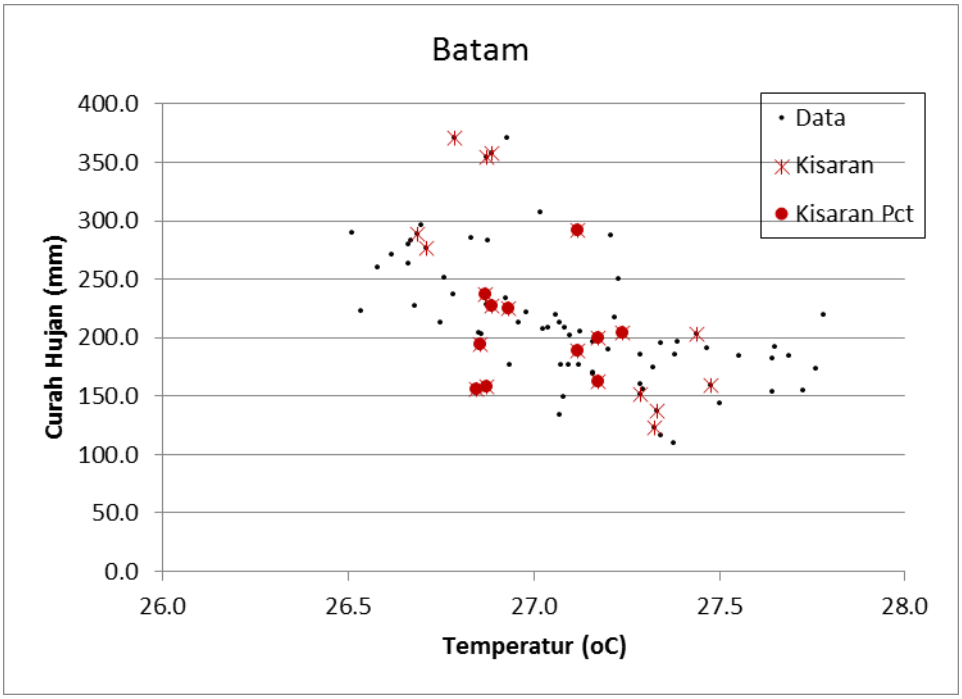
Gambar VII.1 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Banda Aceh



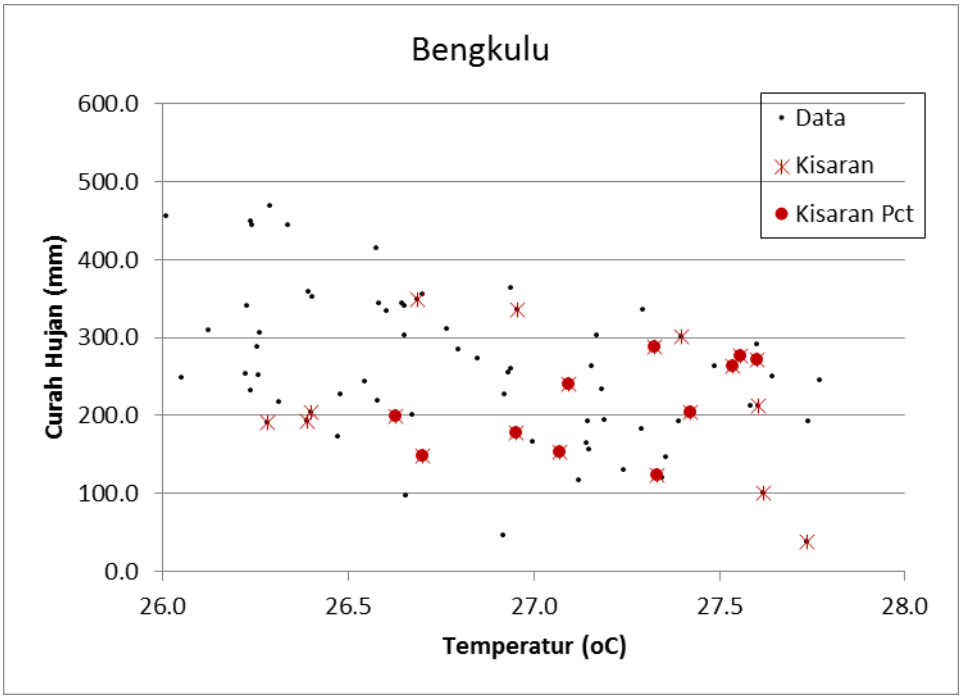
Gambar VII.2 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Lhokseumawe



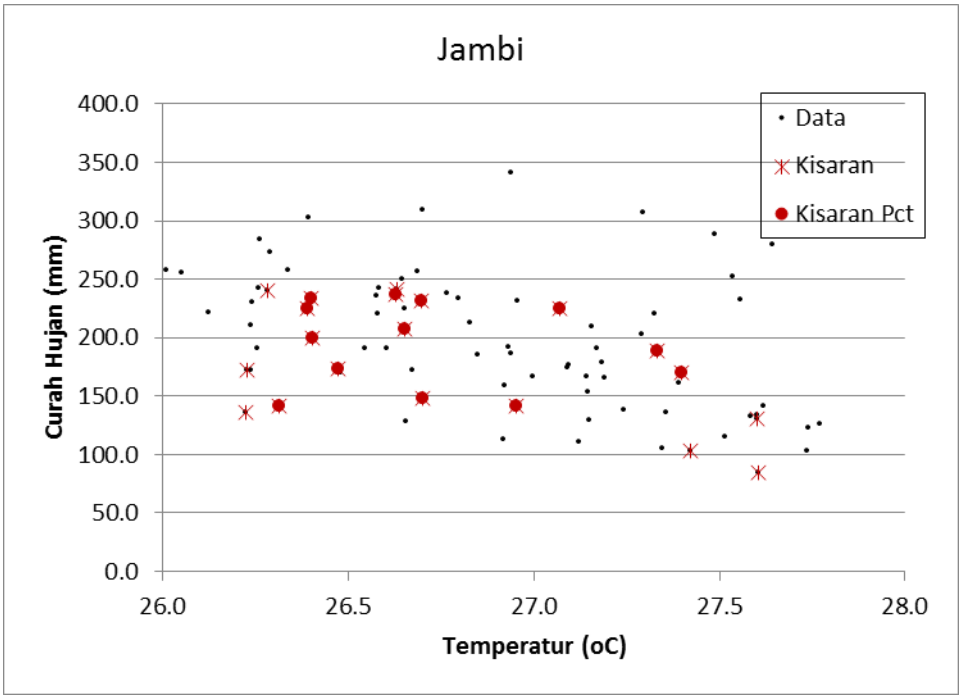
Gambar VII.3 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Bandar Lampung



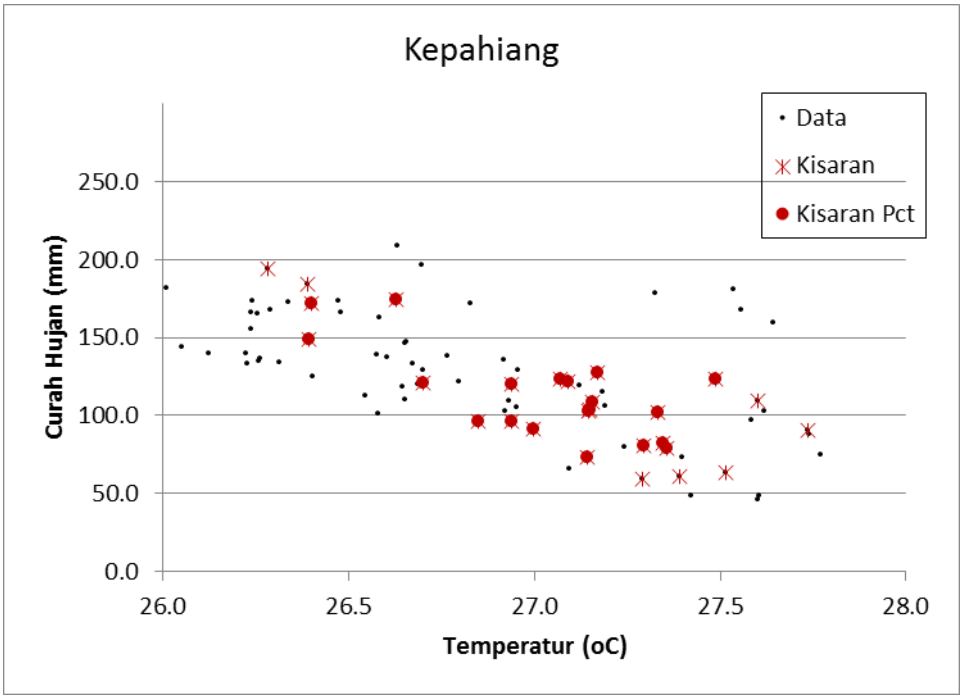
Gambar VII.4 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Batam



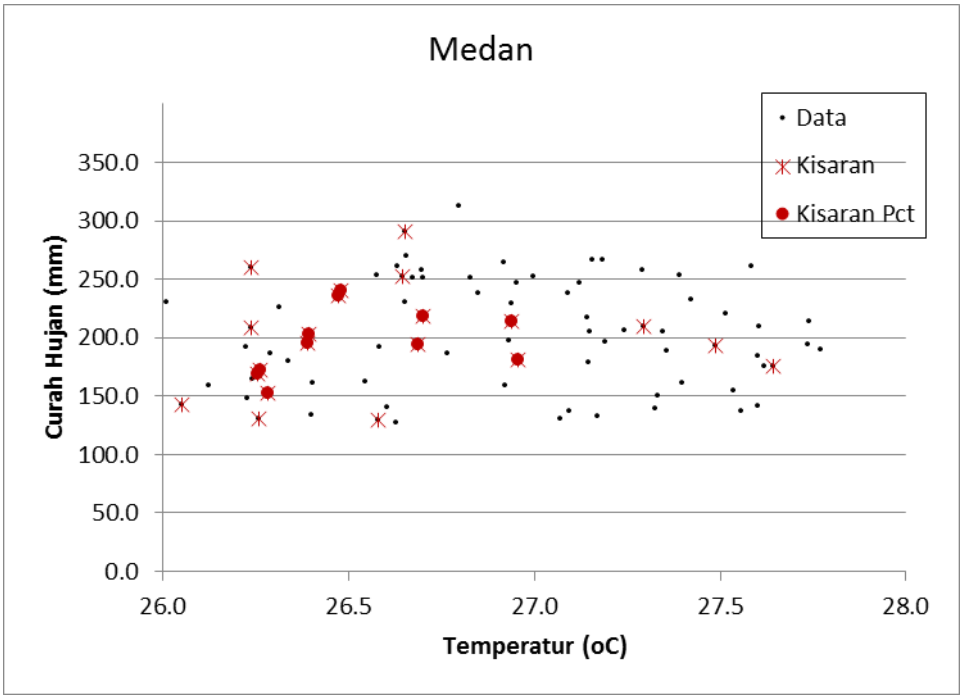
Gambar VII.5 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Bengkulu



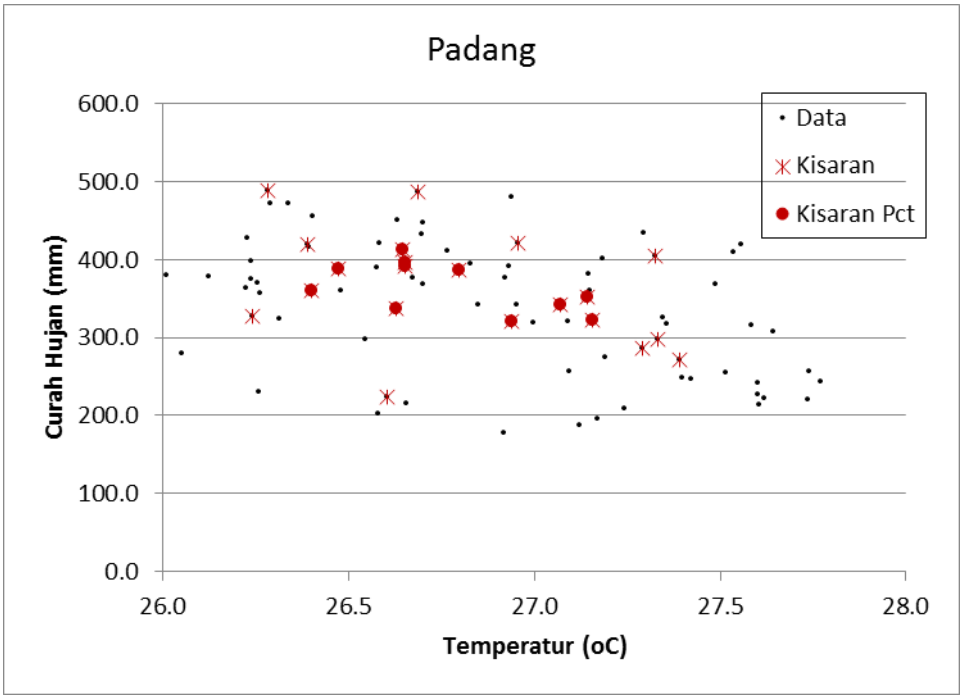
Gambar VII.6 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Jambi



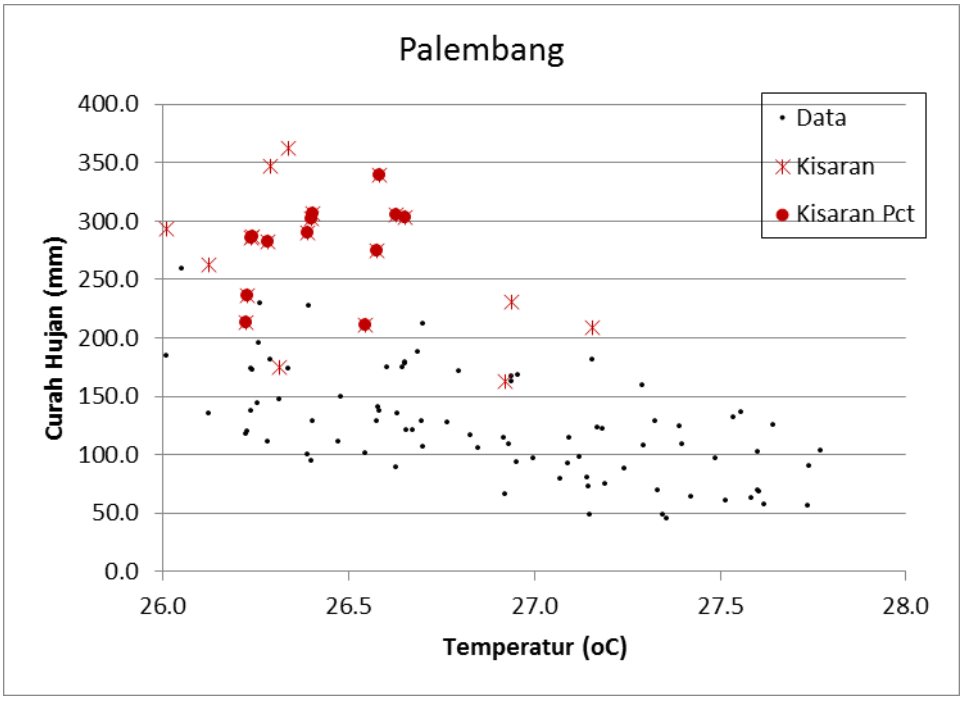
Gambar VII.7 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Kepahiang



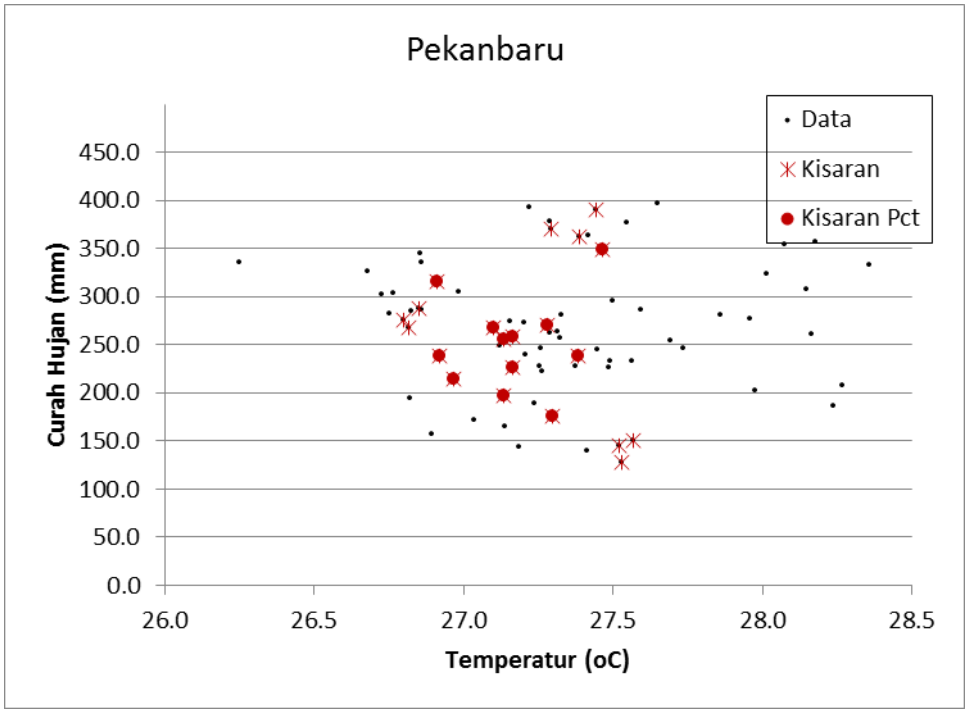
Gambar VII.8 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Medan (Polanian)



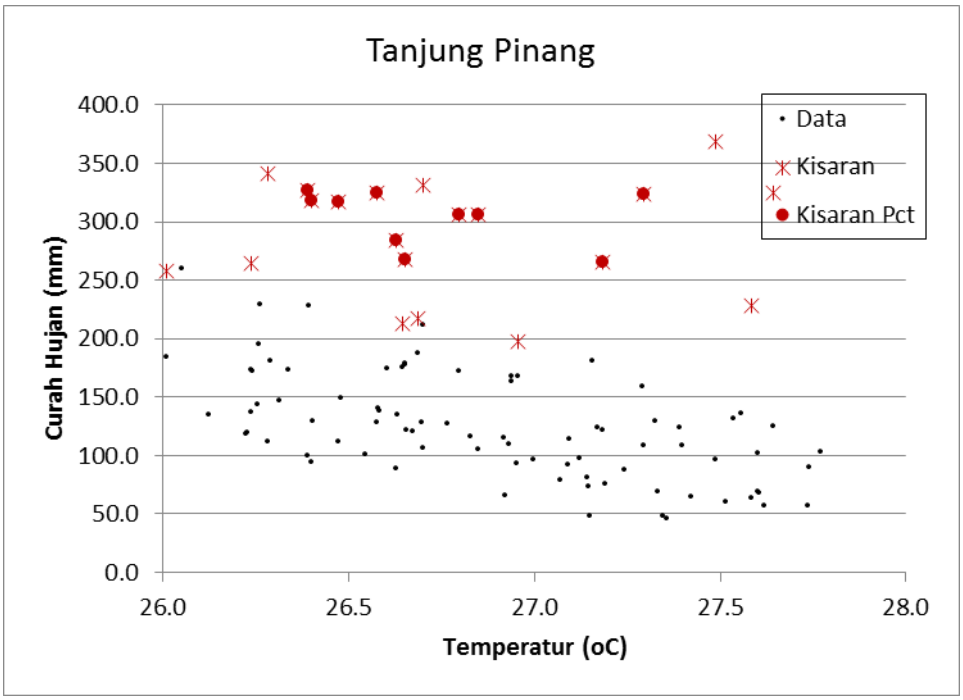
Gambar VII.9 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Padang



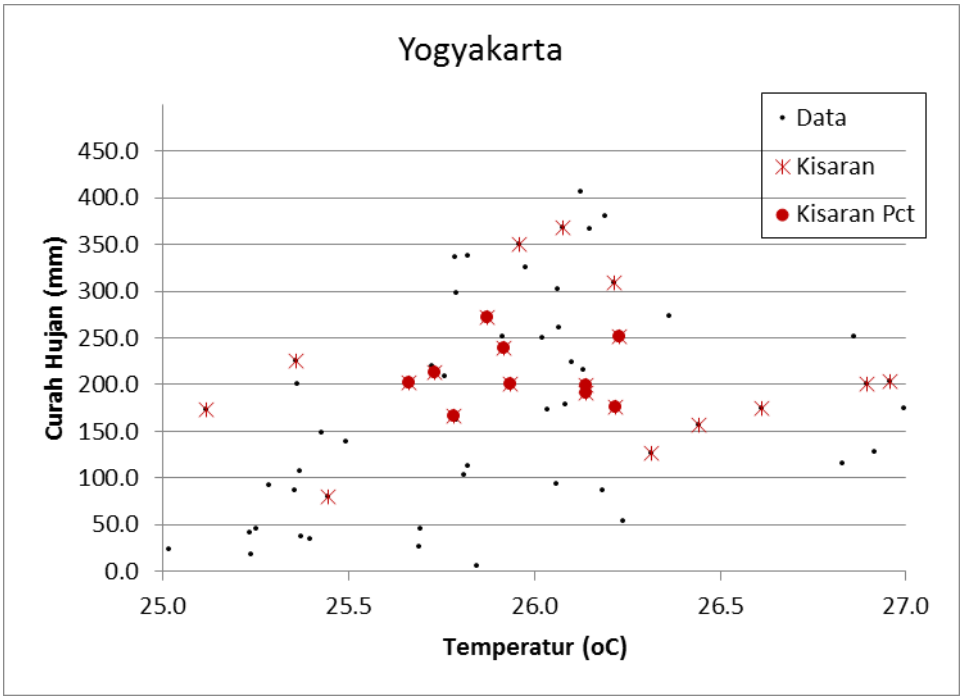
Gambar VII.10 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Palembang



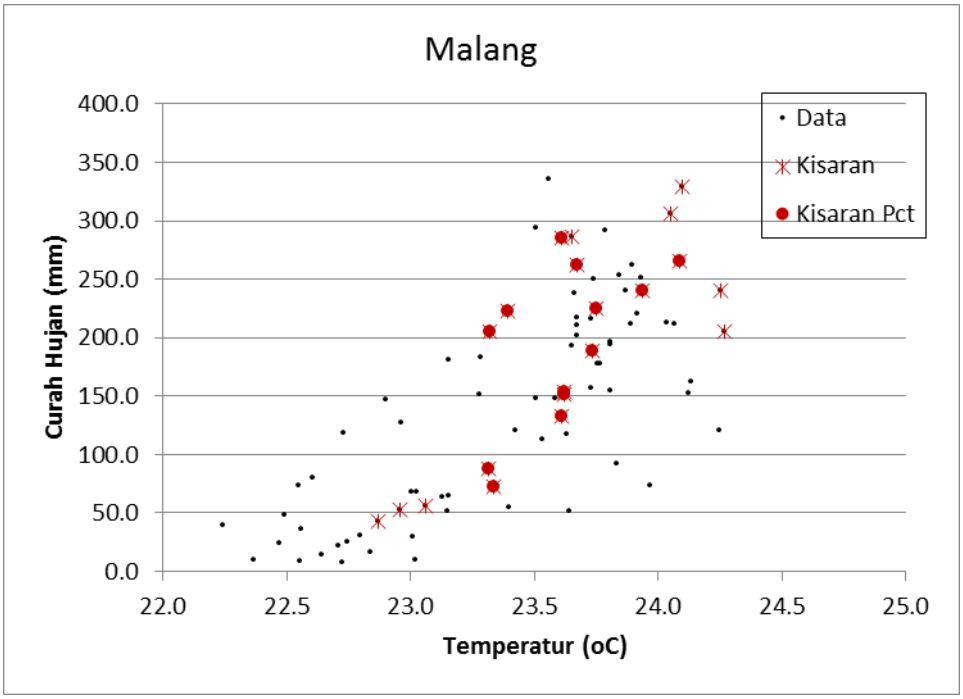
Gambar VII.11 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Pekanbaru



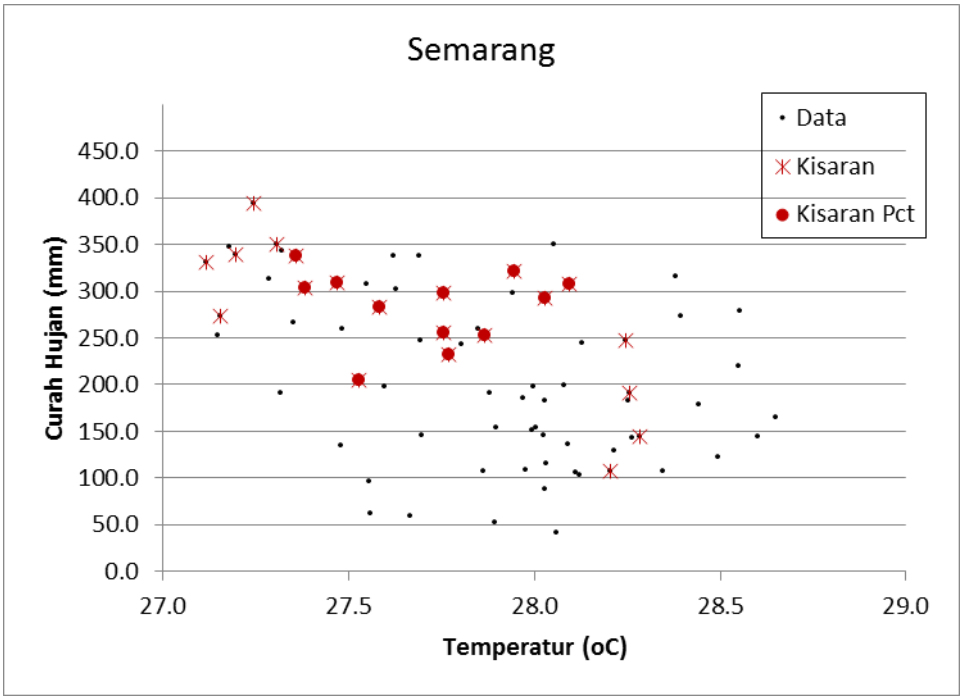
Gambar VII.12 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Tanjung Pinang



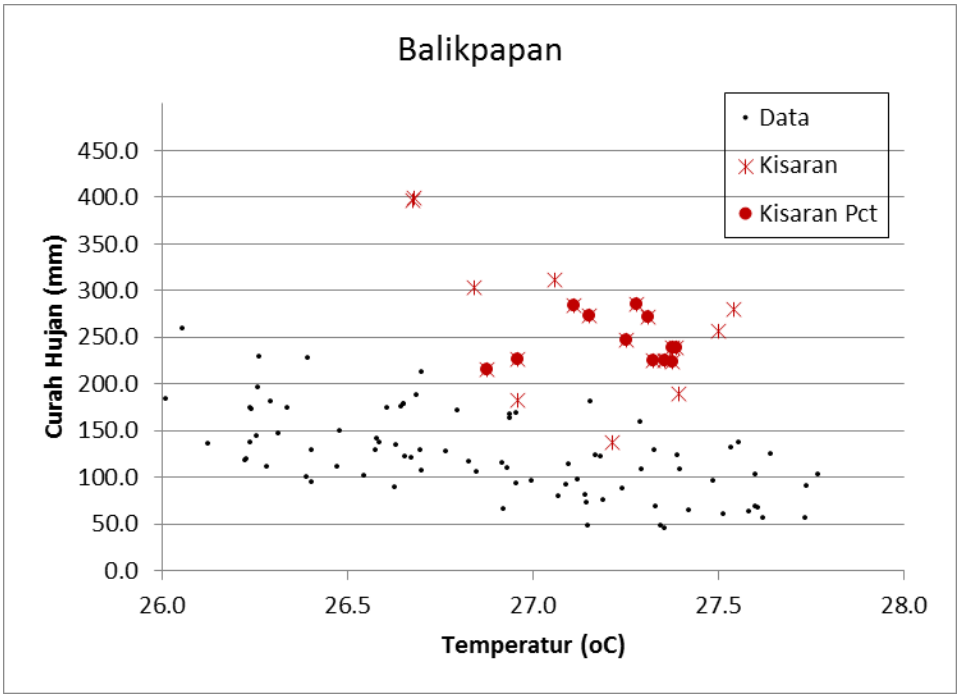
Gambar VII.13 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Yogyakarta



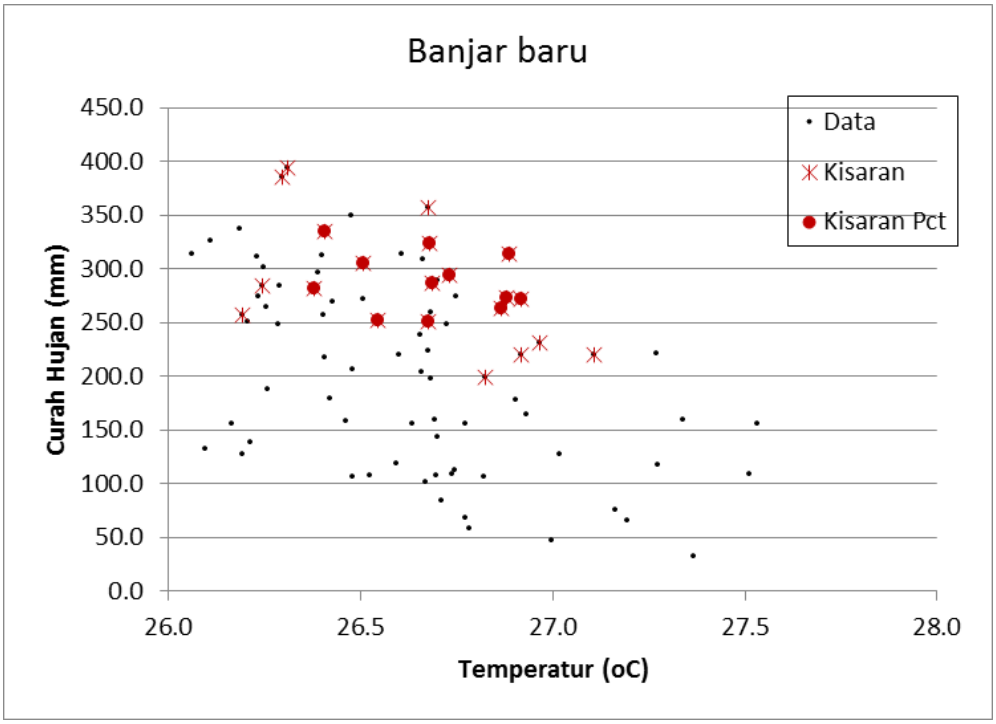
Gambar VII.14 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Malang



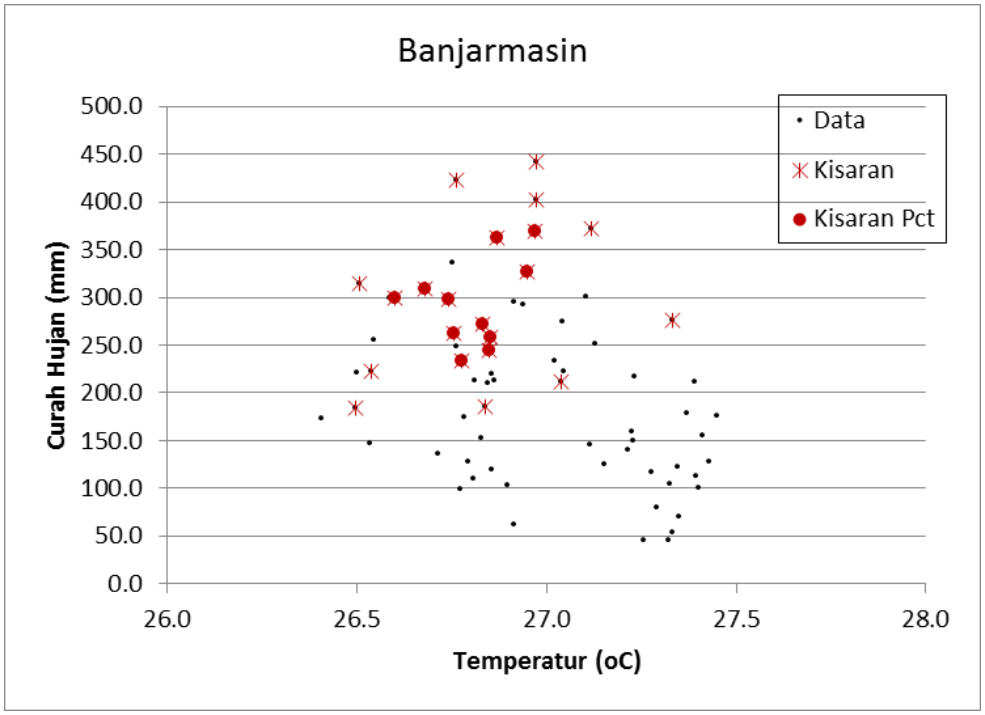
Gambar VII.15 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Semarang



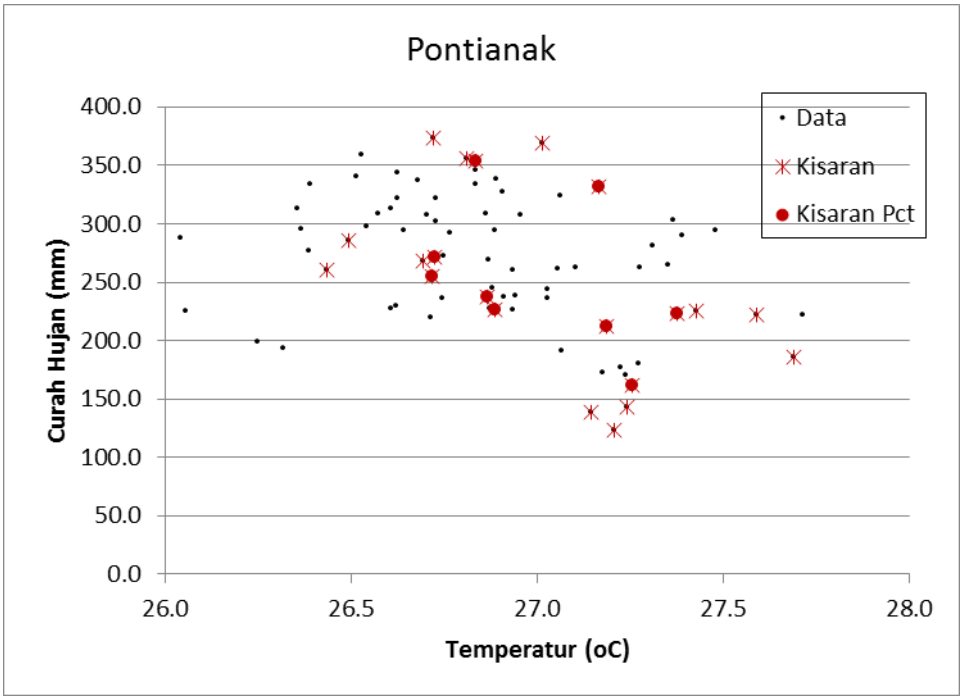
Gambar VII.16 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Balikpapan



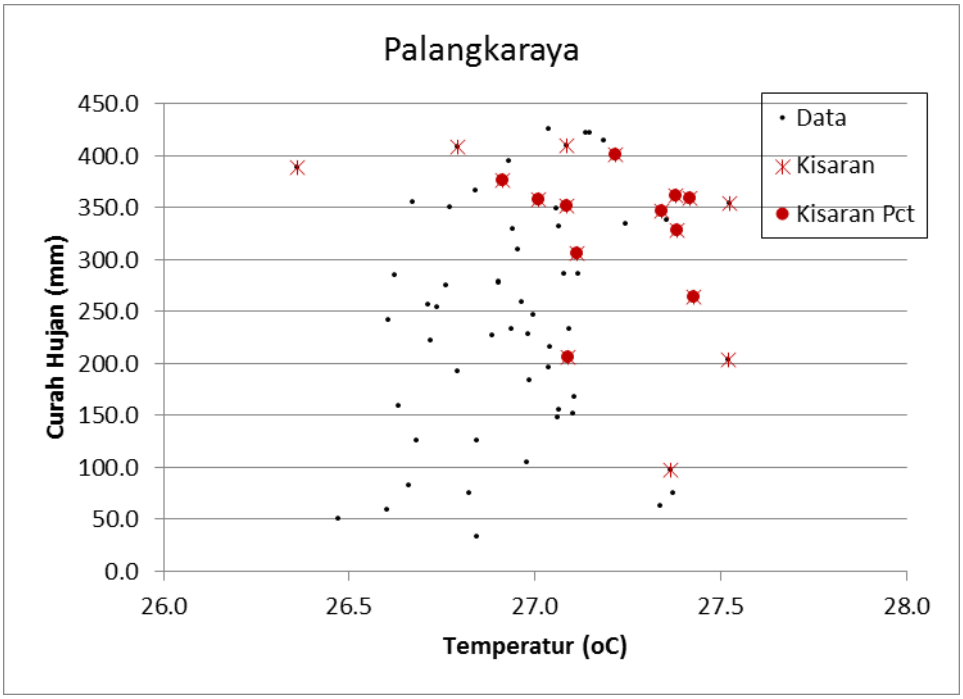
Gambar VII.17 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Banjar Baru



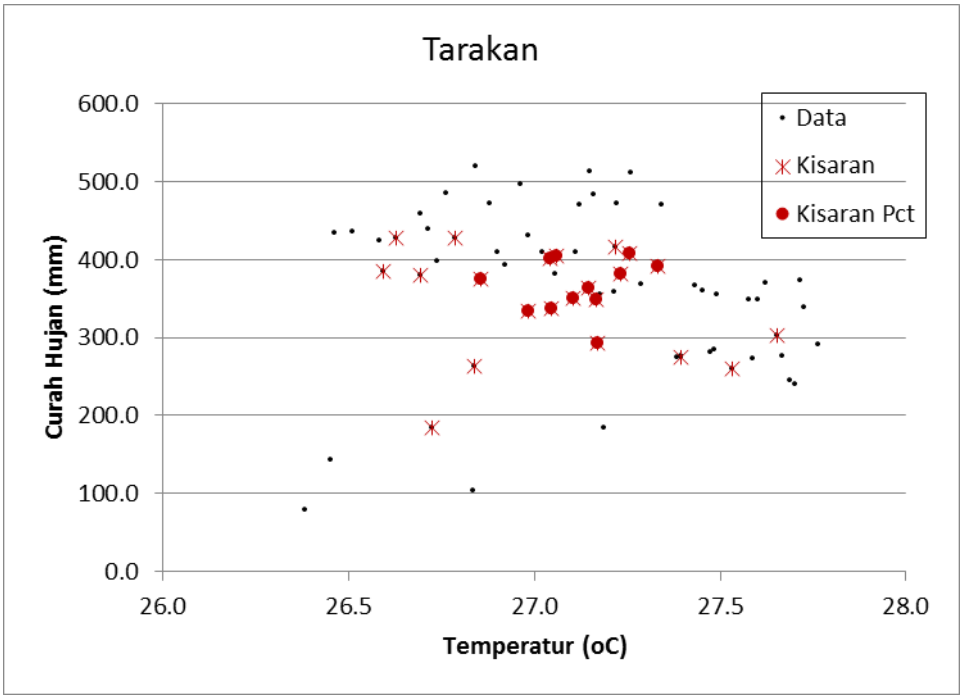
Gambar VII.18 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Banjarmasin



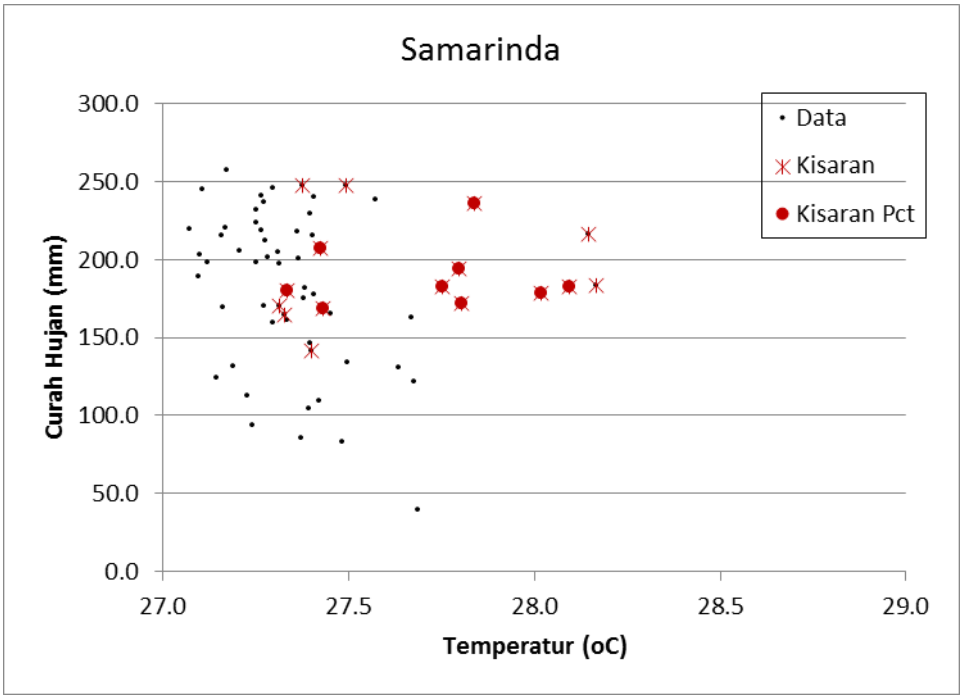
Gambar VII.19 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Pontianak



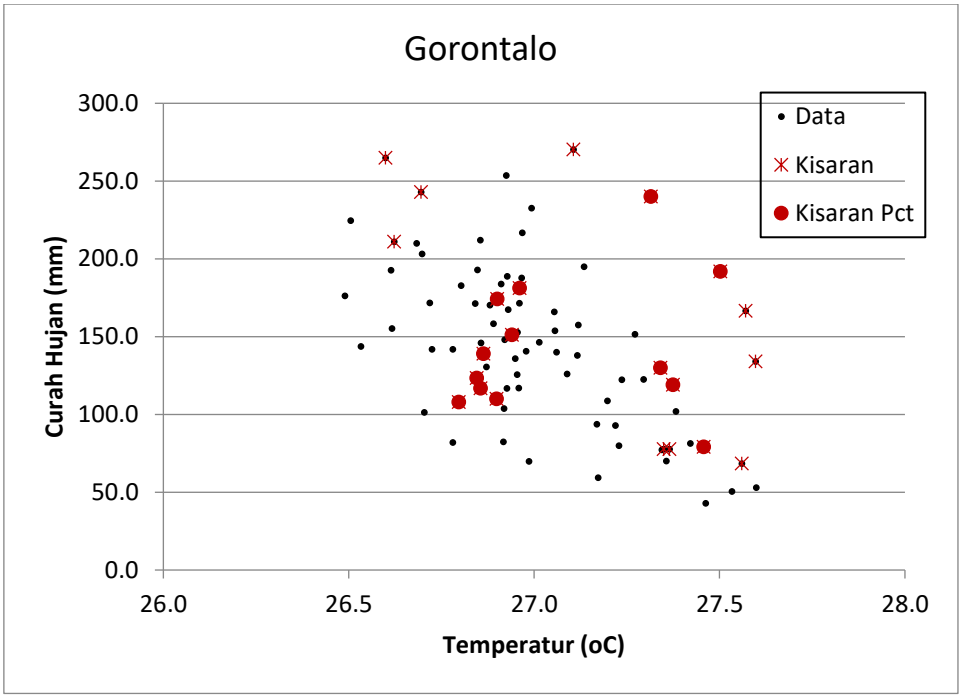
Gambar VII.20 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Palangkaraya



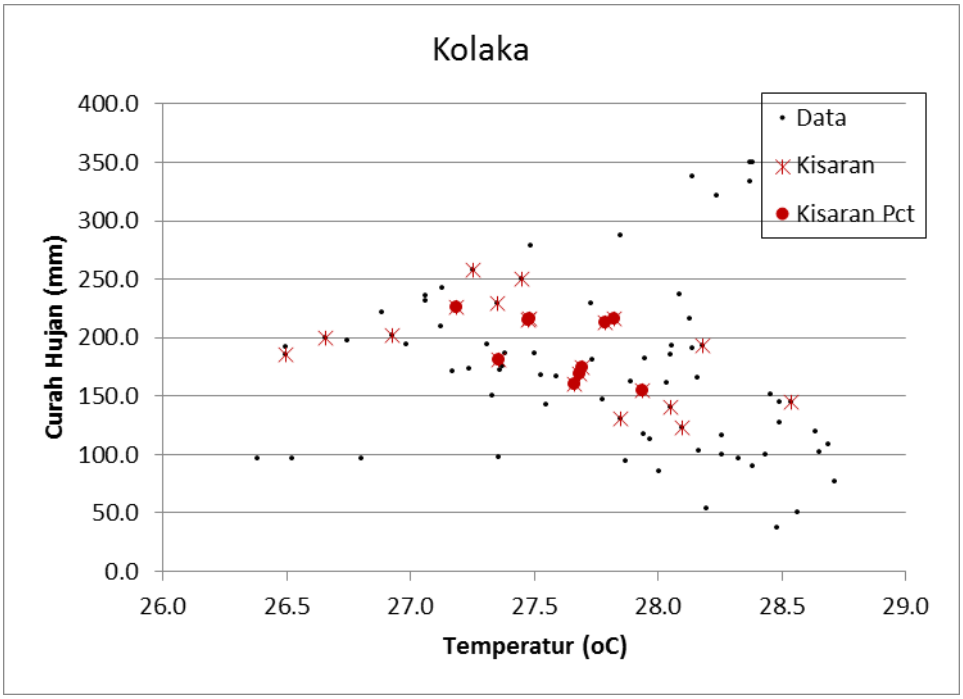
Gambar VII.21 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Tarakan



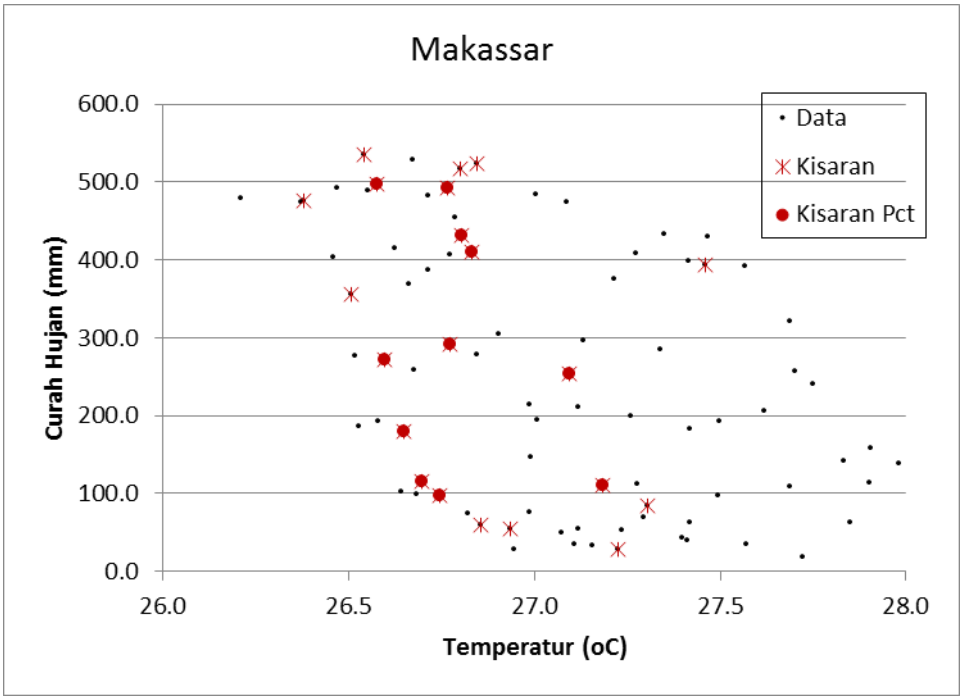
Gambar VII.22 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Samarinda



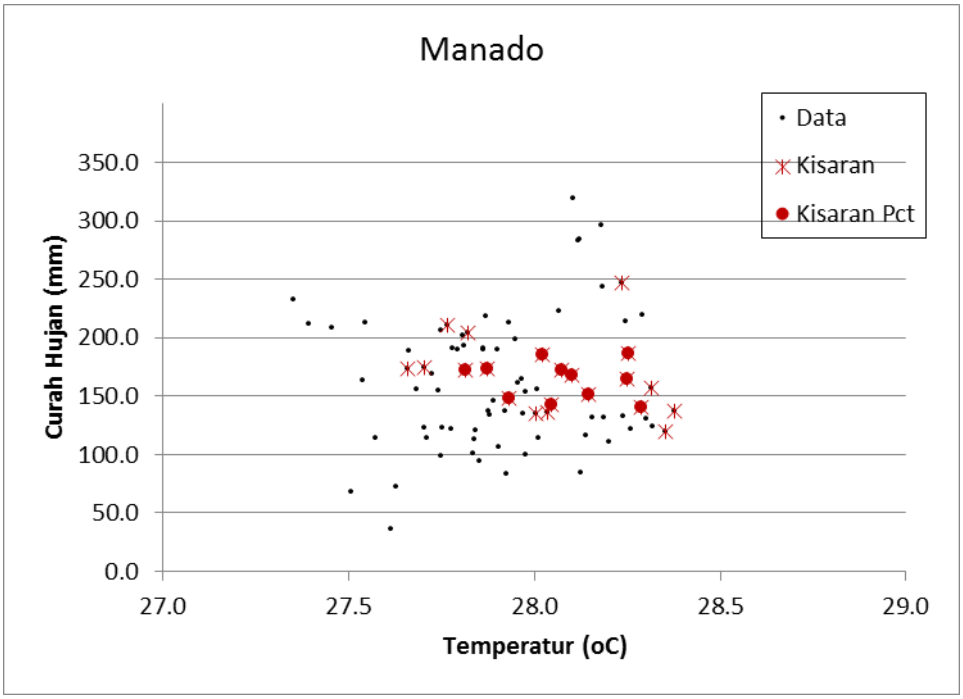
Gambar VII.23 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Gorontalo



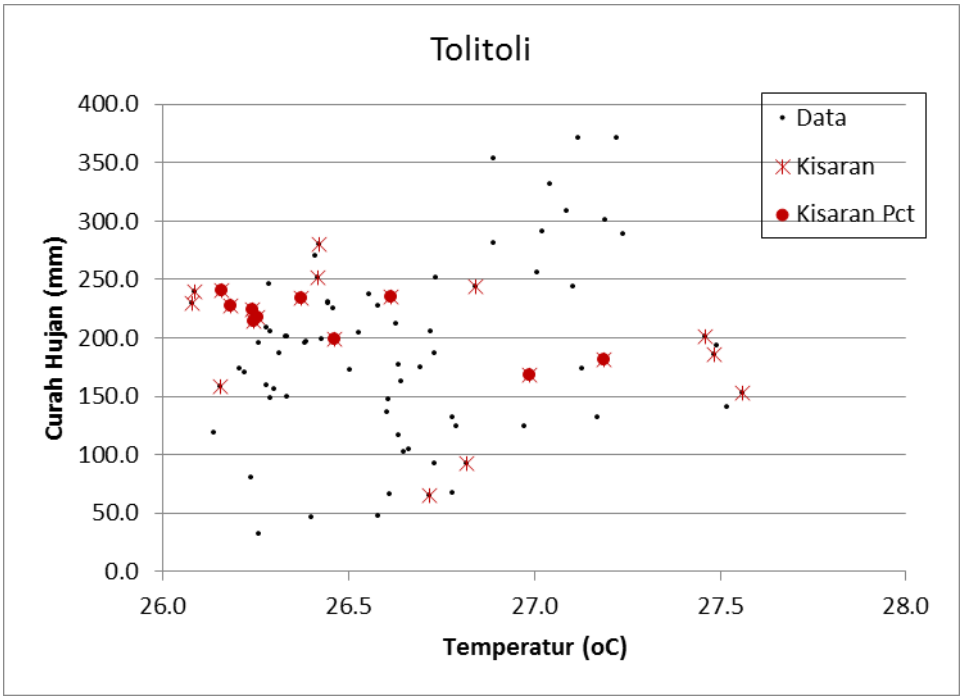
Gambar VII.24 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Kolaka



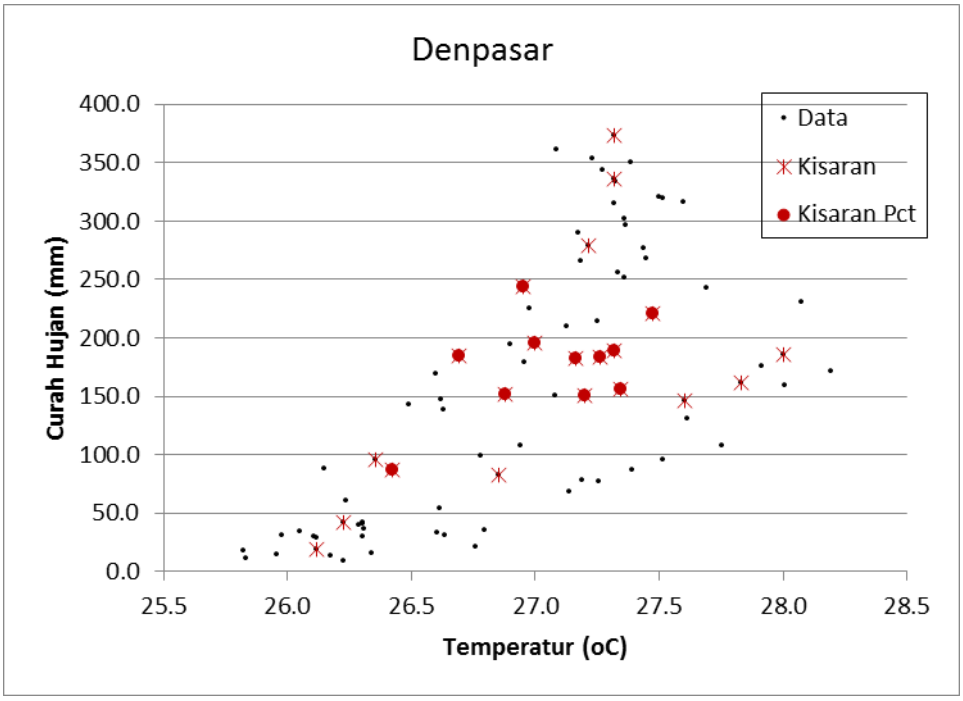
Gambar VII.25 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Makassar



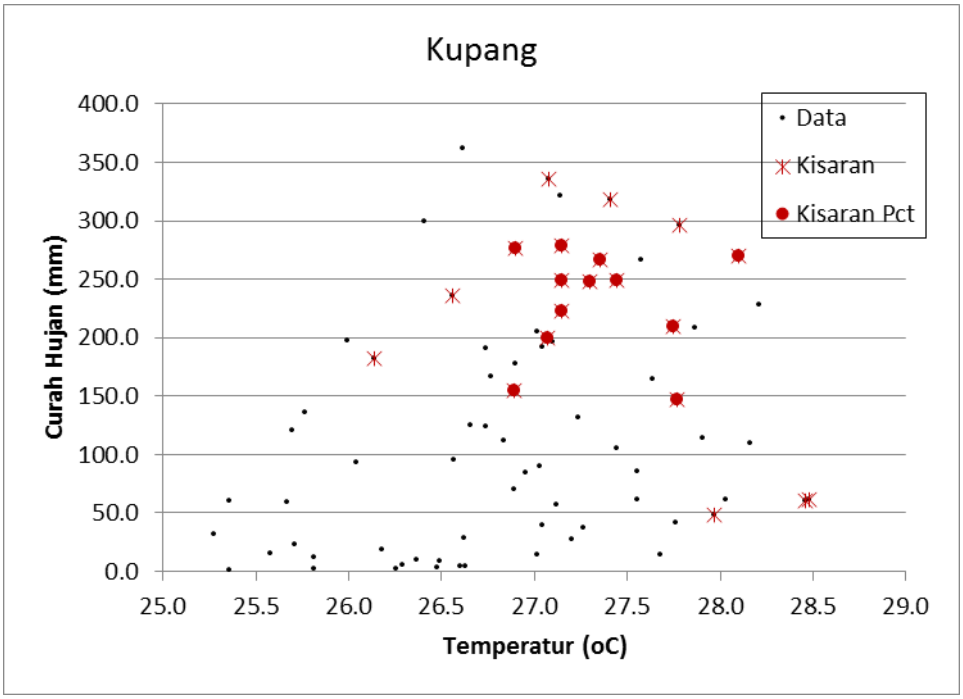
Gambar VII.26 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Manado



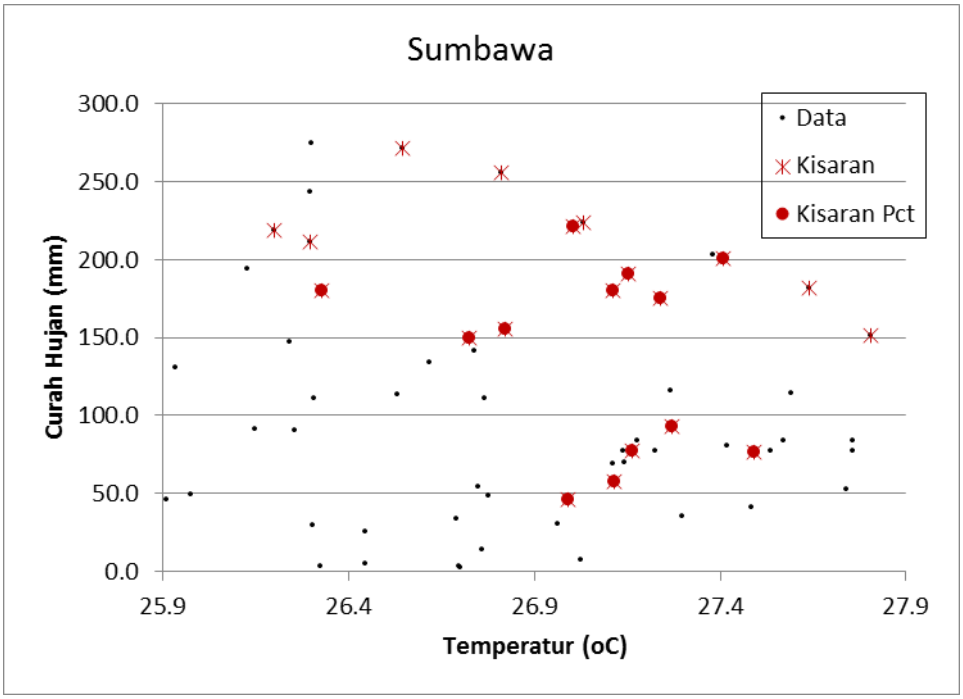
Gambar VII.27 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Toli-toli



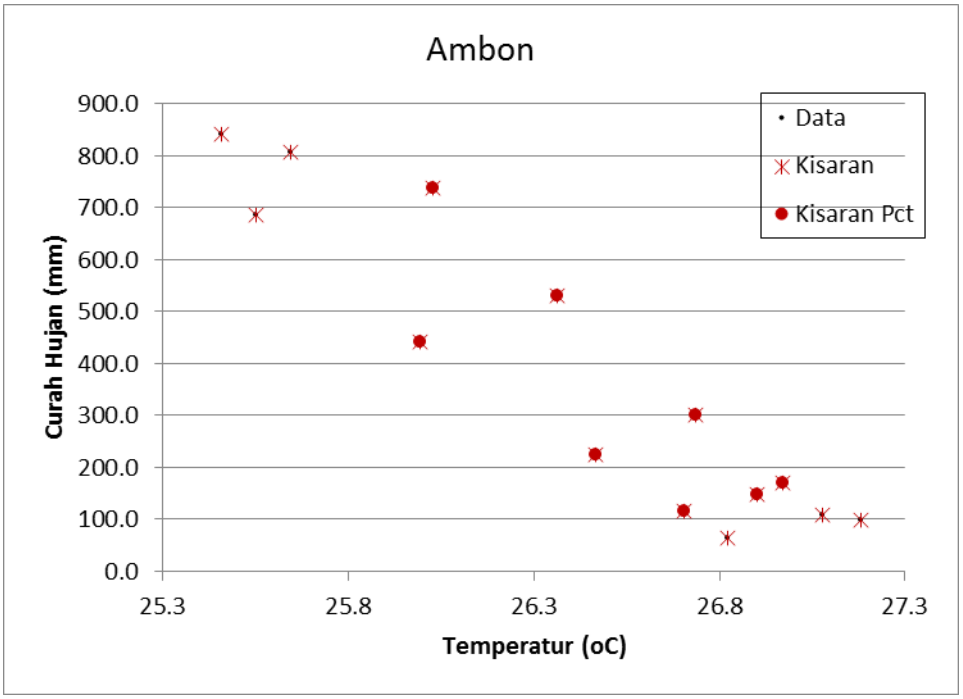
Gambar VII.28 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Denpasar



Gambar VII.29 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Kupang



Gambar VII.30 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Sumbawa



Gambar VII.31 Hubungan antara Curah Hujan dan Temperatur di Ambon

RAN_API sekretariat.ranapi SekretariatRANAPI

SEKRETARIAT RAN API
Gedung Lippo Kuningan, Lantai 15
Jl. H. R. Rasuna Said No.Kav. B 12
Setiabudi Jakarta Selatan
Telp: (021) 80679319
Email: admin@sekretariat-ranapi.org
Website: www.sekretariat-ranapi.org

SEKRETARIAT RAN API
www.sekretariat-ranapi.org

USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE