



Kementerian PPN/  
Bappenas

KAJI ULANG RAN API

Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim

# KAJIAN BASIS ILMIAH PROYEKSI IKLIM ATMOSFERIK

2018



SEKRETARIAT  
RAN API

[www.sekretariat-ranapi.org](http://www.sekretariat-ranapi.org)



**USAID**  
DARI RAKYAT AMERIKA



Kaji Ulang RAN API 2018

# Proyeksi Iklim Atmosferik



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 Proyeksi Iklim Atmosferik. Bappenas, Jakarta, 51 hal.

## KATA PENGANTAR

Perubahan iklim tidak hanya disebabkan oleh faktor alami seperti pergeseran variabilitas parameter iklim secara global, tetapi juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia diantaranya degradasi lahan gambut, deforestasi, kebakaran hutan, konversi lahan, industri, dan sebagainya. Dampak yang dapat ditimbulkan dari perubahan iklim antara lain seperti kemarau yang berkepanjangan dan cuaca ekstrem yang berakibat pada banjir.



Proyeksi iklim dibutuhkan untuk mengetahui perubahan di masa depan dan implikasinya terhadap pembangunan. Kajian ilmiah mengenai perubahan iklim dan dampaknya diperlukan untuk mendukung kegiatan penanganan perubahan iklim. Dalam hal ini Bappenas bersama BMKG, melalui RAN API mengkaji keragaman dan proyeksi iklim di Indonesia dengan menggunakan parameter iklim temperatur dan curah hujan sampai 2045.

Hasil kajian proyeksi iklim atmosferik bermanfaat dalam perencanaan dan penyusunan rencana strategis adaptasi perubahan iklim dan resiliensi. Kajian ini bermanfaat untuk meningkatkan kualitas analisis bahaya akibat perubahan iklim di berbagai sektor, khususnya sektor sumber daya air, kesehatan dan pertanian. Sebagai poin utama dari kajian adaptasi, maka hasil kajian ini juga berfungsi sebagai input dalam penyusunan RPJMN 2020-2024. Bappenas melalui kaji ulang RAN API menyediakan dasar ilmiah dalam pengembangan kebijakan dan strategi ke depan bagi sektor pembangunan.

Model proyeksi Skenario IPCC RCP4.5 yang digunakan dalam kajian ini merepresentasikan emisi tingkat menengah, sedangkan Skenario IPCC RCP8.5 merupakan ambang bawah jika tidak ada aksi untuk membatasi emisi gas rumah kaca. Penyusunan periode proyeksi dekadal yang sesuai dengan periode perencanaan pembangunan juga dapat dikembangkan untuk memudahkan strategi adaptasi yang akan diimplementasikan.

Akhir kata, Saya mengucapkan terima kasih atas kontribusi dari berbagai pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan ini. Saya berharap laporan ini dapat bermanfaat di tingkat nasional maupun daerah.

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 Proyeksi Iklim Atmosferik

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional;  
Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan; Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.

### Tim Penyusun (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika)

Dr. Ir. Dodo Gunawan, DEA; Dr. Urip Haryoko, M.Si; Dr. Ardasena Sopaheluwakan; Kadarsah M.Si; Adi Ripaldi, M.Si; Radyan Putra Pradana, S.P., M.Env.Sc; Robi Muharsyah, S.si; Ratna; Adjie Linarko; Ferdika

### Tenaga Ahli Penyusun

Dr. Akhmad Faqih, S.Si;

### 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

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>TIM PENYUSUN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan .....	2
1.3. Ruang Lingkup Kegiatan.....	2
<b>BAB 2. POLA IKLIM INDONESIA.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 3. KERAGAMAN IKLIM INDONESIA .....</b>	<b>7</b>
3.1. Keragaman Iklim Intra-Musiman .....	8
3.1.1. <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO).....	8
3.1.2. <i>Seruak Dingin</i> ( <i>Cold Surge</i> ).....	9
3.2. Keragaman Iklim Antar Tahun .....	10
3.2.1. <i>El Niño-Southern Oscillation</i> (ENSO).....	10
3.2.2. <i>Indian Ocean Dipole</i> (IOD) .....	15
3.3. Keragaman Iklim Antar-Dasawarsa.....	16
3.4. Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem .....	16
<b>BAB 4. HISTORIS PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA .....</b>	<b>18</b>
4.1. Perubahan Temperatur.....	18
4.2. Perubahan Curah Hujan.....	21
4.2.1. Tren Musiman dan Tahunan.....	21
4.2.2. Tren Dasawarsa.....	22
4.3. Perubahan Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem .....	24
4.3.1. Tren Indeks Curah Hujan Ekstrem .....	24
4.3.2. Tren Indeks Temperatur Ekstrem .....	26
<b>BAB 5. SKENARIO PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA.....</b>	<b>28</b>
5.1. Skenario Kenaikan Temperatur Permukaan .....	28
5.1.1. <i>Downscaling</i> Dinamis.....	28
5.1.2. <i>Downscaling</i> Statistik.....	31
5.2. Skenario Perubahan Curah Hujan.....	32
5.2.1. <i>Downscaling</i> Dinamis.....	32
5.2.2. <i>Downscaling</i> Statistik.....	41
5.3. Skenario Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem (ETCCDI) .....	46
<b>BAB 6. KESIMPULAN .....</b>	<b>49</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Contoh perbedaan pola hujan bulanan di Indonesia.....	3
Gambar 2-2	Keragaman pola hujan di Indonesia .....	3
Gambar 2-3	Peta normal a) Awal Musim Kemarau, b) Awal Musim Hujan, c) Panjang Musim Kemarau, dan d) Panjang Musim Hujan di Indonesia berdasarkan data 1981-2010 .....	5
Gambar 2-4	Peta normal curah hujan tahunan Indonesia berdasarkan data 1981-2010, warna menunjukkan total curah hujan dalam setahun.....	6
Gambar 2-5	Peta normal curah hujan bulanan (Januari hingga Desember) di Indonesia berdasarkan data 1981-2010, warna menunjukkan total curah hujan dalam sebulan.....	6
Gambar 3-1	Curah hujan bulanan tahun 2015 di Kemayoran Jakarta dan perbandingannya terhadap kondisi normal.....	7
Gambar 3-2	Komposit anomali curah hujan (mm/hari) pada setiap fase MJO periode musim hujan (atas) dan musim kemarau (bawah) .....	9
Gambar 3-3	Komposit curah hujan di DJF 2011/12, 2012/13, dan 2013/14 (a) klimatologi di DJF, (b) peristiwa cold surge, dan (c) tidak ada cold surge. Unit dalam mm/hari .....	10
Gambar 3-4	Pembagian Wilayah NIÑO 3, 4 dan 3.4, dan b) Anomali SPL Desember 1997 .....	11
Gambar 3-5	Kondisi curah hujan saat kejadian: a) La Niña tahun 1998, dan b) El Niño 1997 .....	11
Gambar 3-6	Pos hujan yang dilibatkan dalam analisis komposit.....	12
Gambar 3-7	Komposit curah hujan periode 1985 2016 pada saat kejadian El Niño. Warna menunjukkan curah hujan dalam persentil.....	13
Gambar 3-8	Komposit curah hujan periode 1985 2016 pada saat kejadian La Niña. Warna menunjukkan curah hujan dalam persentil.....	14
Gambar 3-9	Ilustrasi wilayah yang digunakan untuk menghitung Dipole Mode Index (DMI) (Sumber: <a href="http://www.bom.gov.au/climate/IOD/about_IOD.shtml">http://www.bom.gov.au/climate/IOD/about_IOD.shtml</a> ) .....	15
Gambar 3-10	Ilustrasi kejadian IOD positif (kiri) dan IOD negatif (kanan). (Sumber: <a href="http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/e/iod/about_iod.html">http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/e/iod/about_iod.html</a> ).....	15
Gambar 3-11	Grafik indeks IPO (garis tebal) dan indeks SOI (garis putus-putus) (Chiew dkk., 2003) .....	16
Gambar 3-12	Nilai rata-rata beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016).....	17
Gambar 4-1	(a) Suhu udara permukaan (Tmin, Tmean, Tmax) Jakarta Obs. (1866-2010) dan Stasiun meteorologi Citeko (WMO No. 96751, terletak pada 6.7°S 106.9°E, 920 m.s.l, dan sekitar 70km dari Jakarta Citeko, Bogor (1985-2010). Kedua suhu telah disesuaikan berdasarkan perbedaan ketinggian dengan mempertimbangkan adiabatik kering (kecepatan 0,65K/100 m). (b) Anomali Observatorium Jakarta (merah) dan data global (hitam) CRUTEM 4.2.0.0 bulanan.....	18
Gambar 4-2	Tren kenaikan suhu udara maksimum (warna merah, garis solid), suhu udara rata-rata (warna hitam, garis titik-titik) dan suhu udara minimum (warna biru, garis putus-putus) di Stasiun Jatiwangi.....	19
Gambar 4-3	Tren temperatur rata-rata di beberapa stasiun (1981-2016).....	19
Gambar 4-4	Tren temperatur maksimum di beberapa stasiun (1981-2016). .....	20

Gambar 4-5	Tren temperatur minimum di beberapa stasiun (1981-2016).....	20
Gambar 4-6	Tren kenaikan curah hujan yang meliputi 88 stasiun dengan data pengamatan (1983-2012).....	21
Gambar 4-7	Time series anomali CH tahunan untuk region: Indonesia (country level), monsonal (region A), ekuatorial (region B) dan lokal (region C) (Supari dkk., 2017) .....	22
Gambar 4-8	Tren dekadal curah hujan tahunan di Indonesia dihitung untuk setiap periode 30-tahunan dengan pergeseran perhitungan setiap 10 tahun, yaitu untuk periode: a) 1901-1930, b) 1911-1940, c) 1921-1950, d) 1931-1960, e) 1941-1970, f) 1951-1980, g) 1961-1990, h) 1971-2000, dan i) 1981-2010 .....	23
Gambar 4-9	Tren dekadal frekuensi hari hujan tahunan di Indonesia dihitung untuk setiap periode 30-tahunan dengan pergeseran perhitungan setiap 10 tahun, yaitu untuk periode: a) 1901-1930, b) 1911-1940, c) 1921-1950, d) 1931-1960, e) 1941-1970, f) 1951-1980, g) 1961-1990, h) 1971-2000, dan i) 1981-2010.....	23
Gambar 4-10	Tren fraksi curah hujan di beberapa stasiun BMKG .....	24
Gambar 4-11	Tren jumlah kejadian hujan yang nilainya melampaui ambang batas 1 mm/hari, 20 mm/hari, 50 mm/hari dan 100 mm/hari di beberapa stasiun BMKG .....	25
Gambar 4-12	Tren spasial beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016).....	26
Gambar 4-13	Perubahan rata-rata temperatur maksimum tahunan (TXmean) dan temperatur minimum tahunan (TNmean) (Supari dkk., 2017) .....	27
Gambar 4-14	Tren indeks temperatur ekstrem di wilayah Indonesia: a) TX90P, b) TN90P c) TX10p, dan d) TN10p (Supari dkk., 2017) .....	27
Gambar 5-1	Hasil rerata multimodel perubahan temperatur rata-rata bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005 .....	28
Gambar 5-2	Multimodel mean perubahan temperatur minimum bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005 .....	29
Gambar 5-3	Multimodel mean perubahan temperatur maximum bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005 .....	30
Gambar 5-4	Perbandingan proyeksi tren peningkatan temperatur rata-rata global dengan temperatur di Indonesia dan di 7 wilayah Ekoregion Indonesia .....	31
Gambar 5-5	Curah hujan rata-rata harian di Indonesia berdasarkan data historis multimodel ensemble (periode 1990-2005) .....	33
Gambar 5-6	Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5 .....	34
Gambar 5-7	Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5 .....	35
Gambar 5-8	Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5 .....	36

Gambar 5-9	Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5 .....	37
Gambar 5-10	Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5.....	38
Gambar 5-11	Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5.....	39
Gambar 5-12	Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5.....	40
Gambar 5-13	Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5.....	41
Gambar 5-14	Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah Indonesia .....	42
Gambar 5-15	Perbandingan curah hujan klimatologi bulanan rata-rata seluruh wilayah Indonesia antara periode skenario dan referensi observasi (garis hitam putus-putus). Data skenario dihitung dari proses downscaling luaran 24 GCM CMIP5 untuk 4 skenario RCP, yaitu RCP-2.6, RCP-4.5, RCP-6.0 dan RCP-8.5 (atas-bawah). Garis merah putus-putus merupakan nilai median, sementara boxplot menunjukkan rentang variasi ketidakpastian (uncertainty) dari seluruh 24 GCM yang dianalisis. Periode skenario dibagi menjadi 3 periode per-15 tahunan, yaitu: 2020-2034, 2031-2045 dan 2086-2100 (kiri-kanan).....	43
Gambar 5-16	Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah: Sumatera, Jawa-Bali, dan Kalimantan .....	44
Gambar 5-17	Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah: Sulawesi, Papua, Nusa Tenggara dan Maluku .....	45
Gambar 5-18	Multimodel median frekuensi cold nights (TN10p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5 .....	47
Gambar 5-19	Multimodel median frekuensi warm nights (TN90p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5 .....	47
Gambar 5-20	Multimodel median frekuensi very cold days (TX10p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5 .....	48
Gambar 5-21	Multimodel median frekuensi very warm days (TX90p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5 .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Tabel informasi tahun-tahun dengan kejadian El Niño dan La Niña pada tiap kategori weak, moderate dan strong .....12
Tabel 5-1	Persentase (%) perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari rata-rata wilayah seluruh Indonesia untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai Curah Hujan (CH) skenario dihitung dari nilai median 24 GCM CMIP5.....42
Tabel 5-2	Persentase (%) perubahan curah hujan tahunan rata-rata dari rata-rata wilayah seluruh Indonesia dan di 7 wilayah terpisah, untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai CH skenario dihitung dari nilai median 24 GCM CMIP5.....46



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim global telah menarik perhatian banyak kalangan termasuk para ilmuwan dan pemangku kebijakan. Perubahan iklim yang sekarang sedang terjadi perlu disikapi dengan memahami dasar-dasar ilmiah, peristiwa, serta mengetahui penyebab dan dampaknya terhadap manusia dan lingkungan. Selanjutnya diperlukan langkah-langkah adaptasi (penyesuaian) dan mitigasi (penanggulangan). Para ilmuwan menggunakan model komputer untuk melakukan simulasi sistem iklim di bumi dalam rangka mempelajari perubahan iklim di masa lalu, saat ini dan masa yang akan datang. Berdasarkan luaran model tersebut, para ilmuwan telah membuat beberapa prakiraan mengenai indikasi dan dampak perubahan iklim terhadap cuaca, tinggi permukaan air laut, pantai, pertanian, kehidupan hewan liar dan kesehatan manusia.

Dukungan Pemerintah Indonesia terhadap perubahan iklim telah diwujudkan dalam beberapa kebijakan yang mendorong adanya upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Dukungan tersebut salah satunya diwujudkan dalam pembuatan dokumen untuk menangani perencanaan dan tindakan dalamantisipasi perubahan iklim. Dokumen tersebut antara lain, Laporan Komunikasi Nasional (*national communications*, Natcom) yang diserahkan ke the *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Hingga saat ini, Pemerintah Indonesia telah mengajukan Laporan *Natcom* yang pertama (*First National Communication*, INC) tahun 1999 dan kedua (*2nd National Communication*, SNC) pada tahun 2010.

Secara garis besar, laporan INC menjelaskan deskripsi umum iklim Indonesia dengan menginformasikan hanya kondisi klimatologis iklim di tingkat nasional terutama terkait dengan gambaran klimatologi musiman dan tahunan (Hidayat dkk., 2010). Kelemahan dari laporan tersebut adalah sumber data yang digunakan serta kurangnya deskripsi iklim historis dan skenario proyeksi iklim. Perbaikan Laporan INC dituangkan dalam Laporan Kedua (SNC) dengan menambahkan analisis serta penyempurnaan lainnya. Penyempurnaan yang dilakukan pada SNC terdiri dari deskripsi iklim historis klimatologi, variabilitas dan perubahan iklim. Dokumen SNC telah menggunakan skenario iklim SRES, yaitu SRES A2 dan B1. Sedangkan model iklim global yang digunakan adalah model iklim global (*Global Climate Model*, GCM) dari *Climate Model Inter Comparison Project version 3* (CMIP3). Semua model dan skenario tersebut berdasarkan laporan penilaian *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) yang ke-empat (*Fourth Assessment Report*, AR4). Sebanyak 14 model dengan tiga periode yang berbeda (2025s, 2050s dan 2080s) digunakan. Informasi lainnya juga terkait penelitian oleh Naylor et al. (2007) (Hidayat dkk., 2010) yang memuat perulangan monsoon di Indonesia. Salah satu kelemahan dari laporan tersebut adalah analisis mengenai proyeksi masa depan untuk unsur suhu dan kejadian ekstrem.

Dokumen selanjutnya adalah *Third National Communication* (TNC) yang akan disampaikan kepada UNFCCC pada tahun 2017. Dalam dokumen tersebut, peningkatan proyeksi perubahan iklim telah dilakukan dengan pengembangan database iklim nasional dari proyeksi perubahan iklim dan skenarionya. Database iklim nasional ini dapat diakses publik untuk membantu penyusunan kajian perubahan iklim di daerah. Sehingga analisis dampak, kerentanan, kebijakan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan.

Laporan ini memuat kajian historis iklim di Indonesia dengan menggunakan data observasi BMKG serta penyempurnaan laporan sebelumnya. Penyempurnaan lainnya adalah penggunaan *ensemble model*

yang dihasilkan dari kolaborasi penelitian di Asia Tenggara (CORDEX-SEA), kejadian ekstrem serta fokus pada kajian 7 wilayah yang termasuk RTRW.

## 1.2. Tujuan

Tujuan dan sasaran dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan proyeksi iklim jangka di seluruh Indonesia dan 7 wilayah pembangunan dengan menggunakan *ensemble model* resolusi 25km x 25km
2. Menghasilkan analisis kajian variabilitas dan perubahan iklim di Indonesia
3. Menghasilkan analisis kejadian ekstrem

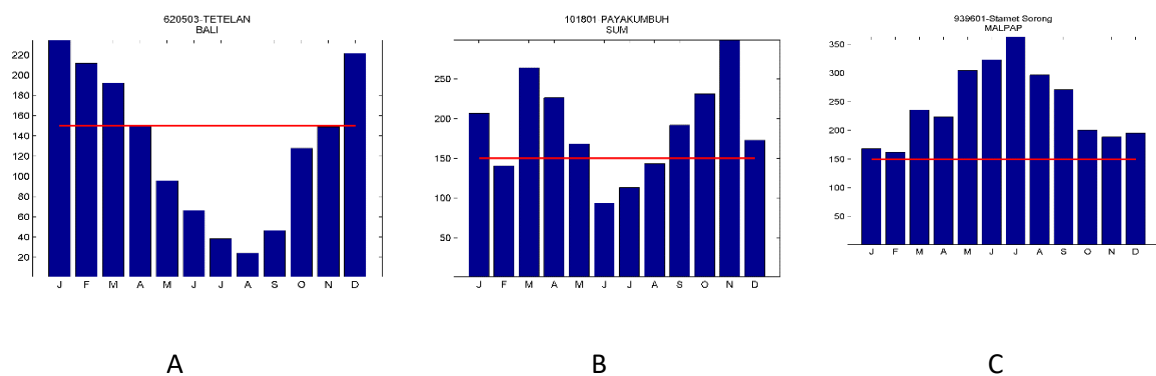
## 1.3. Ruang Lingkup Kegiatan

Lingkup kegiatan modeling ini adalah sebagai berikut:

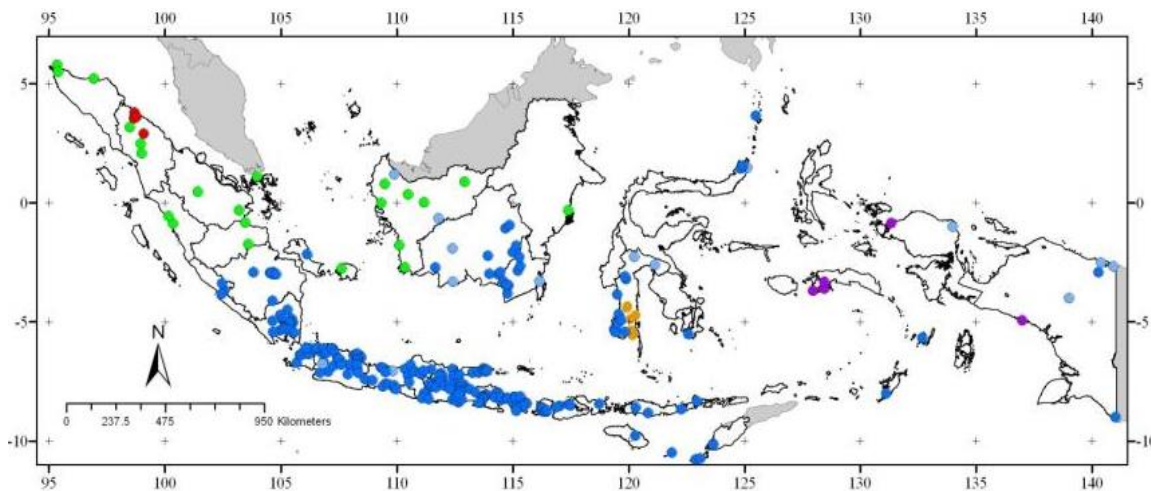
1. Melakukan kajian variabilitas dan tren iklim historis di Indonesia menggunakan data observasi.
2. Melakukan proyeksi Iklim menggunakan *ensemble model* di seluruh Indonesia berdasarkan skenario *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5 dan 8.5.
3. Melakukan kajian kejadian ekstrem di Indonesia

## BAB 2. POLA IKLIM INDONESIA

Letak geografis, bentuk negara kepulauan yang dikelilingi oleh lautan serta topografis yang terdiri dari pegunungan dan pantai merupakan salah satu penyebab keragaman iklim di Indonesia. Keragaman iklim tersebut dapat dilihat dari perbedaan curah hujan di setiap wilayah. Sehingga berdasarkan jumlah curah hujan dapat dibedakan terjadinya musim hujan dan musim kemarau. Sebagai contoh, pada Gambar 2-1 terlihat perbedaan grafik hujan rata-rata bulanan dari tiga lokasi yang berbeda. Secara spasial, representasi wilayah dengan pola curah hujan yang berbeda dapat dilihat dari peta distribusi stasiun hujan yang disajikan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-1 Contoh perbedaan pola hujan bulanan di Indonesia



Gambar 2-2 Keragaman pola hujan di Indonesia

Terdapat dua musim di Indonesia, yaitu Musim Kemarau (MK) dan Musim Hujan (MH). Umumnya MK terjadi pada periode April hingga September, sedangkan MH terjadi pada periode Oktober hingga Maret. Namun demikian secara spesifik tiap-tiap daerah mempunyai periode MK dan MH yang berbeda-beda. BMKG membedakan wilayah Indonesia menjadi wilayah yang mempunyai musim atau biasa disebut Zona Musim (ZOM) dan wilayah tidak ada musim atau Non Zona Musim (Non ZOM). ZOM adalah wilayah yang dapat dibedakan dengan jelas antara periode MK dan MH. Perbedaan ini berdasarkan jumlah curah hujan perdasarian (10 harian) dengan ambang batas 50 mm/dasarian.

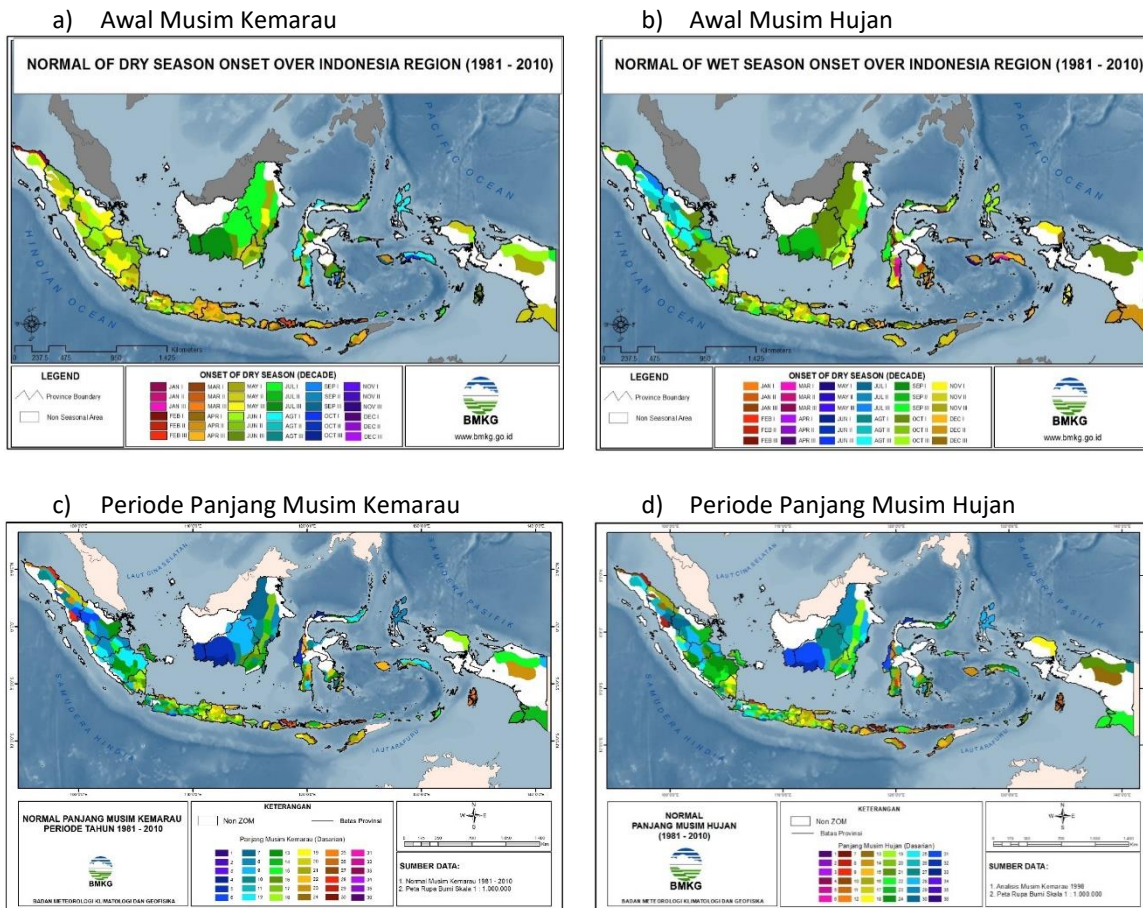
Berdasarkan data curah hujan 1981-2010, BMKG membagi wilayah Indonesia menjadi 342 ZOM dan 65 Non ZOM.

Awal musim kemarau (AMK) pada 342 ZOM di Indonesia sangat bervariasi. Pada Gambar 1, terlihat bahwa AMK mulai terjadi pada bulan Maret di wilayah Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat. Selanjutnya AMK di wilayah Jawa bagian timur umumnya terjadi pada bulan April sedangkan Jawa bagian tengah dan barat umumnya terjadi pada April dan Mei. Memasuki wilayah Sumatera umumnya AMK terjadi pada bulan Mei dan Juni. Sebagian besar Kalimantan mengalami AMK pada bulan Juli, namun demikian sebagian Kalimantan seperti di Provinsi Kalimantan Selatan, AMK terjadi pada bulan Juni. Selanjutnya wilayah Sulawesi, AMK terjadi pada bulan Juli dan Agustus. Begitu juga dengan wilayah Maluku, umumnya AMK terjadi pada bulan Agustus dan September. Pulau Papua mempunyai AMK yang mirip dengan pulau Jawa, yaitu berkisar antara April hingga Juni. Keragaman AMK di setiap wilayah di Indonesia ini nantinya berpengaruh terhadap lama atau tidaknya wilayah tersebut mengalami kemarau. Wilayah dengan AMK lebih cepat berpotensi mengalami kekurangan curah hujan karena lamanya periode kemarau yang terjadi atau disebut sebagai Periode Panjang Kemarau (PPK).

PPK di 342 ZOM di Indonesia juga cukup beragam. Pada Gambar 2-3 terlihat bahwa wilayah Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur mempunyai PPK lebih lama dibandingkan wilayah lainnya. Umumnya wilayah tersebut mempunyai PPK hingga 24 dasarian (8 bulan). Wilayah Jawa bagian timur umumnya PPK berkisar 18-19 dasarian (sekitar 6 bulan). Begitu juga untuk wilayah Sumatera bagian selatan dengan PPK berkisar 5 hingga 6 bulan. Memasuki wilayah Sumatera bagian tengah hingga utara, PPK lebih pendek dibandingkan bagian selatan, dengan kisaran 3 hingga 4 bulan. Wilayah Kalimantan umumnya PPK hanya berkisar 2 bulan. Selanjutnya untuk wilayah Sulawesi dan Maluku PPK berkisar antara 3 hingga 4 bulan, Namun demikian terdapat beberapa wilayah di Sulawesi Selatan PPK yang terjadi hingga 6-7 bulan. Wilayah pulau Papua, PPK berkisar 5 hingga 6 bulan. Keragaman PPK ini berpengaruh pada awal musim hujan (AMH) di Indonesia.

Pada Gambar 2-3, terlihat bahwa AMH mulai terjadi pada bulan Juli dan Agustus pada Sumatera bagian utara dan tengah, selanjutnya wilayah Sumatera bagian selatan hingga ke Jawa bagian barat dan tengah, AMH terjadi pada bulan September dan Oktober. Begitu juga untuk wilayah Kalimantan dengan AMH umumnya terjadi pada September dan Oktober. Wilayah paling lambat mengalami AMH adalah Jawa bagian timur, pulau Bali hingga Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Wilayah tersebut mengalami AMH pada November bahkan Desember. Selanjutnya wilayah Sulawesi mempunyai AMH yang cukup beragam. Sebagian besar AMH di Sulawesi terjadi pada September dan Oktober, namun demikian terdapat beberapa wilayah di Sulawesi Selatan dengan AMH terjadi pada bulan Maret. Selanjutnya wilayah Maluku dan Papua AMH terjadi pada bulan Oktober dan November. Hal ini menunjukkan bahwa AMH pada 342 ZOM di Indonesia sangat bervariasi.

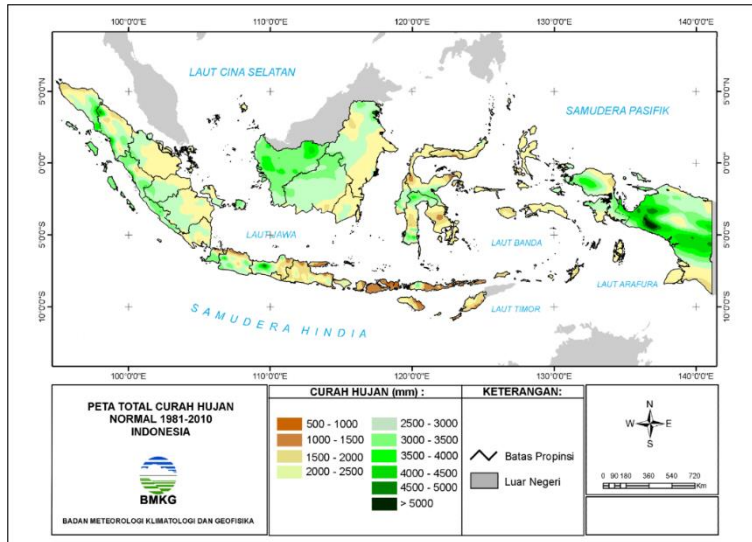
Keragaman AMH berpengaruh pada periode PPH di setiap wilayah. Umumnya PPH paling lama terjadi di wilayah Kalimantan dan sebagian Sumatera bagian tengah serta sebagian Jawa bagian barat. Wilayah dengan PPH yang cukup panjang umumnya terjadi di daerah dengan topografis berupa pegunungan. Seperti di sebagian Kalimantan bagian tengah, sepanjang pesisir barat pulau Sumatera (Bukit Barisan) serta beberapa wilayah di Jawa bagian tengah dan Sulawesi. Sedangkan untuk pulau Jawa bagian timur hingga ke wilayah Bali dan Nusa Tenggara, umumnya mengalami PPH yang lebih singkat, rata-rata hanya berkisar 3 hingga 4 bulan.



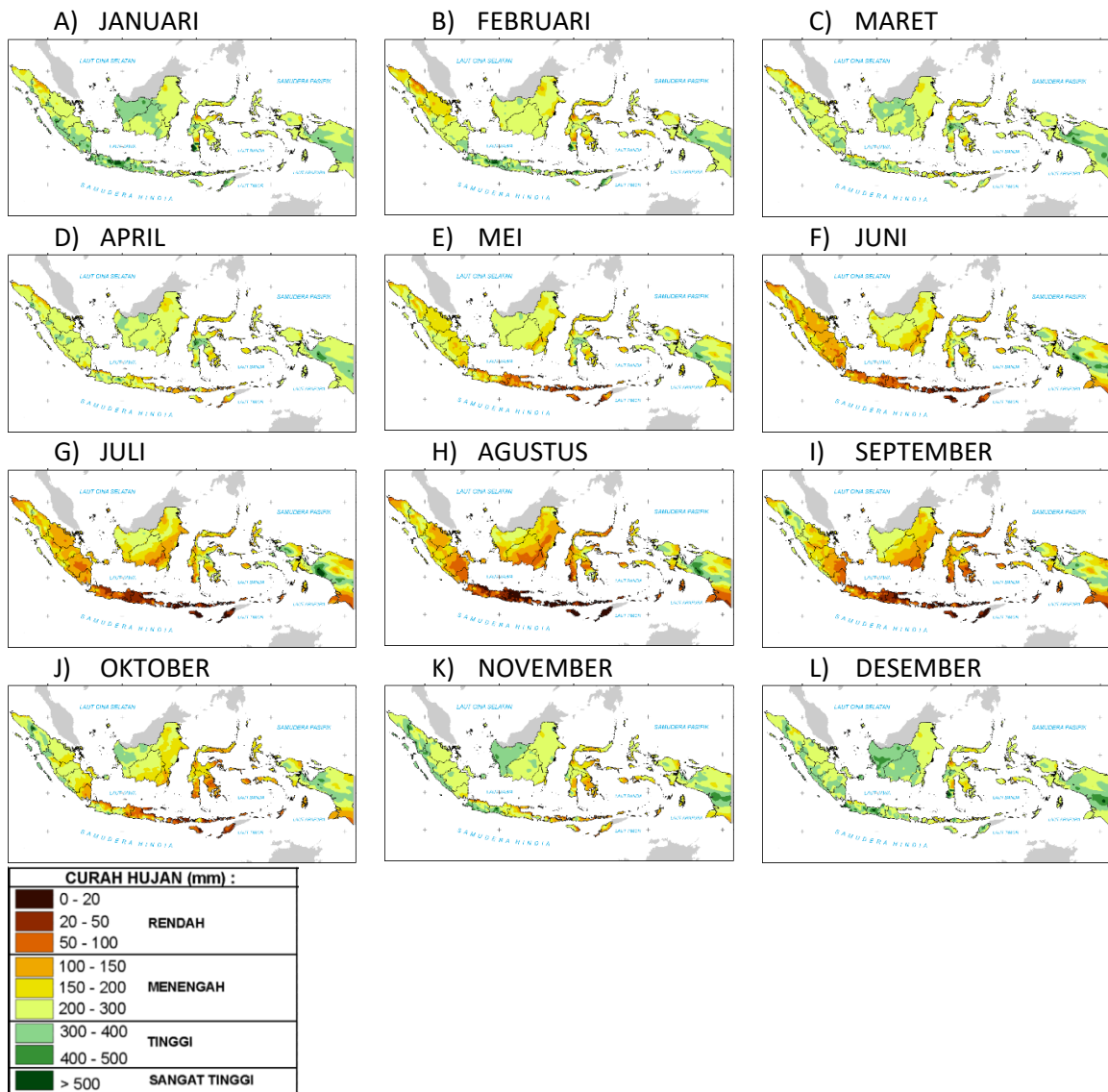
Gambar 2-3 Peta normal a) Awal Musim Kemarau, b) Awal Musim Hujan, c) Panjang Musim Kemarau, dan d) Panjang Musim Hujan di Indonesia berdasarkan data 1981-2010

Normal curah hujan dibuat berdasarkan data observasi pos-pos hujan di Indonesia. Terdapat lebih kurang 1000 pos hujan yang dilibatkan dalam penghitungan normal curah hujan ini. Rata-rata pos hujan yang digunakan mempunyai periode pengamatan 10 hingga 30 tahun. Dalam penyajian informasi curah hujan secara spasial, digunakan metode interpolasi *Co-Kriging* dengan data primer adalah data pos hujan (pengamatan di darat) dan data satelit TRMM (penginderaan jarak jauh) dengan tujuan agar seluruh wilayah Indonesia dapat mempunyai informasi curah hujan dengan pendekatan Geo-Statistik, khususnya wilayah-wilayah di Papua yang mempunyai keterbatasan pengamatan pos hujan.

Rata-rata normal curah hujan tahunan di Indonesia ditunjukkan oleh Gambar 2-4, sedangkan rata-rata bulannya disajikan pada Gambar 2-5. Umumnya wilayah Nusa Tenggara Barat dan Timur mempunyai curah hujan tahunan paling sedikit dibandingkan wilayah lain di Indonesia. Di wilayah tersebut bekisar 500 – 1000 mm/per tahun. Sedangkan untuk pulau Jawa, wilayah bagian barat pulau Jawa cenderung mempunyai hujan tahunan yang lebih tinggi dibandingkan bagian timur. Untuk rata-rata bulanan, secara umum ditunjukkan bahwa sebagian besar wilayah di Indonesia khususnya yang berada di lintang selatan memiliki pola hujan monsunal dengan puncak hujan umumnya terjadi di bulan Desember atau Januari. Sedangkan curah hujan terendah umumnya terjadi di bulan Agustus, terutama untuk wilayah Jawa, Bali dan Nusa Tenggara.



Gambar 2-4 Peta normal curah hujan tahunan Indonesia berdasarkan data 1981-2010, warna menunjukkan total curah hujan dalam setahun



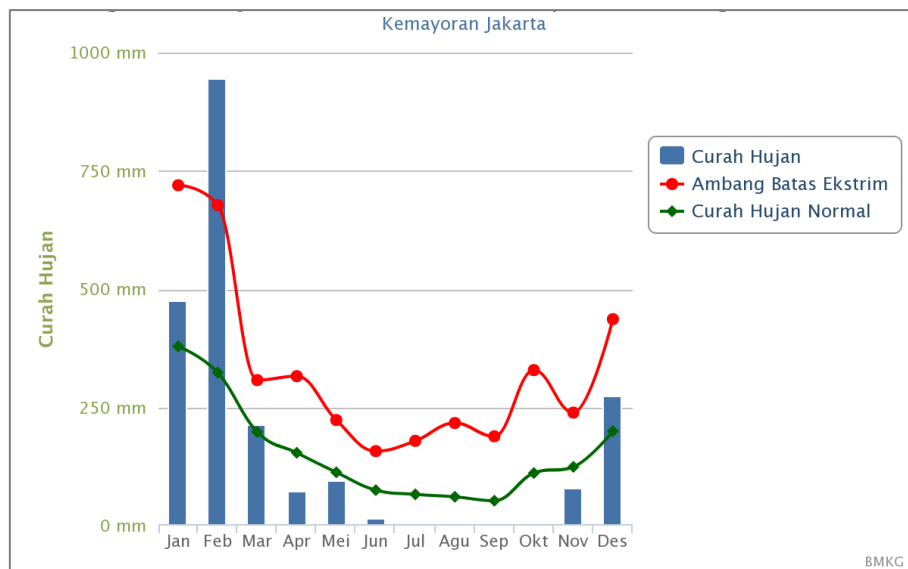
Gambar 2-5 Peta normal curah hujan bulanan (Januari hingga Desember) di Indonesia berdasarkan data 1981-2010, warna menunjukkan total curah hujan dalam sebulan

### BAB 3. KERAGAMAN IKLIM INDONESIA

Variabilitas atau anomali atau penyimpangan iklim dapat diartikan sebagai variasi iklim terhadap kondisi rata-rata dan statistik lainnya (seperti standar deviasi, terjadinya ekstrem, dll) pada semua skala temporal dan spasial di luar kejadian cuaca individu. Seringkali, variabilitas iklim dijelaskan dalam bentuk nilai penyimpangan iklim relatif terhadap kondisi normalnya (nilai rata-rata). Ilustrasi variabilitas iklim dapat dilihat dari data curah hujan bulanan pada Gambar 3-1. Grafik batang yang berwarna biru, yang bernilai lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai normalnya, menunjukkan adanya variabilitas. Nilai variabilitas dapat direpresentasikan – salah satu caranya – melalui nilai anomali dari data yang dihitung dari hasil selisih antara data aktual pada suatu waktu dengan data rata-ratanya yang digunakan untuk mewakili nilai normal (Persamaan 1).

$$Xa = X_i - \bar{X} \tag{1}$$

Dimana  $Xa$  adalah nilai anomali pada waktu ke- $i$  yang dihitung dari selisih antara nilai aktual  $X_i$ , dengan nilai rata-rata  $\bar{X}$  pada rentang periode tertentu. *World Meteorological Organization* (WMO) secara spesifik menetapkan bahwa nilai normal idealnya dihitung dari data selama 30 tahun.



Gambar 3-1 Curah hujan bulanan tahun 2015 di Kemayoran Jakarta dan perbandingannya terhadap kondisi normal

Kajian-kajian di bidang klimatologi terkait pengaruh curah hujan di Indonesia terhadap iklim global telah banyak dilakukan. Kajian-kajian tersebut umumnya menyimpulkan bahwa curah hujan di Indonesia mempunyai hubungan jarak jauh (Teleconnection) terhadap perubahan kondisi atmosfer dan laut di sepanjang garis khatulistiwa. Teleconnection ini juga merupakan salah satu penyebab keragaman iklim di Indonesia.

Variabilitas iklim dapat terjadi karena banyak faktor, baik akibat dari proses alami yang bersifat internal dalam sistem iklim (variabilitas internal) atau karena adanya pengaruh variasi gaya eksternal yang bersifat alami maupun antropogenik (variabilitas eksternal). Keragaman iklim dapat terjadi dalam berbagai skala ruang dan waktu, dan seringkali berkaitan erat faktor pengendali yang mempengaruhi terjadinya anomali iklim. Pengertian skala waktu disini yaitu sebagai adanya rentang waktu pengulangan (osilasi) dari satu kejadian dari suatu fenomena ke kejadian berikutnya. Sebagai contoh,

kejadian El Niño umumnya berulang setiap 2 hingga 7 tahun sekali, ini artinya bahwa kejadian El Niño memiliki karakteristik osilasi dalam skala waktu antar tahun (interannual).

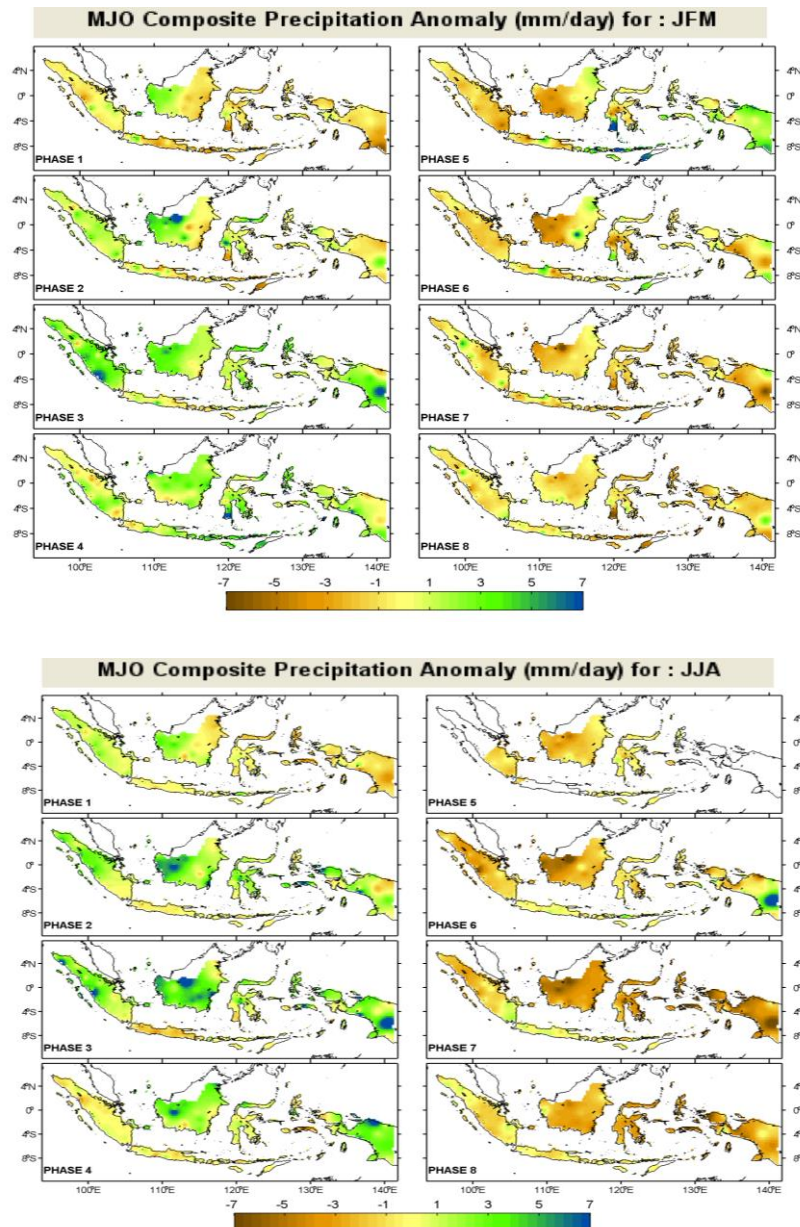
Faktor pengendali umumnya bersifat non-seasonal mulai dari yang terdapat di dalam suatu musim (intra-musiman), yang bersifat antar tahun (interannual), hingga variasi antar dasawarsa (interdekadal). Pada skala intra-musiman, salah satu faktor pengendali yang dominan yaitu fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO). Sedangkan fenomena *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan faktor pengendali variabilitas iklim yang dominan dalam skala waktu interannual. Dalam skala waktu interdekadal, umumnya berkaitan dengan fenomena seperti *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dan *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO). Analisis variabilitas iklim dilakukan dengan mengkaji hubungan antara anomali iklim dan faktor-faktor pengendali variabilitas iklim seperti *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD).

### 3.1. Keragaman Iklim Intra-Musiman

#### 3.1.1. *Madden-Julian Oscillation* (MJO)

Keragaman iklim intra-musiman umumnya berkaitan dengan adanya fenomena atau modus iklim variabilitas intra-musiman (VIM). Fenomena VIM yang paling dominan salah satunya yaitu *Madden-Julian Oscillation* (MJO), yaitu sebuah fenomena iklim dalam skala *sub-seasonal to seasonal* (S2S) dengan periode osilasi 30-60 harian atau 40-50 harian. Propagasi MJO bergerak dari barat ke timur dan berkaitan dengan kluster awan yang super dengan skala horisontal sekitar 2.000 km, dimana pergerakan pada kondisi aktif sempurna melalui 8 fase mulai dari bagian timur Afrika serta bagian barat Samudera Hindia (fase 1), melalui Samudera Hindia termasuk India dan Teluk Bengal (fase 2 dan 3), masuk ke wilayah Benua Maritim (fase 4 dan 5), wilayah barat Samudera Pasifik (fase 6 dan 7), dan mengalami penguatan kembali di *Western Hemisphere* dan Afrika (fase 8) (Wheeler dkk., 2004). Namun ada kalanya fase pergerakan MJO tidak sempurna karena terjadinya pelemahan atau intensifikasi di salah satu bagian dari fase tersebut. Lokasi dan besarnya kekuatan magnitude dari MJO dapat dimonitor dengan menggunakan indeks *Real-time Multivariate* MJO (RMM) yang merupakan hasil perhitungan indeks dari data angin zonal 200 dan 850 mb, serta data *Outgoing Long-wave Radiation* (OLR) (Wheeler dkk., 2004).

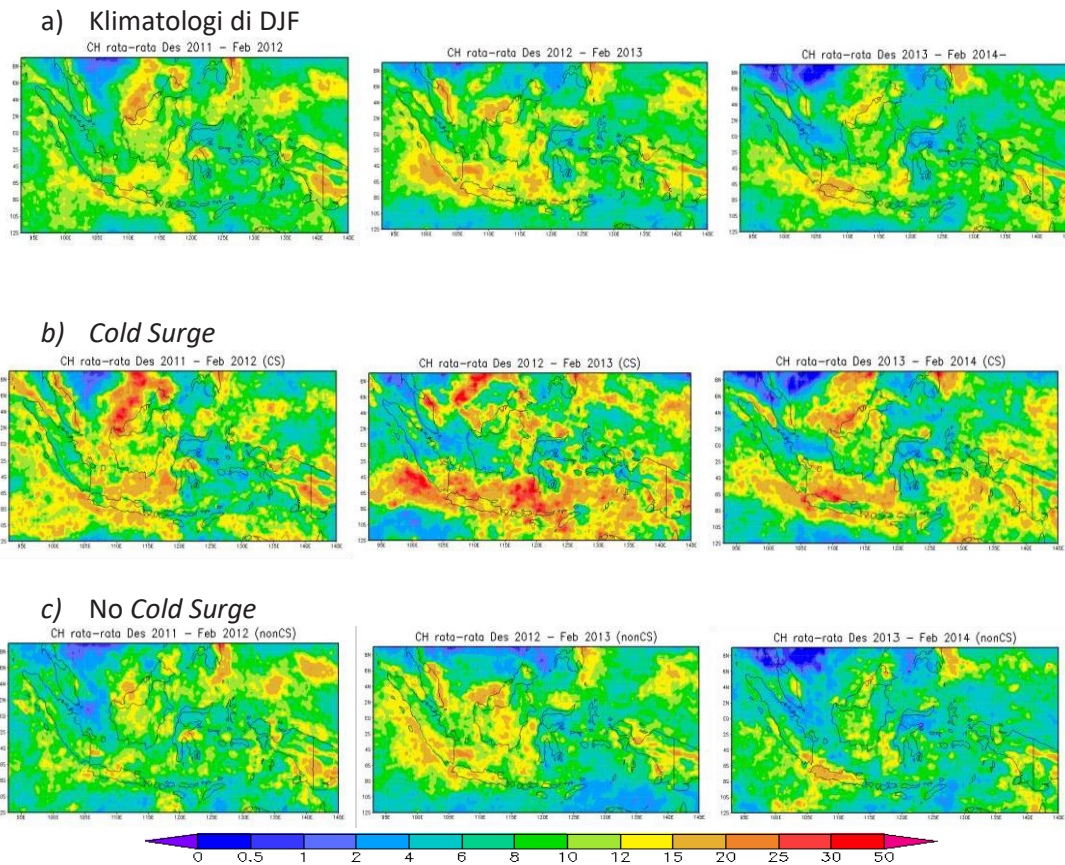
Kejadian MJO diketahui mempunyai pengaruh terhadap keragaman curah hujan di berbagai tempat. Bahkan dalam skala global kejadian MJO mampu meningkatkan hingga 40% kejadian hujan ekstrem pada wilayah yang secara statistik signifikan dipengaruhi oleh kejadian tersebut (Jones dkk., 2004). Beberapa hasil studi juga menunjukkan bahwa MJO memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap keragaman curah hujan di Indonesia (Hidayat dkk., 2010; Madani dkk., 2012), khususnya dalam skala sub-seasonal. Hasil analisis komposit anomali curah hujan pada Gambar 3-2 menunjukkan adanya perbedaan anomali curah hujan yang cenderung positif pada beberapa fase kejadian MJO, khususnya pada fase 2 hingga fase 4 yaitu ketika pergerakan awan dari MJO dominan terjadi di wilayah Samudera Hindia dan Benua Maritim. Khusus untuk fase 5, umumnya cenderung mempengaruhi peningkatan curah hujan di wilayah timur Indonesia, khususnya pada saat musim hujan. Peningkatan anomali curah hujan pada fase aktif MJO secara konsisten terjadi tidak hanya pada musim hujan, yaitu di bulan Januari-Februari-Maret (JFM), namun juga pada musim kemarau di bulan Juni-Juli-Agustus (JJA). Hal ini menjelaskan bahwa kejadian MJO mempengaruhi peningkatan curah hujan di kedua musim, sehingga menjadi indikasi kuat dominasi MJO dalam skala waktu intra-musiman, karena adanya osilasi yang kuat di dalam (intra) musim itu sendiri.



Gambar 3-2 Komposit anomali curah hujan (mm/hari) pada setiap fase MJO periode musim hujan (atas) dan musim kemarau (bawah)

### 3.1.2. Seruak Dingin (*Cold Surge*)

Seruak dingin atau *Cold Surge* merupakan fenomena skala sinoptik akibat adanya hentakan aliran massa udara dingin dari Asia yang berasal dari dataran Siberia. Serangan udara dingin monsun Asia yang berasal dari Benua Eurasia tersebut umumnya disertai dengan penurunan suhu udara yang signifikan dan peningkatan tekanan udara permukaan di sebagian besar Asia Tenggara. Hal ini mendorong terjadinya peningkatan aktivitas konveksi di Laut Cina Selatan dan di utara Kalimantan karena terjadinya konvergensi angin dekat permukaan yang intens sepanjang tepi wilayah tersebut (Chang dkk., 2005).



Gambar 3-3 Komposit curah hujan di DJF 2011/12, 2012/13, dan 2013/14 (a) klimatologi di DJF, (b) peristiwa cold surge, dan (c) tidak ada cold surge. Unit dalam mm/hari

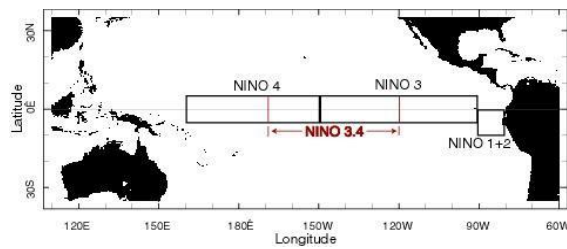
Fenomena *cold surge* dihubungkan dengan meningkatnya intensitas hujan di Indonesia. Salah satunya yang menyebabkan banjir yang meluas di Pulau Jawa pada akhir Januari dan awal Februari 2007 (Wu dkk., 2007). Kejadian tersebut bertepatan dengan arus monsun trans-equatorial yang kuat dan konsisten, berasal dari belahan bumi utara. Terjadinya fenomena ini dapat diidentifikasi melalui indikator kecepatan rata-rata angin meridional yang melebihi 8 m/s. Gambar 3-5 menunjukkan bahwa fenomena *cold surge* dapat menyebabkan peningkatan intensitas curah hujan di Indonesia, sehingga terdapat relasi positif antara peristiwa gelombang dingin dengan variabilitas curah hujan di Indonesia. Intensitas curah hujan di Indonesia khususnya di Laut Jawa diperkirakan meningkat sekitar 20-60%.

## 3.2. Keragaman Iklim Antar Tahun

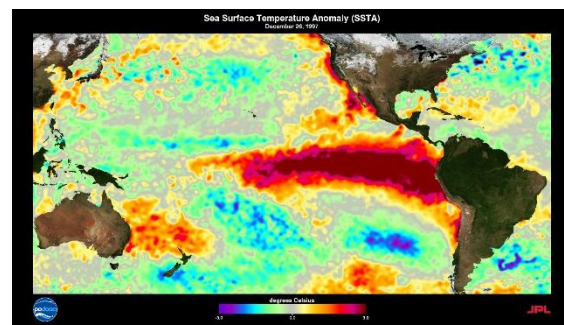
### 3.2.1. El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

Salah satu faktor pengendali iklim dalam skala waktu interannual yaitu El Niño Southern Oscillation (ENSO). ENSO merupakan fenomena iklim yang terjadi di wilayah Samudera Pasifik tropis, dimana dua kejadiannya yang saling berlawanan dikenal dengan istilah El Niño (peristiwa hangat) dan La Niña (peristiwa dingin). Fenomena tersebut dapat mengendalikan keragaman iklim di Indonesia (Aldrian dkk., 2003; Boer dkk., 2004; Chang dkk., 2004; Kirono dkk., 1999; Hendon dkk., 2003) dan merupakan faktor pengendali iklim yang cukup dominan selain monsun yang dapat menjelaskan lebih dari 50% keragaman iklim di Indonesia. ENSO juga diidentifikasi berinteraksi dengan kejadian monsun dan siklus harian di Indonesia, diantaranya di Pulau Jawa dan Kalimantan (Qian dkk., 2013; Qian dkk., 2010).

a) Zonasi monitoring ENSO



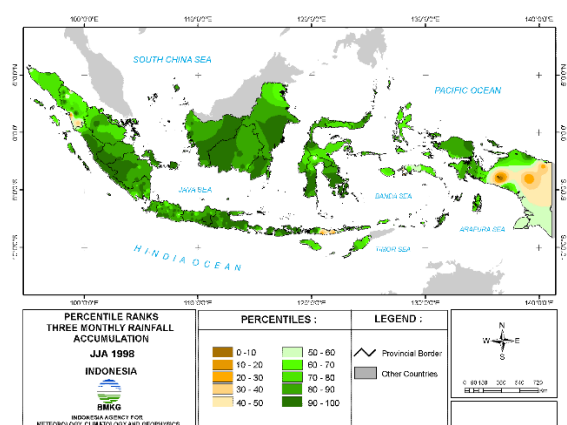
b) Anomali SPL Desember 1997



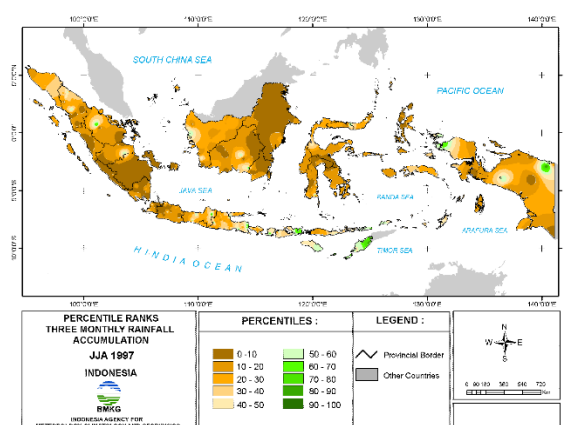
Gambar 3-4 Pembagian Wilayah Niño 3, 4 dan 3.4, dan b) Anomali SPL Desember 1997

Peristiwa El Niño ditandai dengan meningkatnya anomali suhu permukaan laut (ASPL) di wilayah Pasifik Tropis bagian timur dan tengah (Gambar 3-4) yang menyebabkan peningkatan konveksi di wilayah pantai barat Amerika Selatan yang mengakibatkan hujan lebat di kawasan tersebut. Sebaliknya, pada saat yang sama justru terjadi kekeringan di Indonesia. Kebalikan dari peristiwa El Niño yaitu La Niña yang memiliki dampak yang berbeda di Indonesia, yaitu umumnya terjadi peningkatan intensitas dan kejadian hujan di Indonesia yang berujung pada banyaknya kejadian banjir. Sebagai contoh Gambar 3-5 memberikan ilustrasi curah hujan di Indonesia pada saat kejadian La Niña kuat tahun 1998 dan El Niño sangat kuat periode Juni, Juli dan Agustus (JJA).

a) La Niña 1998



b) El Niño 1997



Gambar 3-5 Kondisi curah hujan saat kejadian: a) La Niña tahun 1998, dan b) El Niño 1997

Zona monitoring kejadian ENSO dibagi menjadi empat, yaitu wilayah Niño-1.2, Niño-3, Niño-3.4 dan Niño-4 (Gambar 3-4). Keempat zona tersebut merupakan wilayah yang secara spesifik menunjukkan perubahan anomali suhu permukaan laut saat terjadi El Niño dan La Niña. Suatu peristiwa ENSO ditetapkan kejadiannya jika penyimpangan nilai anomali yang terjadi melampaui ambang batas yang telah ditentukan dan berlangsung selama lebih dari 5 bulan. Ambang batas untuk nilai ASPL di zona ENSO yaitu jika  $>+0,5$  untuk kejadian El Niño dan  $<-0,5$  untuk kejadian La Niña. Disamping itu juga ambang batas yang berbeda juga digunakan untuk membagi intensitas kejadian ENSO menjadi beberapa kategori, mulai dari lemah hingga sangat kuat.

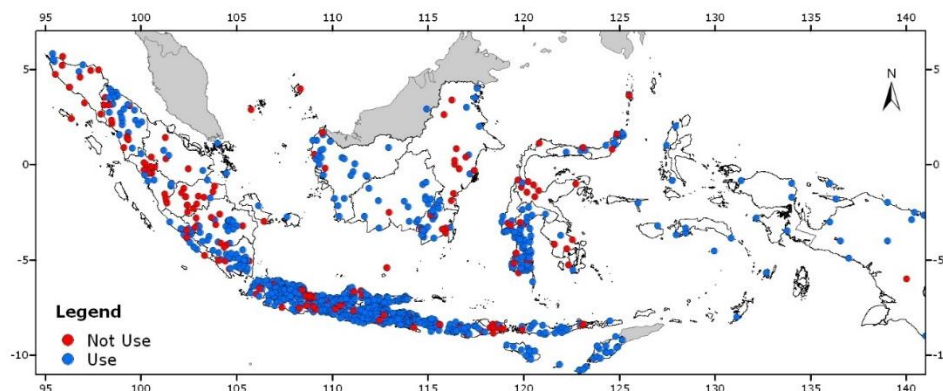
Sebagai salah satu faktor pengendali variabilitas iklim yang dominan di Indonesia, ENSO memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keragaman iklim khususnya curah hujan. Fenomena tersebut dapat mempengaruhi penambahan atau pengurangan curah hujan sehingga suatu wilayah bisa mengalami

kekeringan atau sebaliknya. Untuk mengetahui respon atau pengaruh ENSO terhadap kondisi curah hujan di Indonesia salah satunya dapat dilakukan analisis komposit yang melibatkan data curah hujan selama lebih kurang 30 tahun terhadap indeks ENSO dalam hal ini digunakan indeks ONI (Ocean Niño Index). Data ONI dapat diunduh melalui alamat situ web NOAA, yaitu: [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)). Tabel 3-1 menunjukkan kategorisasi kejadian El Niño dan La Niña berdasarkan data ONI.

Tabel 3-1 Tabel informasi tahun-tahun dengan kejadian El Niño dan La Niña pada tiap kategori weak, moderate dan strong

El Niño				La Niña		
Weak - 10	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 10	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52*	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69*	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96*	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88*		1974-75	2011-12*	1998-99*
1976-77	1994-95*	1991-92*		1983-84		1999-00*
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08*
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11*
2004-05				2005-06*		
2006-07				2008-09		
2014-15*				2016-17		

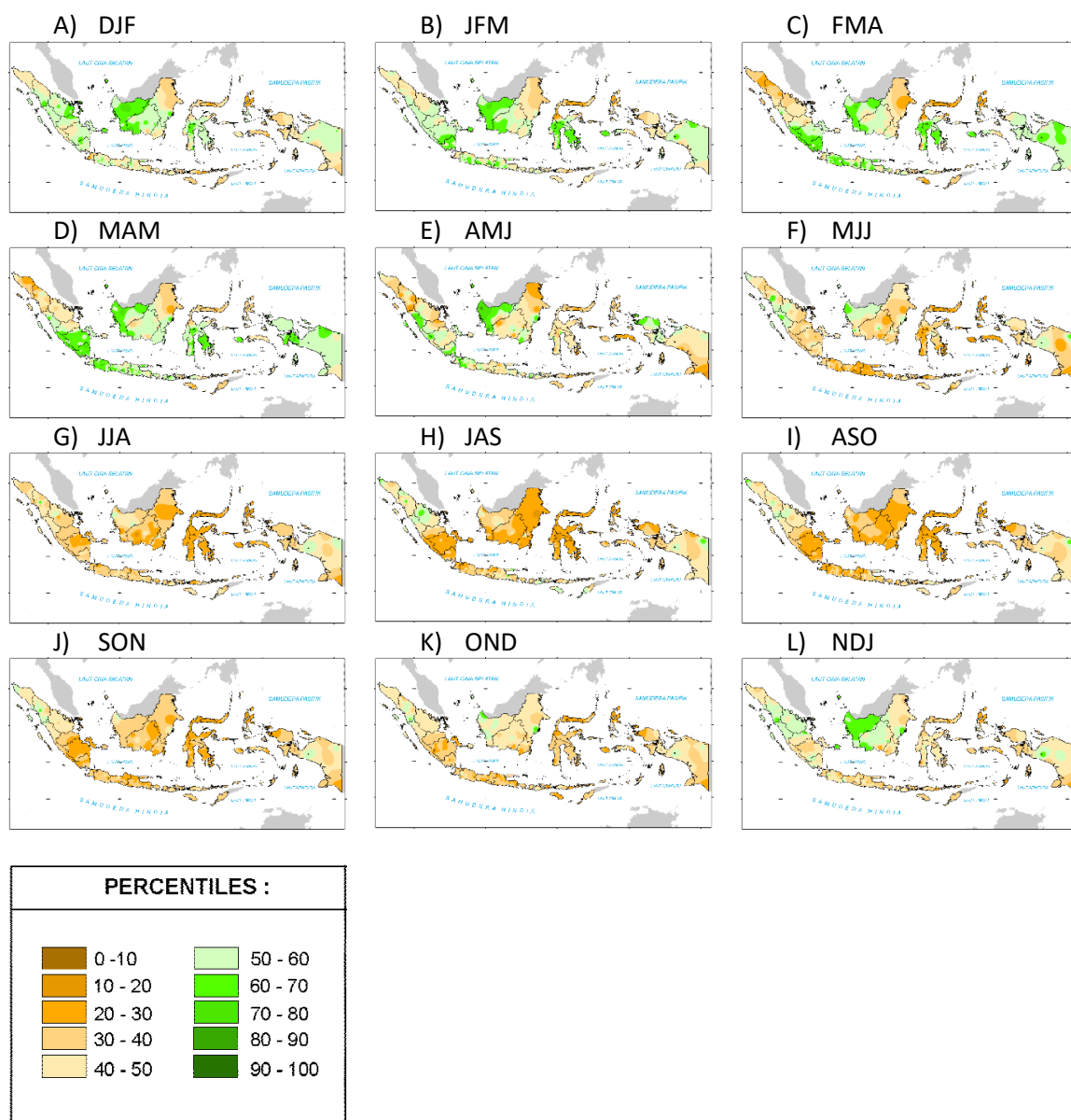
Analisis komposit curah hujan bertujuan untuk mengetahui pengaruh kejadian ENSO seperti EL Niño dan La Niña terhadap curah hujan di Indonesia pada periode waktu tertentu sehingga diketahui wilayah-wilayah yang mengalami penambahan curah hujan (Atas Normal), pengurangan curah hujan (Bawah Normal) atau tidak terpengaruh sama sekali (Normal). Analisis ini menggunakan setidaknya 400 pos hujan (Gambar 3-6) dengan panjang data lebih dari 25 tahun dari 1985 hingga 2016. Penggunaan data curah hujan dari pengamatan 400 pos hujan memberikan gambaran lebih nyata terkait respon curah hujan di wilayah Indonesia terhadap kondisi ENSO. Hal ini diyakini lebih baik dibandingkan penggunaan data satelit yang masih bersifat estimasi atau dugaan. Analisis komposit disajikan dalam nilai *percentile* dengan kategori *percentile* 1-30 adalah Bawah Normal (BN), 31 – 70 Normal (N) dan lebih dari 70 Atas Normal (AN). Respon curah hujan dilihat pada periode tiga-bulanan karena nilai ONI yang digunakan dinyatakan per tiga bulanan. Selanjutnya untuk mendapatkan informasi secara spasial nilai *percentile* dari 400 pos hujan di interpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW, Gambar 3-7 dan 3.8).



Gambar 3-6 Pos hujan yang dilibatkan dalam analisis komposit

Berdasarkan hasil komposit curah hujan saat kejadian El Niño menunjukkan selama periode 1985 hingga 2016 terdapat setidaknya 12 kali kejadian El Niño yaitu 2004/05, 2006/07, 2014/15, 1986/87, 1994/95, 2002/03, 2009/10, 1982/83, 1987/88, 1991/92, 1997/98 dan 2015/16. Berdasarkan 12 kali

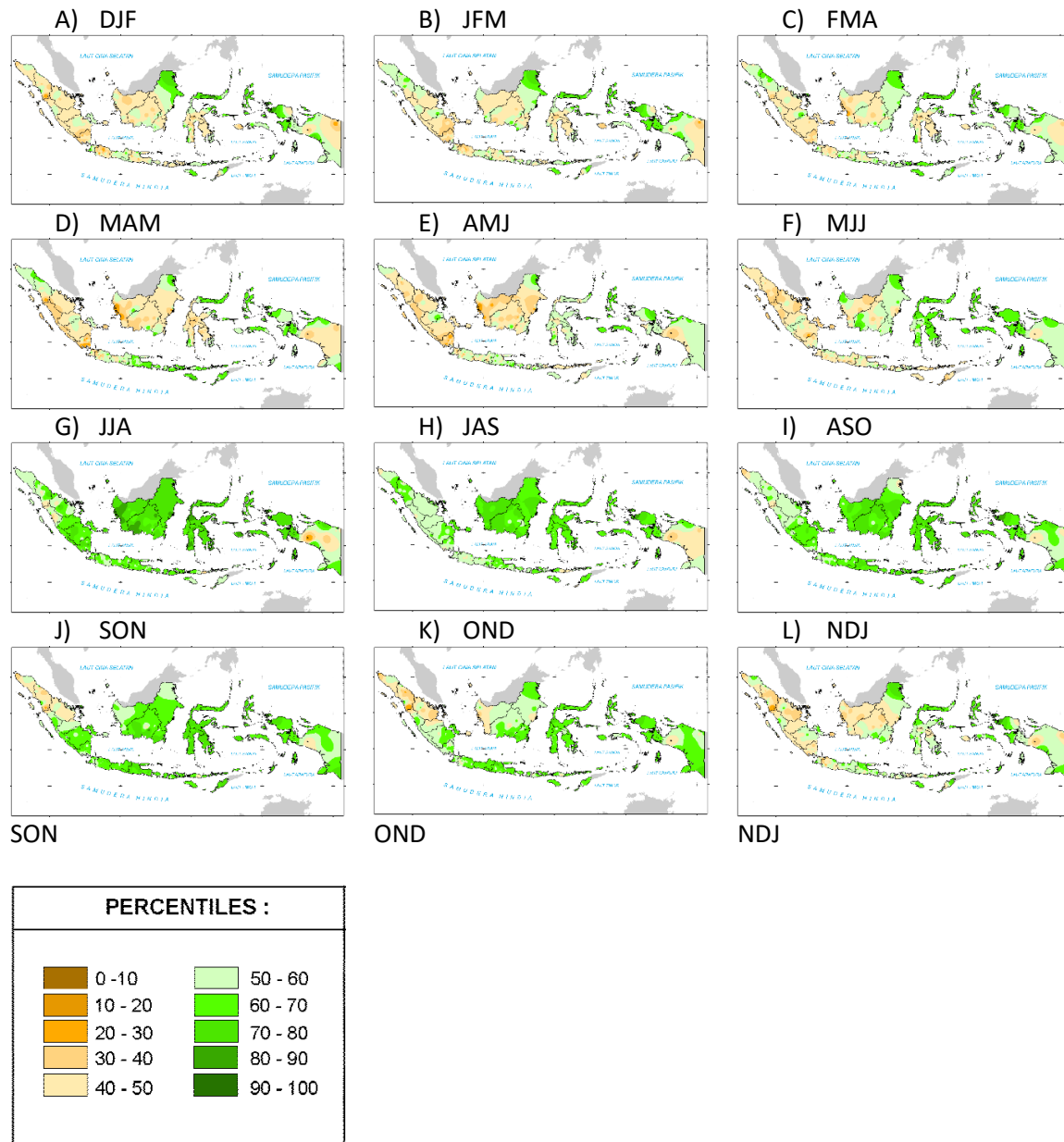
kejadian El Niño tersebut terlihat respon curah hujan di Indonesia cukup beragam. Namun secara umum pada Gambar 3-7 dapat dilihat bahwa curah hujan di Indonesia berada pada kondisi BN sejak periode MJJ hingga OND. Kondisi BN ini terlihat hampir di semua wilayah Indonesia namun dengan intensitas lebih kuat terlihat pada Indonesia bagian timur. Kondisi BN mengalami puncaknya pada periode JJA dengan kata lain periode ini sangat terpengaruh pengurangan curah hujannya jika kondisi El Niño sedang terjadi. Pada periode NDJ hingga AMJ kondisi El Niño tidak begitu memberi pengaruh pada pengurangan curah hujan di Indonesia. Hal ini terlihat bahwa pada Gambar 3-7, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami kondisi Normal bahkan sebagian AN khususnya wilayah Indonesia bagian selatan. Kondisi El Niño sangat berpengaruh pada pengurangan curah hujan Indonesia di periode musim kemarau. Sedangkan pada periode musim hujan, El Niño tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan pada pengurangan curah hujan di Indonesia.



Gambar 3-7 Komposit curah hujan periode 1985-2016 pada saat kejadian El Niño. Warna menunjukkan curah hujan dalam persentil

Analisis komposit curah hujan saat kejadian La Niña menunjukkan selama periode 1985 hingga 2016 terdapat setidaknya 10 kali kejadian La Niña yaitu 2001/02, 2005/06, 2008/2009, 1995/96, 2011/12, 1988/89, 1998/99, 1999/00, 2007/08, 2010/11. Berdasarkan 10 kali kejadian La Niña tersebut terlihat

respon curah hujan di Indonesia cukup beragam dengan kecenderungan curah hujan berada pada kondisi AN sejak periode JJA hingga OND. Kondisi AN ini terlihat hampir di seluruh wilayah Indonesia namun dengan intensitas lebih kuat terlihat pada Indonesia bagian selatan dan timur. Hal ini terlihat bahwa pada Gambar 3-8, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami kondisi Normal bahkan sebagian BN khususnya wilayah Indonesia bagian selatan. Secara umum kejadian La Niña sangat berpengaruh terhadap peningkatan penerimaan curah hujan Indonesia, khususnya di periode musim kemarau.



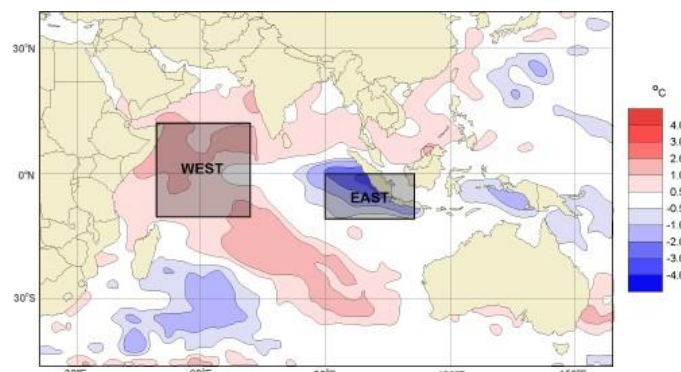
Gambar 3-8 Komposit curah hujan periode 1985 2016 pada saat kejadian La Niña. Warna menunjukan curah hujan dalam persentil

### 3.2.2. Indian Ocean Dipole (IOD)

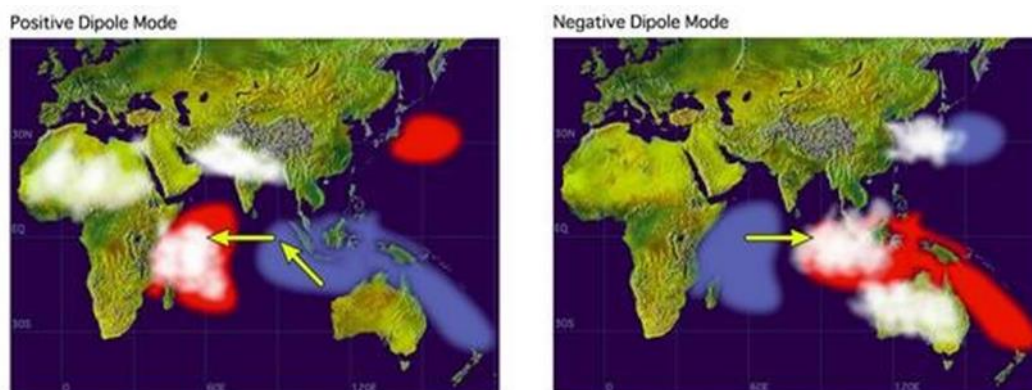
Selain ENSO, variabilitas iklim antar tahun khususnya di Indonesia juga dipengaruhi oleh fenomena lain yang bersumber di Samudera Hindia. Fenomena yang mirip dengan ENSO tersebut dikenal dengan istilah *Indian Ocean Dipole* (IOD). Fenomena IOD ikut berkontribusi dalam mempengaruhi keragaman curah hujan di Indonesia, terutama di wilayah Indonesia bagian barat (Saji dkk., 1999).

Indeks yang digunakan untuk monitoring fenomena IOD dikenal dengan istilah *Dipole Mode Index* (DMI). Nilai DMI dihitung dari perbedaan antara nilai anomali suhu permukaan laut di Samudera Hindia Bagian barat dekat pantai Afrika dengan nilai anomali di wilayah bagian timur/tenggara Samudera tersebut (Gambar 3-9). Nilai DMI positif menunjukkan meningkatnya anomali SPL di wilayah Samudera Hindia bagian barat dekat pantai timur Afrika dan menurunnya anomali SPL di sekitar kawasan barat Indonesia dekat perairan Sumatera dan Jawa. Menurunnya anomali SPL di wilayah barat Indonesia karena IOD positif menyebabkan meningkatnya tekanan dan berkurangnya evaporasi dan pembentukan awan hujan di wilayah sekitar Indonesia sehingga menyebabkan kekeringan di Indonesia, sementara itu potensi hujan meningkat di sekitar pantai timur Afrika. Kondisi berlawanan terjadi ketika nilai DMI bernilai negatif (Gambar 3-10).

Kejadian IOD dapat terjadi secara independen atau berbarengan dengan ENSO. Kekeringan di Indonesia akibat El Niño akan semakin parah jika dibarengi dengan kejadian IOD positif. Contoh dari kejadian berbarengan ini yaitu ketika terjadi fenomena El Niño pada tahun 1997/98. Selain itu, tidak menutup kemungkinan terjadi kondisi sebaliknya, yaitu pengaruh kejadian El Niño terhadap keragaman iklim di Indonesia dilemahkan oleh adanya kejadian IOD negatif.



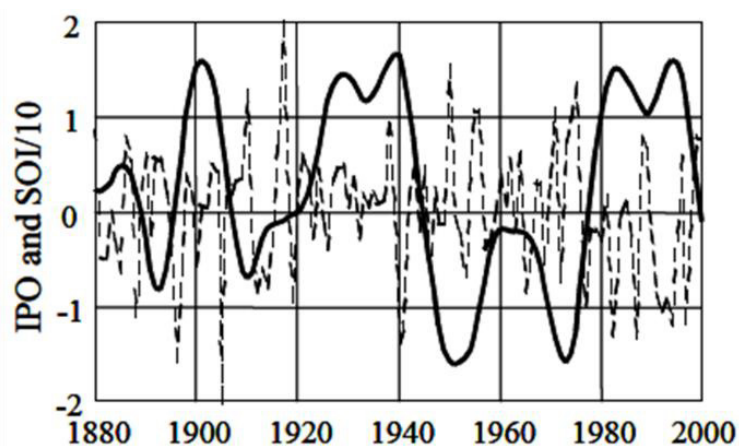
Gambar 3-9 Ilustrasi wilayah yang digunakan untuk menghitung Dipole Mode Index (DMI) (Sumber: [http://www.bom.gov.au/climate/IOD/about\\_IOD.shtml](http://www.bom.gov.au/climate/IOD/about_IOD.shtml))



Gambar 3-10 Ilustrasi kejadian IOD positif (kiri) dan IOD negatif (kanan). (Sumber: [http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/e/iod/about\\_iod.html](http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/e/iod/about_iod.html))

### 3.3. Keragaman Iklim Antar-Dasawarsa

Iklim di berbagai wilayah berpotensi dipengaruhi oleh variabilitas iklim dekadal atau antar-dekadal. Variabilitas iklim dalam skala tersebut dikendalikan oleh faktor pengendali iklim skala global yang mempengaruhi keragaman dekadal/inter-dekadal, seperti *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) (Mantua dkk., 2002) atau *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO) (Power dkk., 1999). PDO merupakan kondisi dimana terjadi anomali SPL dan tekanan laut di wilayah Pasifik Utara. Perubahan ini terjadi dengan sangat lambat dan muncul berulang-kali dengan jangka waktu 20 tahun atau lebih. Seperti halnya ENSO, karakteristik tekanan, suhu, angin dan pola hujan juga dapat dipengaruhi oleh PDO (Mantua dkk., 1997). PDO memiliki dua fase, yaitu fase hangat (positif) dan fase dingin (negatif). Berdasarkan statistik selama akhir abad ke-19 hingga menjelang akhir abad ke-20, hanya ada 2 kali fase full PDO (Mantua dkk., 2002; Mantua dkk., 1997), yaitu PDO dingin tahun 1890-1924 dan 1947-1976, PDO hangat tahun 1925-1946 dan 1977 sampai pertengahan 1990-an.



Gambar 3-11 Grafik indeks IPO (garis tebal) dan indeks SOI (garis putus-putus) (Chiew dkk., 2003)

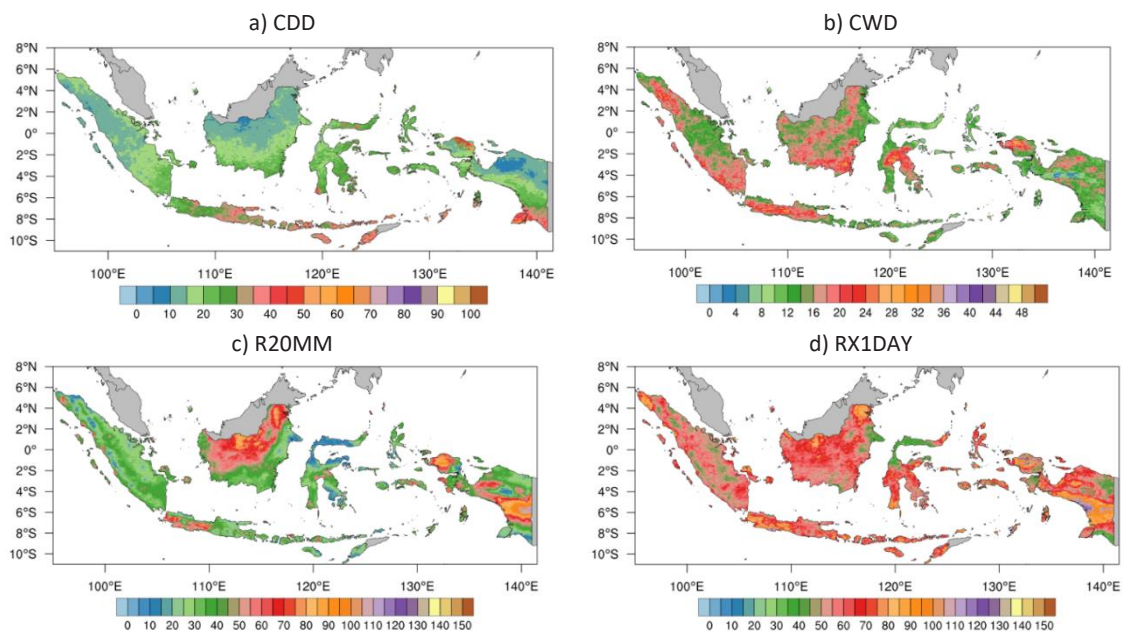
Fenomena tersebut mempengaruhi variabilitas iklim khususnya curah hujan melalui peristiwa telekoneksi yang mencakup kawasan sangat luas, termasuk di Indonesia (Meinke dkk., 2005). Peristiwa osilasi dengan frekuensi rendah atau dalam skala inter-dekadal tersebut bermodulasi dengan fenomena lain dengan frekuensi lebih tinggi dalam skala antar-tahun, seperti dengan fenomena *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) (Heinrich dkk., 2009). Keterkaitan antara IPO dengan ENSO juga dibuktikan dari perbandingan antara plot data indeks IPO dengan SOI (Chiew dkk., 2003), sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3-11. Pada saat fase dingin (negatif) IPO, sebagai contoh pada periode tahun 1947-1976, grafik SOI menunjukkan nilai yang lebih sering positif dibandingkan nilai negative. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah kejadian La Niña (SOI positif melampaui nilai threshold), lebih sering terjadi dibandingkan dengan kejadian El Niño. Sebaliknya, ketika IPO mengalami fase positif (hangat), indeks SOI lebih sering berada di posisi nilai negatif, yang mengindikasikan lebih seringnya terjadi El Niño dibandingkan La Niña selama fase positif IPO tersebut.

### 3.4. Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem

Analisis ekstrem ditekankan pada data curah hujan dan turunannya yang diketahui memberikan dampak signifikan terhadap sektor sumber daya air, pertanian, transportasi serta bencana terkait iklim. Kejadian iklim ekstrem yang terkait dengan curah hujan memainkan peran penting dalam ketersediaan air serta dampak terkait bencana hidrometeorologi di Indonesia. Adapun kategori penentuan ekstrem yaitu dengan melihat nilai observasi curah hujan yang riil di lapangan, distribusi probabilitas data yang melebihi persentil 95 dan periode ulang curah hujan tahunan maksimum.

Perkembangan terbaru dalam penelitian perubahan iklim telah memperkenalkan beberapa indeks yang dapat digunakan dalam penelitian perubahan iklim. CCI/WCRP/JCOMM *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI, <http://www.wcrp-climate.org/etccdi>) telah mengembangkan 27 indeks iklim inti (lihat [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memantau keadaan ekstrem.

Beberapa indeks ETCCDI telah dianalisis dalam hal nilai rata-rata selama periode historis (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016). Indeks tersebut adalah panjang hari maksimum deret kering atau jumlah hari maksimum berturut-turut dengan curah hujan harian  $< 1$  mm (*Consecutive Dry Days/ CDD*), panjang hari maksimum deret basah atau jumlah hari maksimum berturut-turut dengan curah hujan harian  $\geq 1$  mm (*Consecutive Wet Days/ CWD*), jumlah kejadian curah hujan harian  $\geq 20$  mm setiap tahunnya (R20mm), dan 1 hari curah hujan maksimum dalam setahun (Rx1day). Nilai rata-rata CDD menunjukkan bahwa wilayah Jawa bagian timur serta Nusa Tenggara menjadi wilayah yang memiliki deret hari kering maksimum rata-rata terpanjang dengan nilai di atas 30 hari (Gambar 3-12a). Sementara itu, rentetan atau deret hari hujan maksimum rata-rata banyak ditemukan di sebagian besar wilayah Jawa, serta sebagian Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi dengan nilai CWD rata-rata lebih dari 2 minggu (Gambar 3-12b). Jumlah curah hujan ekstrem di atas 20 mm dalam setahun, secara rata-rata ditemukan paling banyak di sebagian Jawa bagian barat dan tengah, sebagian Kalimantan dan di Papua, dengan jumlah hari rata-rata dengan curah hujannya di atas 50 hari dalam setahun (Gambar 3-12c). Sedangkan terkait intensitas hujan berdasarkan nilai curah hujan harian maksimum tahunan, hampir seluruh wilayah Indonesia menunjukkan nilai rata-rata Rx1day yang tinggi, yaitu di atas 50 mm/hari (Gambar 3-12d).

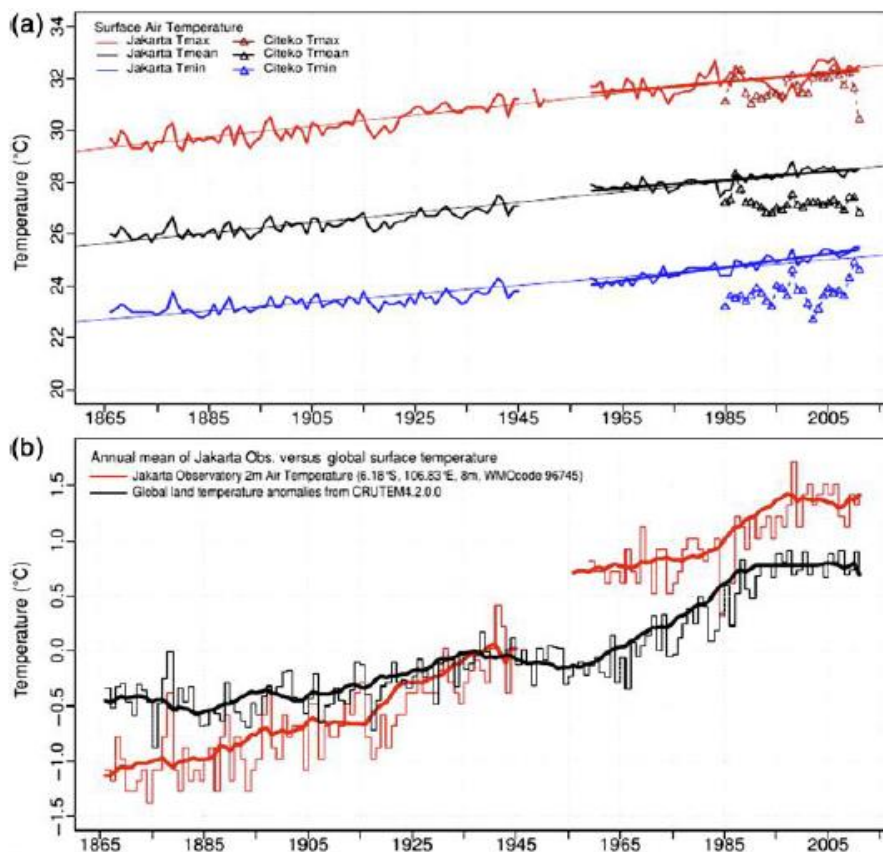


Gambar 3-12 Nilai rata-rata beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016)

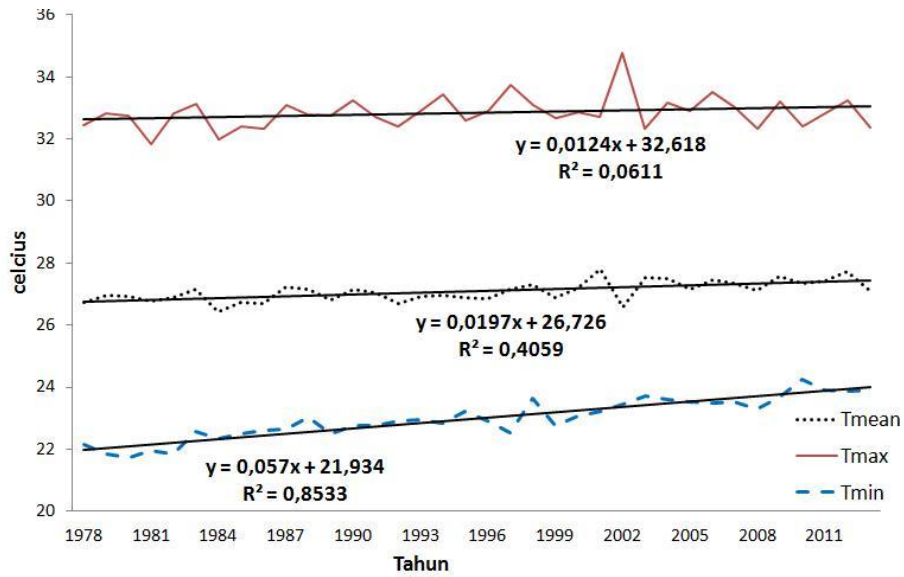
## BAB 4. HISTORIS PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

### 4.1. Perubahan Temperatur

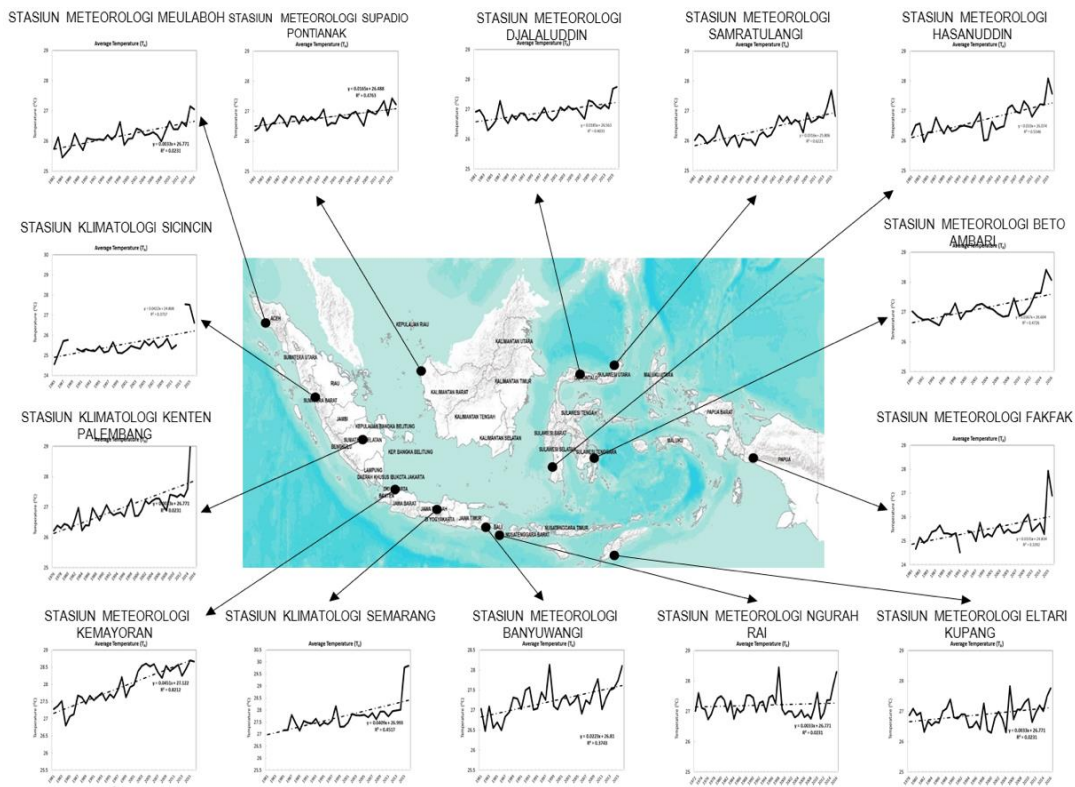
Berbagai ciri atau indikasi telah terjadinya perubahan iklim dapat kita jumpai dengan melihat fakta di lapangan. Perubahan iklim yang terjadi sering diidentikkan dengan adanya ciri-ciri akibat pemanasan global. Sebagai contoh, kenaikan suhu udara di Jakarta dengan data suhu udara terpanjang di Indonesia dalam rentang 1866-2010. Perubahan iklim di Jakarta terlihat jelas saat mengamati perubahan suhu udara selama priode 1866-2010, seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa suhu udara maksimum di Jakarta selama pengamatan 130 tahun mengalami kenaikan 2°C, suhu rata-rata 1.7°C dan suhu minimum 1.5°C. Sebagai pembanding, ditunjukkan suhu udara di Citeko, suatu tempat dataran tinggi di Puncak Bogor berjarak ±70km dengan ketinggian 920 meter di atas permukaan laut. Hasilnya menunjukkan bahwa suhu udara Citeko selalu lebih rendah dibandingkan dengan Jakarta tetapi juga terjadi tren kenaikan.



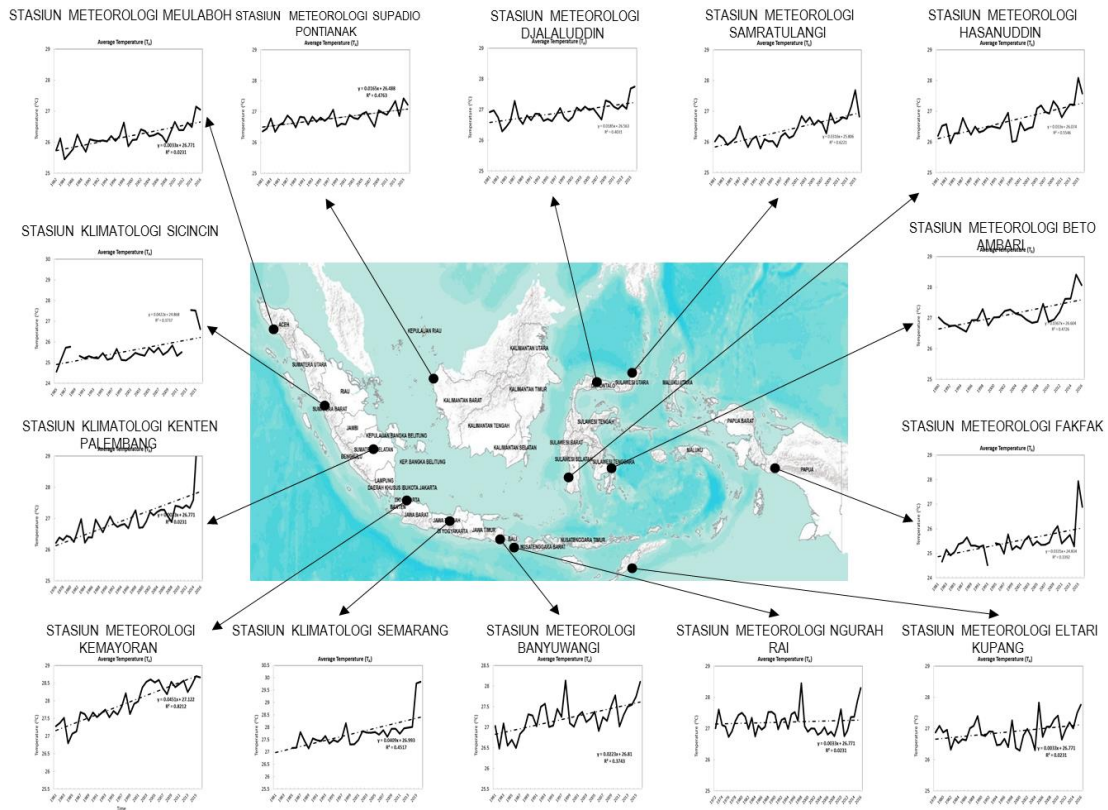
Gambar 4-1 (a) Suhu udara permukaan (Tmin, Tmean, Tmax) Jakarta Obs. (1866-2010) dan Stasiun meteorologi Citeko (WMO No. 96751, terletak pada 6.7°S 106.9°E, 920 m.a.s.l, dan sekitar 70 km dari Jakarta Citeko, Bogor (1985-2010). Kedua suhu telah disesuaikan berdasarkan perbedaan ketinggian dengan mempertimbangkan adiabatik kering (kecepatan 0,65K/100 m). (b) Anomali Observatorium Jakarta (merah) dan data global (hitam) CRUTEM 4.2.0.0 bulanan



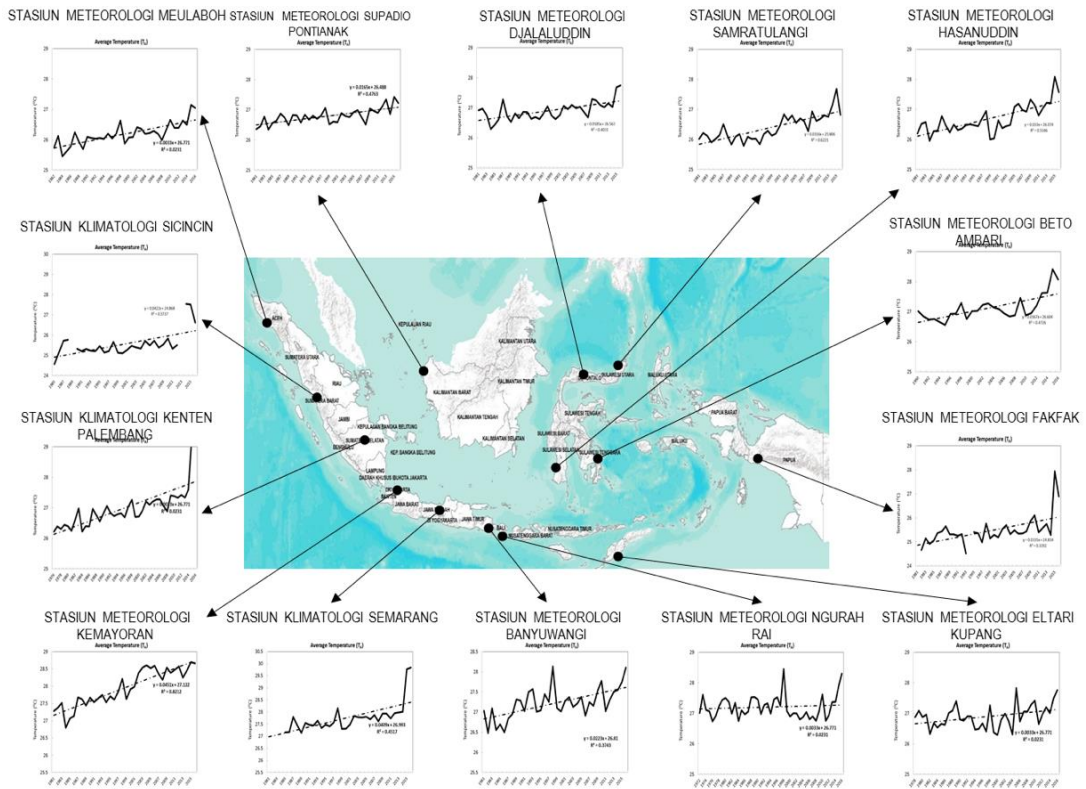
Gambar 4-2 Tren kenaikan suhu udara maksimum (warna merah, garis solid), suhu udara rata-rata (warna hitam, garis titik-titik) dan suhu udara minimum (warna biru, garis putus-putus) di Stasiun Jatiwangi



Gambar 4-3 Tren temperatur rata-rata di beberapa stasiun (1981-2016).



Gambar 4-4 Tren temperatur maksimum di beberapa stasiun (1981-2016).



Gambar 4-5 Tren temperatur minimum di beberapa stasiun (1981-2016).

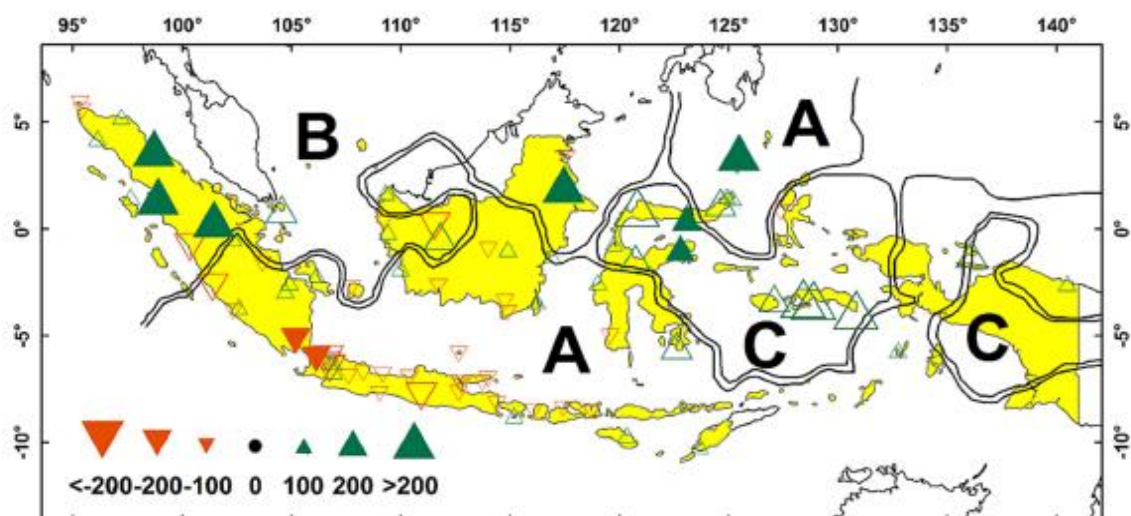
Suhu udara maksimum di Stasiun Jatiwangi dari tahun 1978-2012 (Gambar 4-2) menunjukkan tren kenaikan sebesar  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$ . Suhu udara rata-rata dan suhu udara minimum dalam periode yang sama telah mengalami tren kenaikan masing-masing  $0.02^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$  dan  $0.06^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$ . Jadi ketiga parameter suhu udara (Tmax, Tmean dan Tmin) telah mengalami kenaikan. Kenaikan suhu udara tersebut terjadi dalam rentang 35 tahun (1978-2012). Artinya di lokasi tersebut telah terjadi kenaikan suhu udara yang signifikan dan terjadi dalam rentang waktu yang lama (lebih dari 30 tahun). Kenaikan suhu udara tersebut mengindikasikan telah terjadi perubahan iklim di Indramayu. Kenaikan yang paling tinggi terjadi pada parameter suhu udara minimum. Indikasi perubahan iklim ini ditandai juga seiring dengan pesatnya perubahan tutupan lahan di Indramayu.

Gambar 4-3 – Gambar 4-5 secara berurutan menunjukkan tren perubahan temperatur rata-rata, temperatur maksimum dan temperatur minimum di beberapa stasiun di Indonesia. Ketiga unsur temperatur tersebut di semua stasiun menunjukkan adanya tren peningkatan dengan nilai laju peningkatan yang berbeda-beda. Tahun 1981-2016, pada umumnya temperatur minimum mengalami kenaikan, curah hujan mengalami kenaikan dengan tingkat kenaikan terkecil pada temperatur maksimum

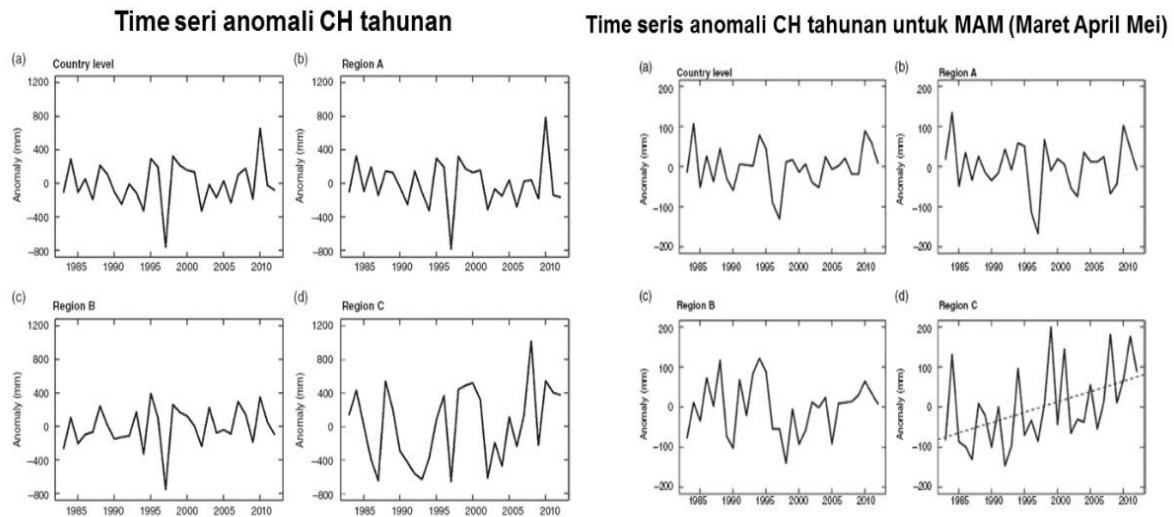
## 4.2. Perubahan Curah Hujan

### 4.2.1. Tren Musiman dan Tahunan

Tren curah hujan observasi pada 88 stasiun (1983–2012) dan tiga pola curah hujan (Aldrian dkk., 2003) ditunjukkan pada Gambar 4-6. Curah Hujan Pola Monsunal (A) dicirikan oleh tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) dimana pada bulan Juni, Juli, dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari, dan Februari merupakan bulan basah. Daerah yang didominasi oleh pola monsun ini berada didaerah Sumatera bagian Selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagian Papua. Curah Hujan Pola Ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekinoks. Daerahnya meliputi pulau Sumatera bagian tengah dan Utara serta pulau Kalimantan bagian Utara. Sementara itu, Curah Hujan Pola Lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun. Daerahnya hanya meliputi daerah Maluku, Sulawesi dan sebagian Papua.



Gambar 4-6 Tren kenaikan curah hujan yang meliputi 88 stasiun dengan data pengamatan (1983-2012)



Gambar 4-7 Time series anomali CH tahunan untuk region: Indonesia (country level), monsunal (region A), ekuatorial (region B) dan lokal (region C) (Supari dkk., 2017)

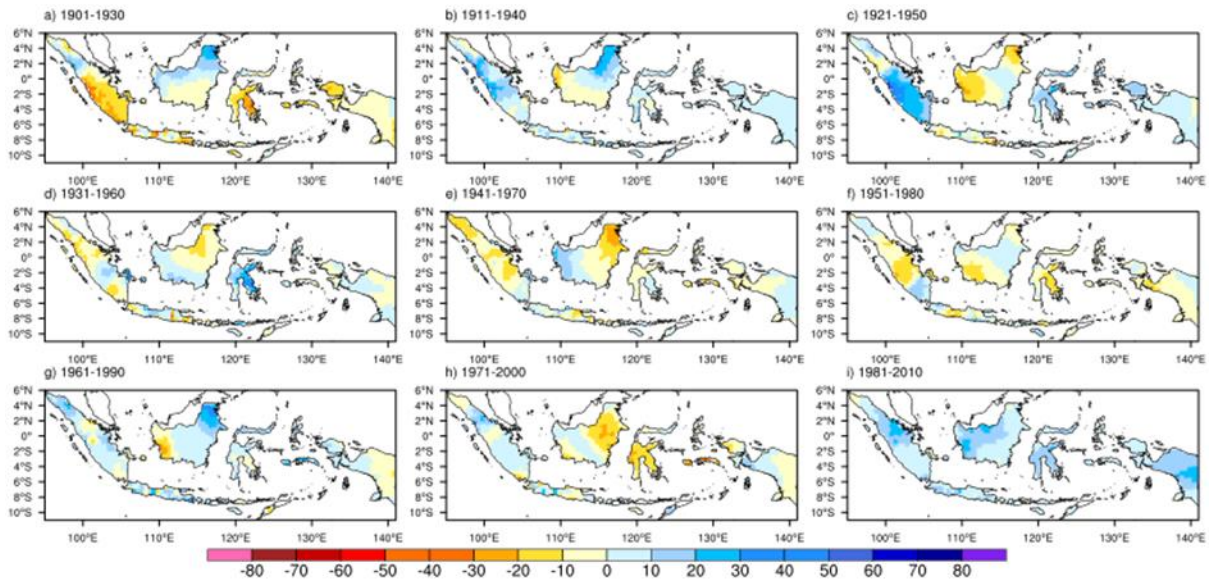
Secara umum curah hujan tahunan mengalami kenaikan yang signifikan pada tipe pola curah hujan lokal seperti yang ditunjukkan Gambar 4-7. Curah hujan tahunan Indonesia dan region A (tipe monsunal), B (tipe ekuatorial), C (tipe lokal) menunjukkan tidak terjadi kenaikan yang signifikan. Kenaikan CH tahunan signifikan terjadi pada MAM di region C yang merupakan tipe curah hujan lokal.

Atlas perubahan normal curah hujan 1981-2010 dengan 1971-2000 menampilkan informasi perubahan normal curah hujan 30 tahunan di wilayah Indonesia, dalam bentuk informasi spasial. Data yang digunakan adalah data suhu bulanan selama periode 1971-2014 yang dikumpulkan dari titik pengamatan UPT BMKG yang tersebar di Indonesia, yang selanjutnya diolah menjadi informasi suhu normal dalam 2 (dua) rentang waktu 1971-2000 dan 1981-2010. Kedua informasi tersebut kemudian dianalisis dan dibandingkan apakah telah terjadi perubahan pola iklim terutama adalah suhu antara kedua rentang waktu tersebut. Hasil analisis tiap titik pengamatan tersebut kemudian diplot ke dalam peta digital.

#### 4.2.2. Tren Dasawarsa

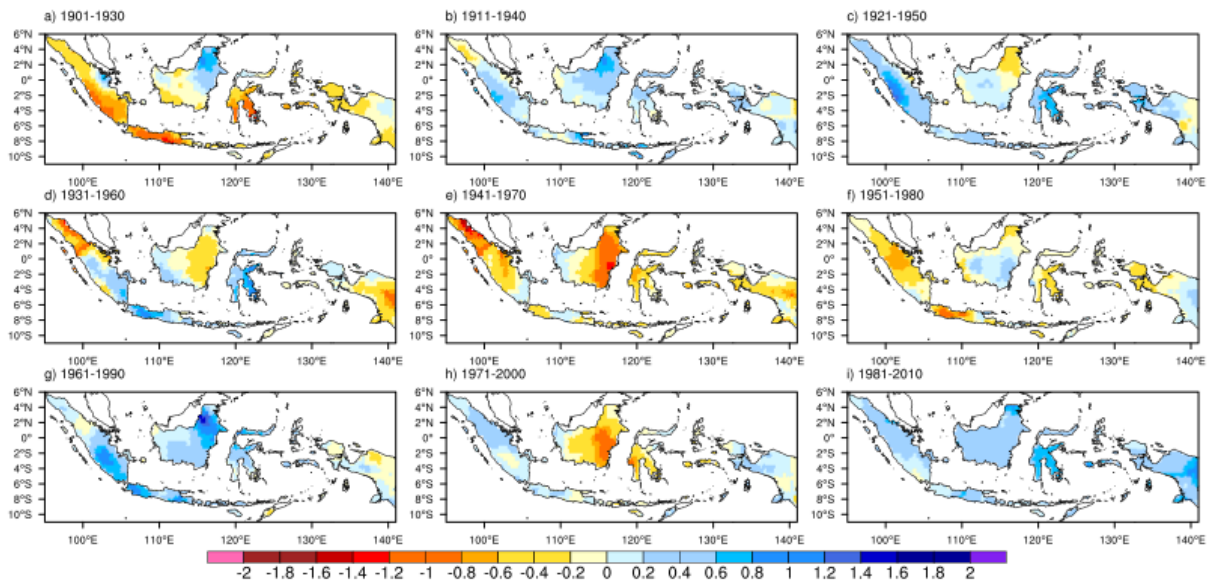
Modulasi yang terjadi antara variabilitas iklim interannual dan interdekadal akan mempengaruhi variabilitas iklim di suatu wilayah. Terutama pada wilayah yang variabilitas curah hujannya dipengaruhi oleh ENSO. Variabilitas dekadal tersebut juga akan mempengaruhi terjadinya perubahan pada tren dekadal atau interdekadal yang terjadi pada data *time series* curah hujan tahunan. Gambar 4-8 dan 4.9 menunjukkan inkonsistensi tren dekadal pada berbagai periode 30-tahunan yang berbeda, masing-masing untuk data total curah hujan tahunan dan data hari hujan tahunan. Perhitungan tren tersebut, walaupun tanpa mempertimbangkan periode kejadian fase positif dan negatif dari IPO sebagaimana yang disajikan pada Gambar 3-11, menunjukkan adanya perubahan pada nilai dan arah kecenderungan tren untuk setiap periodenya. Hal ini menunjukkan bahwa pola osilasi dekadal yang terjadi pada kedua data tersebut memiliki peran penting dalam mempengaruhi tren jangka pendek dari data curah hujan. Kondisi yang sama juga terjadi pada data suhu, tetapi perubahan tren yang terjadi tidak sejelas pada data curah hujan (Faqih dkk., 2016).

30-Years Annual Precipitation Trends of CRU\_TS3p22 Dataset (mm/year)



Gambar 4-8 Tren dekadal curah hujan tahunan di Indonesia dihitung untuk setiap periode 30-tahunan dengan pergeseran perhitungan setiap 10 tahun, yaitu untuk periode: a) 1901-1930, b) 1911-1940, c) 1921-1950, d) 1931-1960, e) 1941-1970, f) 1951-1980, g) 1961-1990, h) 1971-2000, dan i) 1981-2010

30-Years Annual WetDayFrequency Trends of CRU\_TS3p22 Dataset (mm/year)

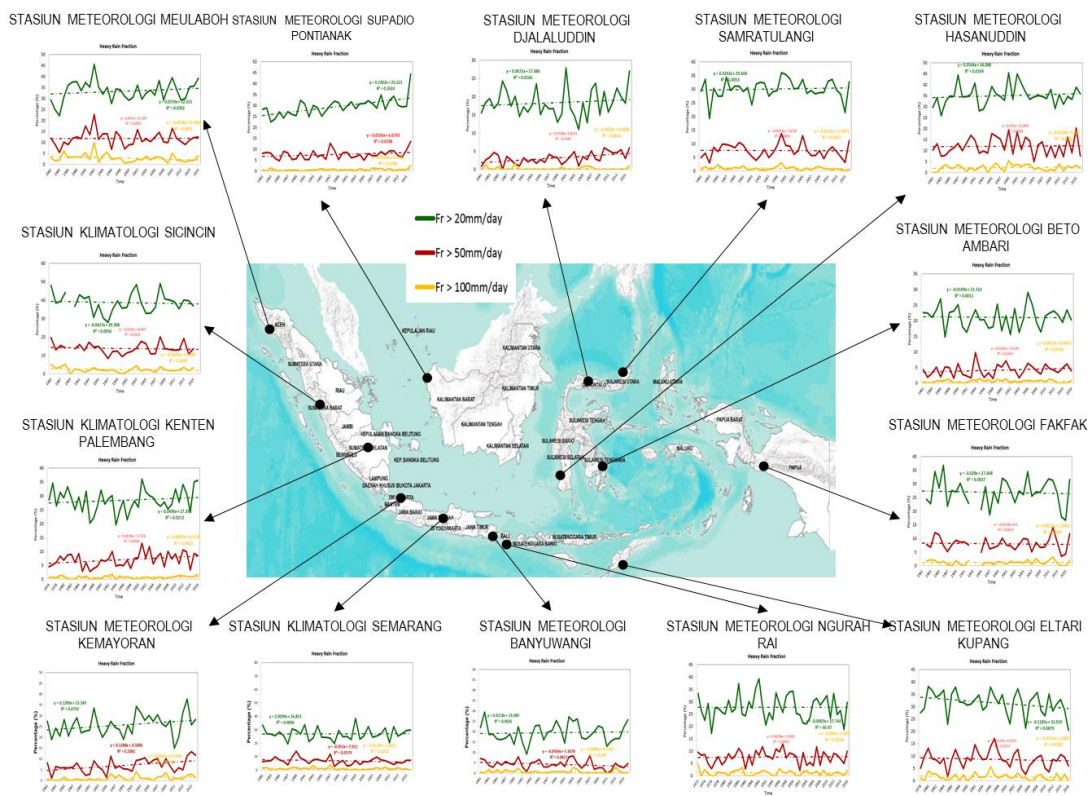


Gambar 4-9 Tren dekadal frekuensi hari hujan tahunan di Indonesia dihitung untuk setiap periode 30-tahunan dengan pergeseran perhitungan setiap 10 tahun, yaitu untuk periode: a) 1901-1930, b) 1911-1940, c) 1921-1950, d) 1931-1960, e) 1941-1970, f) 1951-1980, g) 1961-1990, h) 1971-2000, dan i) 1981-2010

### 4.3. Perubahan Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem

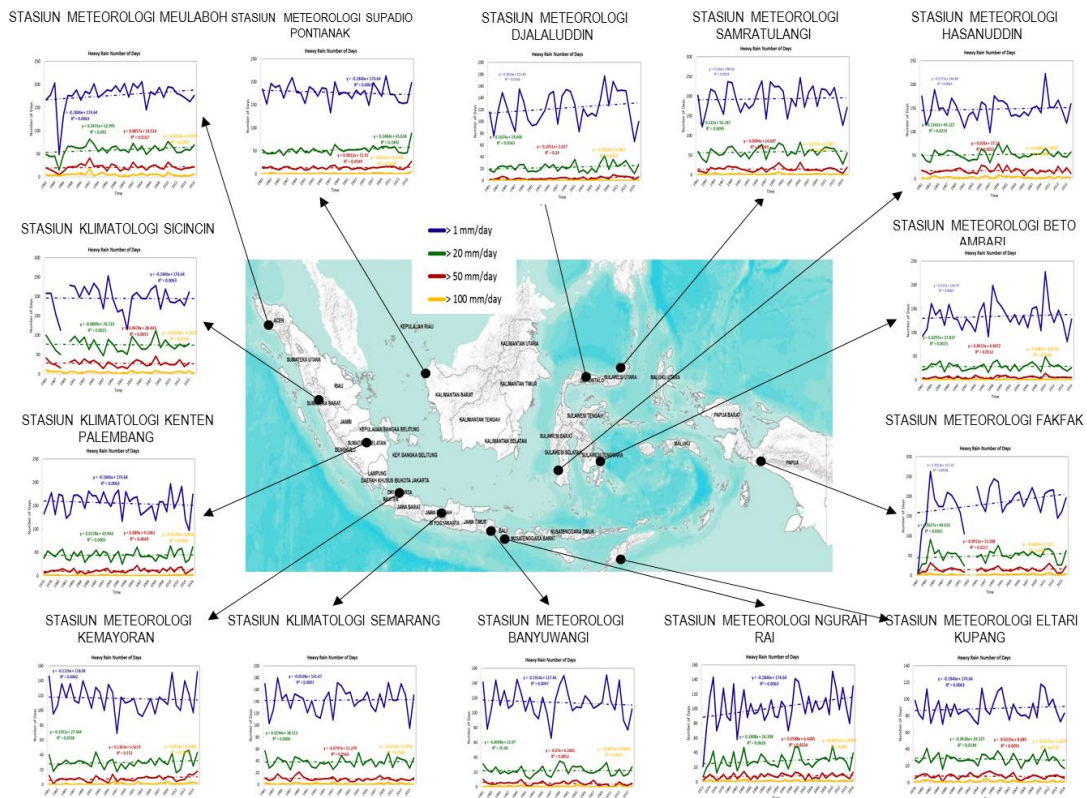
#### 4.3.1. Tren Indeks Curah Hujan Ekstrem

Perubahan iklim dapat mendorong terjadinya perubahan pada kejadian cuaca dan iklim ekstrem di Indonesia. Gambar 4-10 menunjukkan grafik tren perubahan persentase fraksi curah hujan melampaui ambang batas tertentu, dalam hal ini yaitu nilai fraksi curah hujan > 20 mm/hari, 50 mm/hari dan 100 mm/hari pada beberapa stasiun di Indonesia. *Sampling* dari beberapa stasiun tersebut menunjukkan bahwa secara umum terdapat peningkatan fraksi curah hujan ekstrem di atas ketiga ambang batas tersebut. Namun demikian, terdapat beberapa stasiun yang menunjukkan tren penurunan, seperti Stasiun Kupang, Sicincin dan Fakfak, terutama pada nilai fraksi di atas ambang batas 100 mm/hari.



Gambar 4-10 Tren fraksi curah hujan di beberapa stasiun BMKG

Analisis curah hujan ekstrem juga ditampilkan untuk melihat tren peningkatan jumlah kejadian hujan yang melampaui ambang batas tertentu setiap tahunnya (Gambar 4-11). Berdasarkan *sampling* dari beberapa stasiun yang disajikan pada gambar tersebut, terdapat keragaman arah kecenderungan tren, dimana terdapat stasiun yang mengalami tren peningkatan, namun ada pula yang menunjukkan tren penurunan. Tren peningkatan atau penurunan yang cukup tinggi umumnya terlihat pada nilai ambang batas curah hujan yang melampaui 100 mm/hari. Seperti di stasiun meteorologi Meulaboh, Fakfak dan Ngurah Rai yang mengalami tren peningkatan yang cukup signifikan. Sebaliknya, tren penurunan curah hujan ekstrem di atas ambang batas tersebut terlihat cukup jelas, sebagai contoh pada stasiun Banyuwangi, Palembang dan Pontianak.



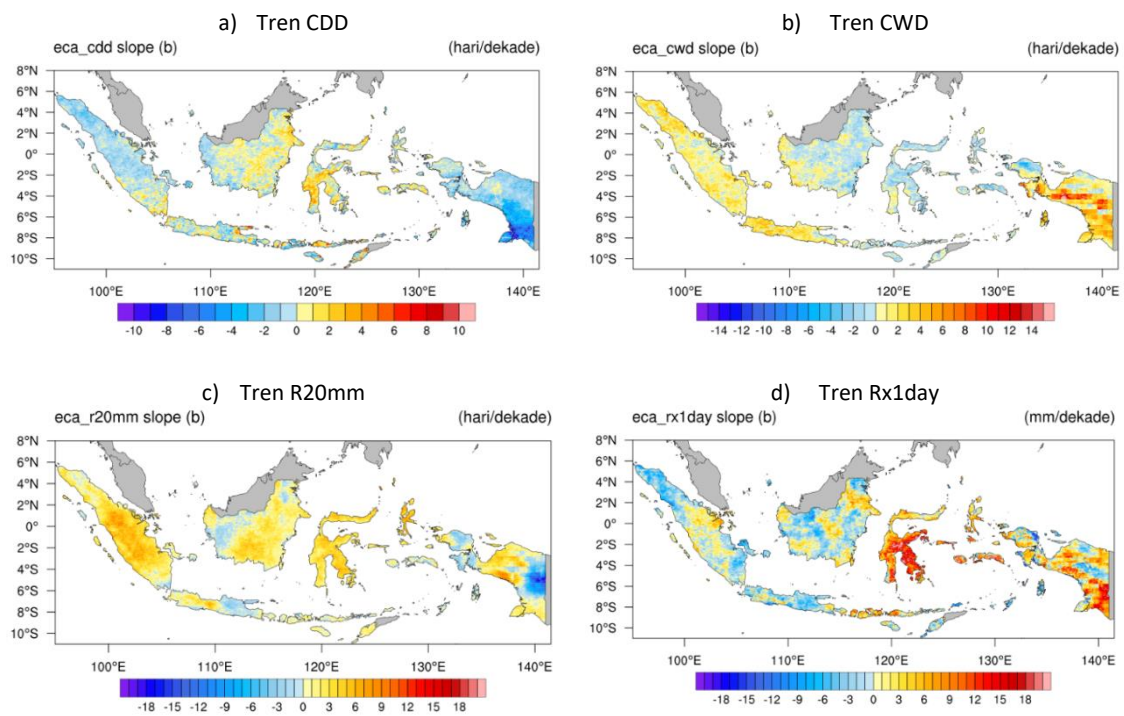
Gambar 4-11 Tren jumlah kejadian hujan yang nilainya melampaui ambang batas 1 mm/hari, 20 mm/hari, 50 mm/hari dan 100 mm/hari di beberapa stasiun BMKG

Selain tren fraksi hujan dan hujan ekstrem yang melampaui beberapa nilai ambang batas di atas, laporan ini juga menyajikan tren spasial beberapa indeks ETCCDI yang merupakan turunan dari data curah hujan harian (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016) (Gambar 4-12). Adapun indeks ETCCDI tersebut, diantaranya yaitu CDD, CWD, R20mm dan Rx1day. Tren perubahan jumlah kejadian hari tanpa hujan maksimum secara berturut-turut (CDD) menunjukkan adanya peningkatan pada sebagian wilayah di Indonesia, khususnya di sebagian besar wilayah selatan Kalimantan, sebagian Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, sebagian besar Kalimantan, Sulawesi dan Maluku. Sementara itu, wilayah Papua cenderung didominasi oleh adanya tren penurunan CDD. Beberapa wilayah seperti di Jawa Timur, Nusa Tenggara dan Sulawesi menunjukkan nilai tren peningkatan yang cukup besar dibandingkan dengan wilayah lainnya (Gambar 4-12a).

Sedangkan untuk nilai indeks CWD atau jumlah maksimum kejadian hari hujan secara berturut-turut, menunjukkan adanya tren peningkatan di sebagian besar Sumatera, Jawa dan Papua, serta di sebagian kecil Kalimantan dan Sulawesi. Tren peningkatan paling tinggi terjadi di Papua. Hal ini menunjukkan bahwa di Papua cenderung mengalami kondisi yang lebih basah, dimana tren peningkatan CWD dapat mengindikasikan seringnya kejadian hari hujan yang terjadi secara berturut-turut dan cenderung berlangsung lama yang dapat menyebabkan peningkatan bencana seperti banjir dan tanah longsor. Meningkatnya tren CWD di Papua konsisten dengan terjadinya tren penurunan CDD di wilayah tersebut.

Gambar 4-12c menunjukkan tren perubahan jumlah kejadian curah hujan yang nilainya lebih dari 20 mm/hari atau R20mm. Nilai indeks R20mm cenderung mengalami tren peningkatan di sebagian besar wilayah di Indonesia, khususnya hampir di seluruh wilayah di Sumatera dan Sulawesi, sebagian besar Kalimantan, serta sebagian Jawa, Maluku dan Papua. Kecenderungan jumlah kejadian ekstrem ini juga

ternyata terjadi di Nusa Tenggara yang juga cenderung menunjukkan tren peningkatan CDD. Artinya, wilayah ini selain mengalami kekeringan yang berlangsung lama, juga akan mengalami peningkatan jumlah kejadian curah hujan ekstrem khususnya yang besarnya di atas 20 mm/hari.

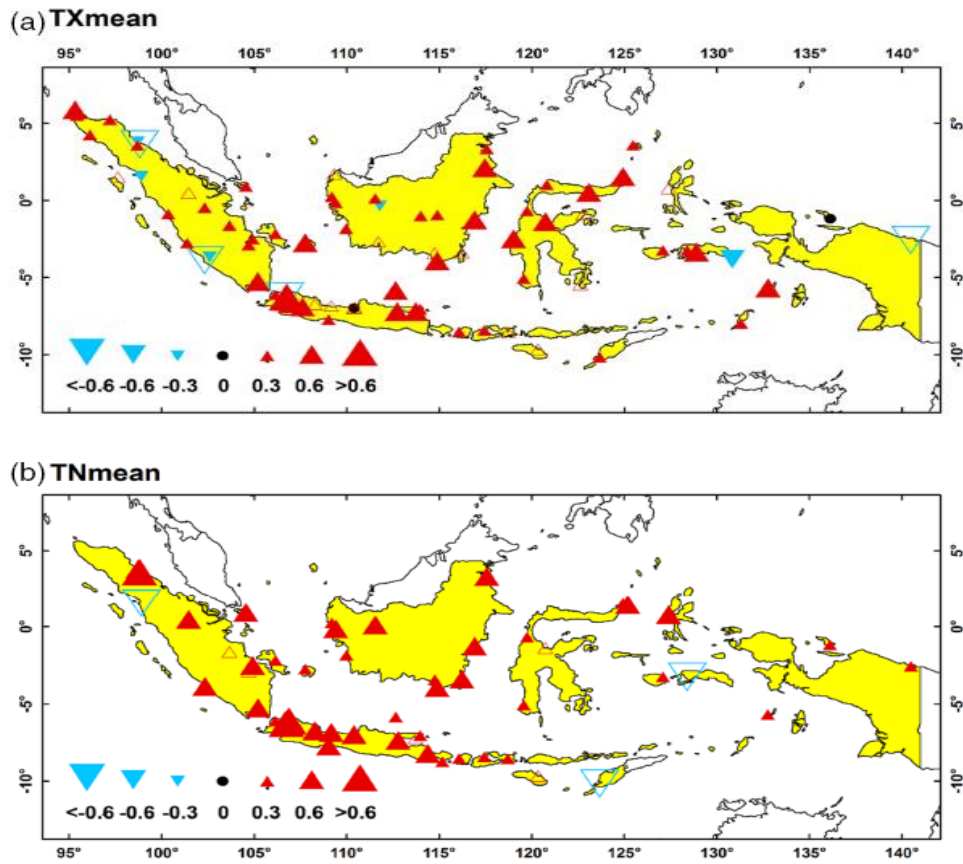


Gambar 4-12 Tren spasial beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY (Surmaini dkk., 2016; Faqih dkk., 2016)

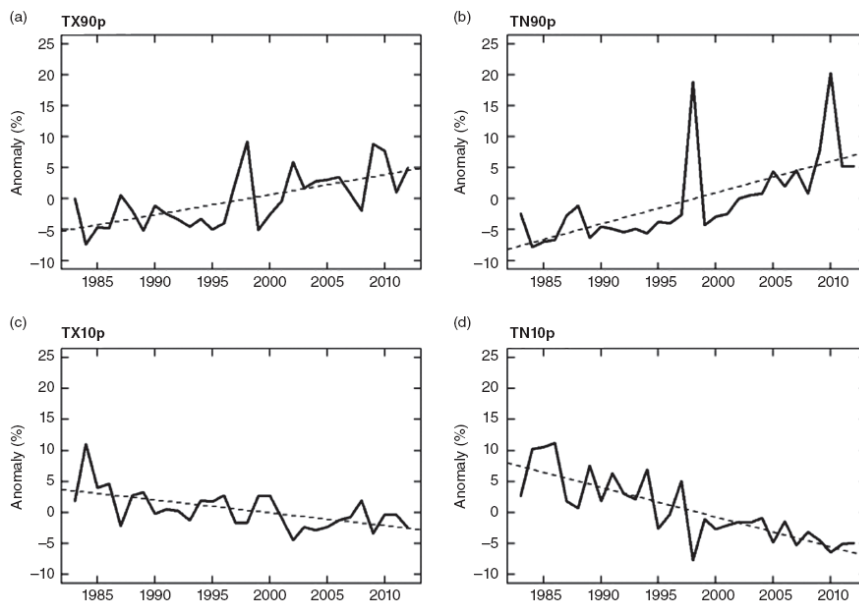
#### 4.3.2. Tren Indeks Temperatur Ekstrem

Analisis tren temperatur Indonesia dengan menggunakan data observasi sebanyak 88 stasiun (1983–2012) dan mencakup tiga pola curah hujan (Aldrian dkk, 2003) telah dilakukan dengan menggunakan indeks ekstrem yang direkomendasikan oleh *Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)* (Supari dkk., 2017). Hasil analisis tersebut menunjukkan tren peningkatan pada nilai rata-rata temperatur maksimum tahunan (TXmean) dan rata-rata temperatur minimum tahunan (TNmean) hampir di seluruh stasiun di Indonesia yang digunakan dalam analisis (Gambar 4-13).

Anomali indeks temperatur ekstrem di Indonesia menunjukkan bahwa indeks ekstrem TX90p (persentase jumlah hari ketika temperatur maksimum harian  $>90^{th}$  percentile) dan TN90p (persentase jumlah hari ketika temperatur minimum harian  $>90^{th}$  percentile) mengalami kenaikan sedangkan TX10p (persentase jumlah hari ketika temperatur maksimum harian  $<10^{th}$  percentile) dan TN10p (persentase jumlah hari ketika temperatur minimum harian  $<10^{th}$  percentile) mengalami penurunan (Gambar 4-14). Ini artinya bahwa Indonesia mengalami tren peningkatan jumlah hari panas pada siang hari dan tren penurunan jumlah hari dingin pada malam hari (Supari dkk., 2017), sehingga mengindikasikan kondisi yang semakin panas.



Gambar 4-13 Perubahan rata-rata temperatur maksimum tahunan (TXmean) dan temperatur minimum tahunan (TNmean) (Supari dkk., 2017)



Gambar 4-14 Tren indeks temperatur ekstrem di wilayah Indonesia: a) TX90P, b) TN90P c) TX10p, dan d) TN10p (Supari dkk., 2017)

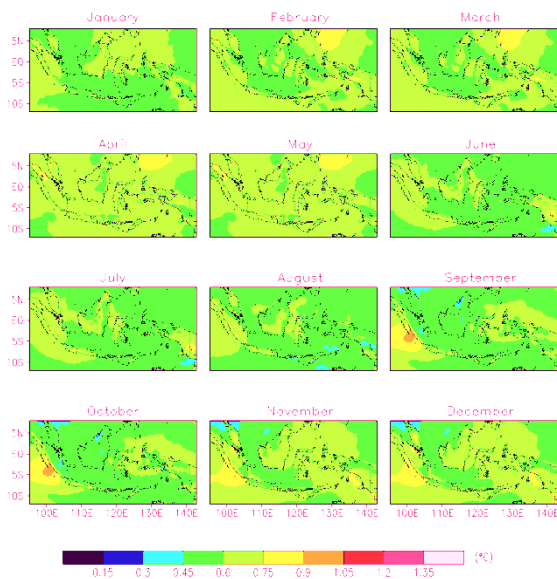
## BAB 5. SKENARIO PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

### 5.1. Skenario Kenaikan Temperatur Permukaan

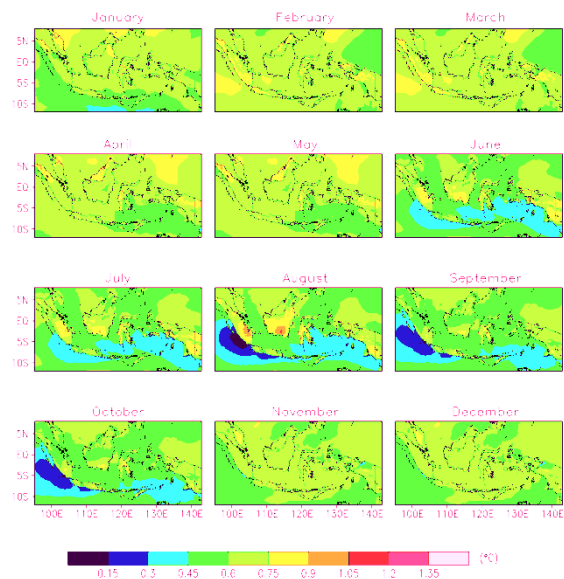
#### 5.1.1. Downscaling Dinamis

*Downscaling* dilakukan menggunakan sejumlah GCM dari CMIP5 untuk wilayah Asia Tenggara. *General Circulation Model* (GCM) adalah model numerik yang merepresentasikan proses fisis di atmosfer, laut, kriosfer dan daratan. Hasil rerata multimodel perubahan temperatur rata-rata ( $T_{ave}$ ) bulanan periode 2020-2035 yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005 ditunjukkan pada Gambar 5-1a dan 5.1b.

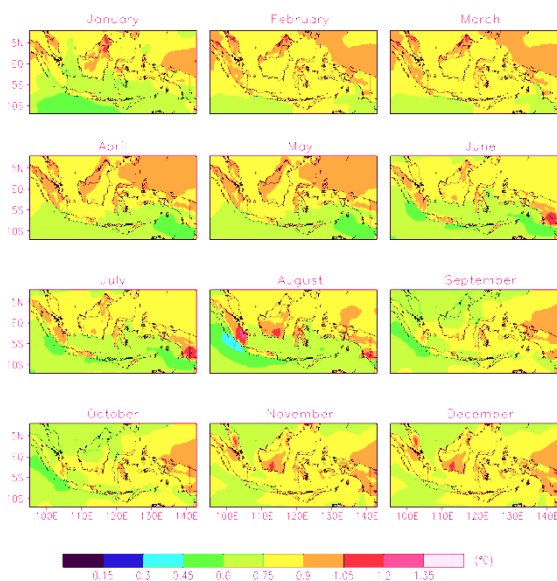
a)  $T_{ave}$ , RCP4.5, 2020-2035



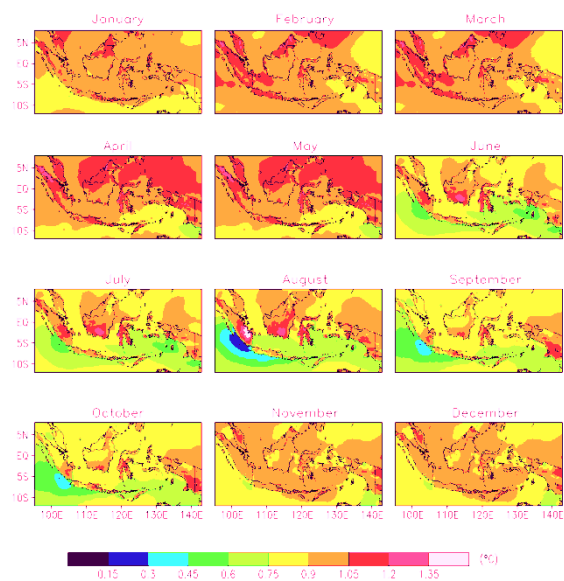
b)  $T_{ave}$ , RCP8.5, 2020-2035



c)  $T_{ave}$ , RCP4.5, 2030-2045



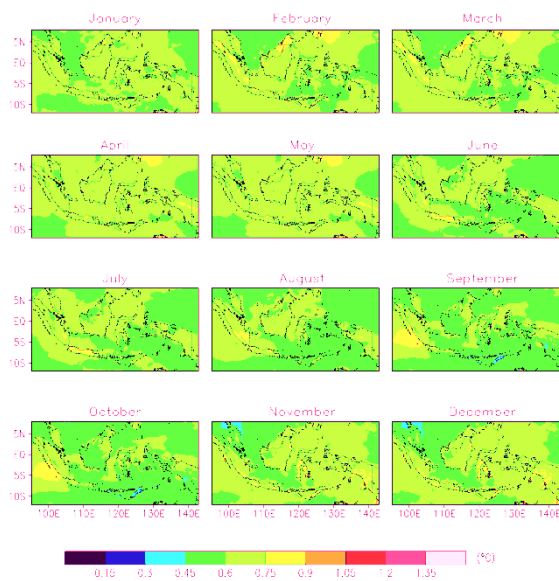
d)  $T_{ave}$ , RCP8.5, 2030-2045



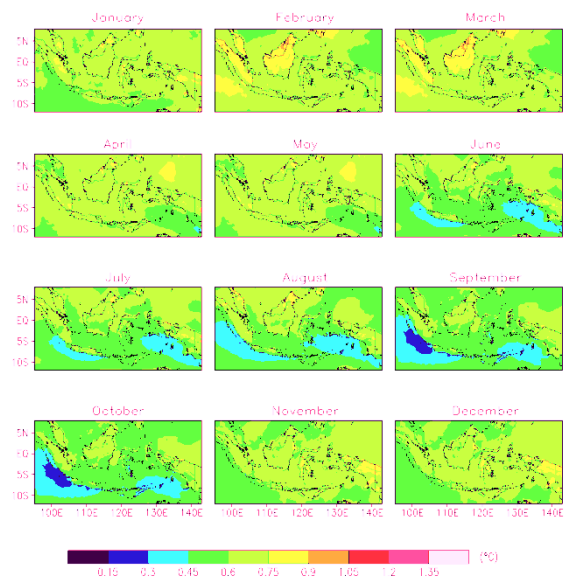
Gambar 5-1 Hasil rerata multimodel perubahan temperatur rata-rata bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005

Pada periode ini, perubahan  $T_{ave}$  bulanan di sebagian besar wilayah daratan diproyeksikan skenario RCP4.5 sekitar 0.45-0.75°C. Sedangkan dengan skenario RCP8.5, perubahan  $T_{ave}$  bulanan pada periode yang sama sekitar 0.6-0.9°C. Di sebagian Sumatera bagian timur, Kalimantan bagian selatan, dan sebagian kecil Sulawesi bagian selatan, perubahan mencapai lebih dari 1°C pada bulan Agustus dengan skenario RCP8.5. Perubahan  $T_{ave}$  semakin besar pada periode 2030-2045 (Gambar 5-1c dan 5.1d). Pada periode ini, secara umum perubahan  $T_{ave}$  bulanan di sebagian besar wilayah daratan diproyeksikan dengan skenario RCP4.5 bernilai sekurang-kurangnya sekitar 0.75°C. Perubahan tertinggi  $T_{ave}$  bulanan diproyeksikan mencapai 1.3°C di daerah Sumatera bagian selatan pada bulan Agustus. Skenario RCP8.5 memproyeksikan perubahan  $T_{ave}$  bulanan di wilayah daratan pada umumnya lebih dari 0.9°C. Perubahan hingga mencapai 1.5°C terlihat di daerah Sumatera bagian timur pada bulan Agustus.

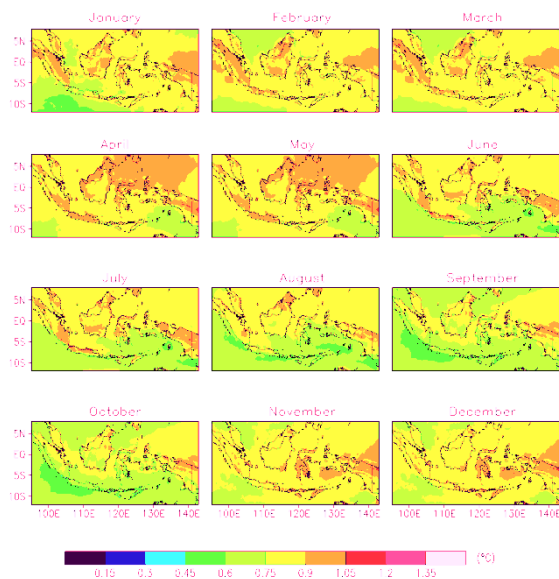
a) TN, RCP4.5, 2020-2035



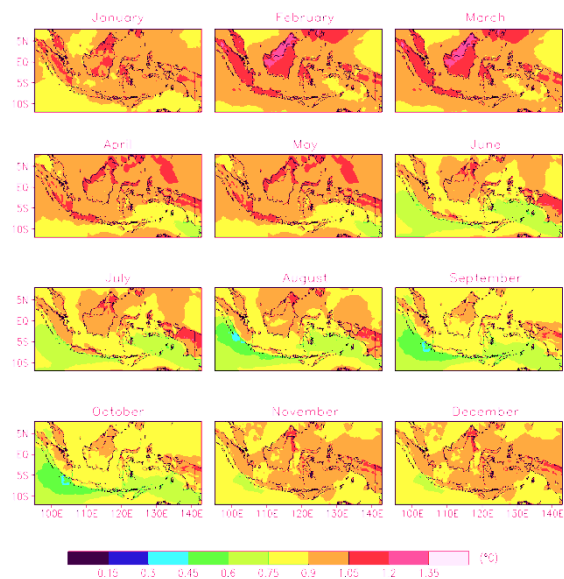
b) TN, RCP8.5, 2020-2035



c) TN, RCP4.5, 2030-2045



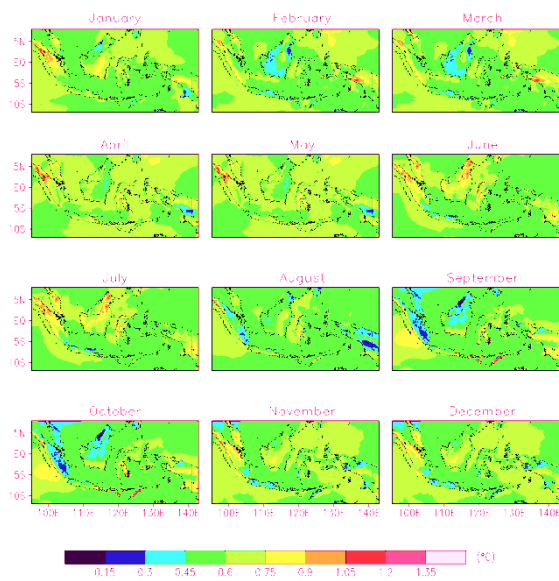
d) TN, RCP8.5, 2030-2045



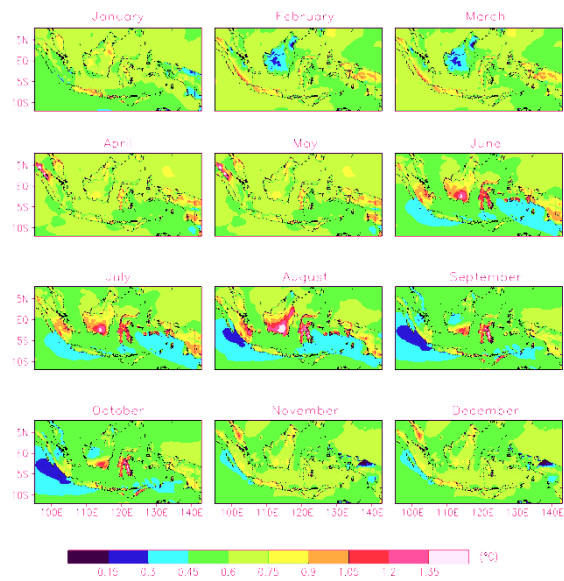
Gambar 5-2 Multimodel mean perubahan temperatur minimum bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005

Gambar 5-2 menunjukkan multimodel mean perubahan temperatur minimum (TN) periode 2020-2035 dan 2030-2045 relatif terhadap periode 1990-2005. Tampak bahwa pada periode 2020-2035, umumnya perubahan TN bulanan di wilayah daratan antara 0.45-0.75°C baik dengan menggunakan skenario RCP4.5 maupun RCP8.5 (Gambar 5-2a dan 5.2b). Di Sumatera dan Kalimantan mencapai 0.9°C pada bulan Februari dan Maret dengan menggunakan skenario RCP8.5. Perubahan TN bulanan pada periode 2030-2045 relatif terhadap 1990-2005 di wilayah daratan bernilai sekitar 0.6-1.05°C dengan menggunakan RCP4.5 (Gambar 5-2c) dan 0.75-1.35°C dengan menggunakan RCP8.5 (Gambar 5-2d). Perubahan paling besar dan paling luas terjadi pada bulan Februari dan Maret yang mencapai 1.35°C (untuk RCP8.5) dan meliputi wilayah Sumatera, Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi. Pada bulan April dan Mei perubahan TN masih tetap tinggi (1.05-1.2°C untuk RCP8.5) dan meluas di Pulau Jawa.

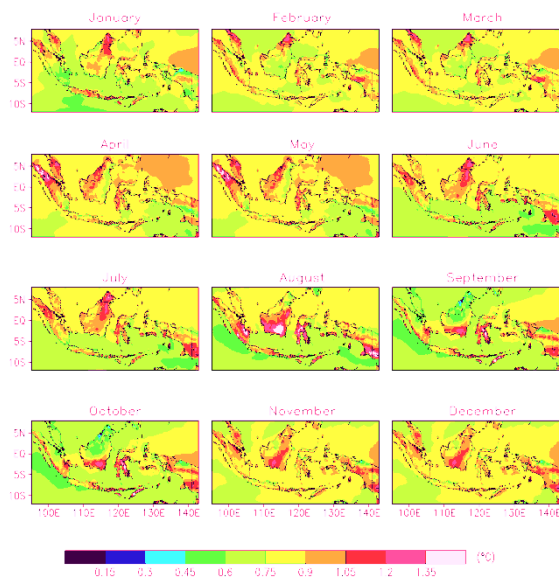
a) TX, RCP4.5, 2020-2035



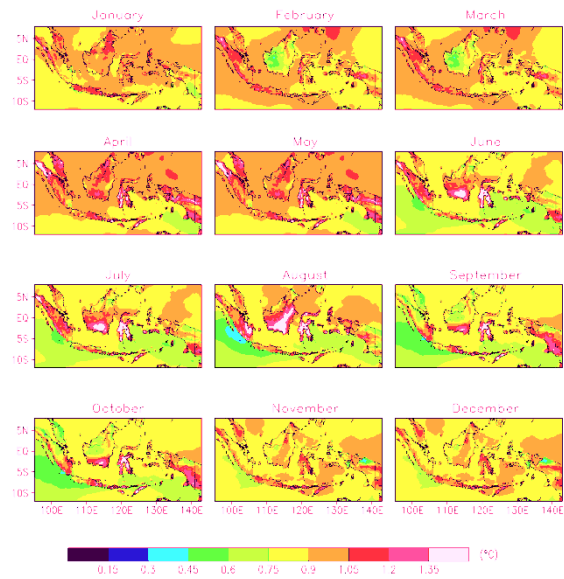
b) TX, RCP8.5, 2020-2035



c) TX, RCP4.5, 2030-2045



d) TX, RCP8.5, 2030-2045

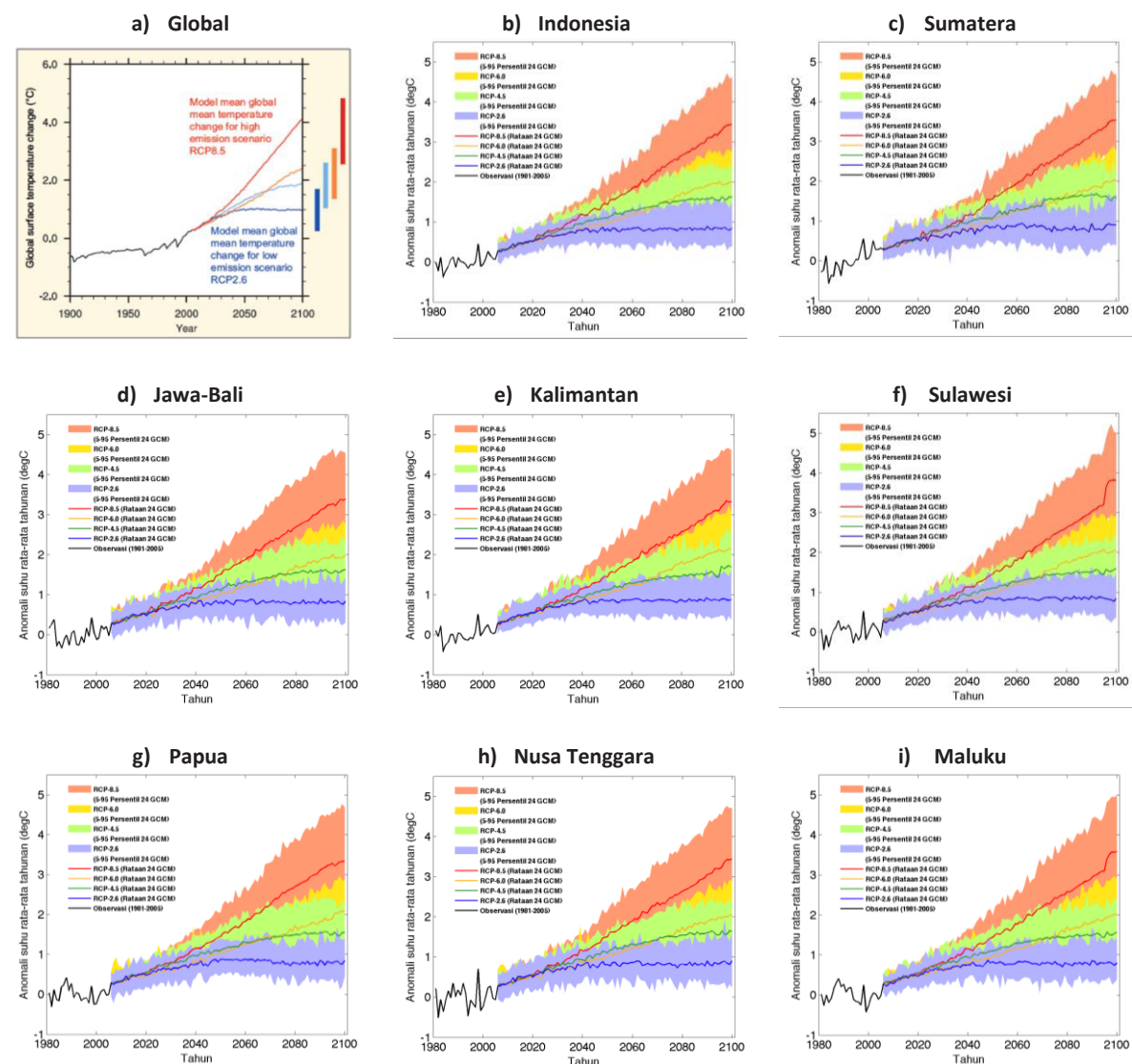


Gambar 5-3 Multimodel mean perubahan temperatur maximum bulanan periode 2020-2035 (a dan b) dan 2030-2045 (c dan d) yang diproyeksikan dengan menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 relatif terhadap periode 1990-2005

Multimodel mean perubahan temperatur maximum (TX) di wilayah daratan Indonesia tampak lebih bervariasi secara temporal dan spasial dibandingkan dengan perubahan  $T_{ave}$  dan TN (Gambar 5-3). Untuk RCP4.5, perubahan TX bulanan pada periode 2020-2035 relatif terhadap periode 1990-2005 antara 0,15-1,2°C (Gambar 5-3a), sedangkan untuk RCP8.5 0,3-1,5°C (Gambar 5-3b). Pada tahun 2030-2045 perubahan TX bulanan sebesar 0,45-1,5°C untuk RCP4.5 dan 0,75-1,5°C untuk RCP8.5. Perubahan terbesar dan luas pada umumnya berlangsung selama bulan April-Agustus yang mencapai 1,5°C dan meliputi sebagian besar Sumatera, sebagian besar Kalimantan, sebagian besar Jawa, Sulawesi, dan Papua. Di pulau Jawa bahkan sejak Januari. Pada bulan September-Oktober perubahan masih tetap tinggi di wilayah selatan ekuator.

### 5.1.2. Downscaling Statistik

Selain downscaling dengan teknik dinamis, dilakukan juga downscaling statistik untuk parameter iklim temperatur dan curah hujan. Gambar 5-4 perbandingan proyeksi tren peningkatan temperatur rata-rata global dengan temperatur di Indonesia dan di 7 wilayah Ekoregion Indonesia.



Gambar 5-4 Perbandingan proyeksi tren peningkatan temperatur rata-rata global dengan temperatur di Indonesia dan di 7 wilayah Ekoregion Indonesia

Suhu rata-rata global diproyeksikan akan terus meningkat (IPCC, 2013), demikian pula rata-rata suhu udara permukaan di wilayah Indonesia (Faqih dkk., 2016). Untuk kebutuhan kaji ulang RAN API, dilakukan juga perhitungan proyeksi tren peningkatan suhu untuk 7 wilayah sesuai pembagian RTRW. Grafik tren dihasilkan dari rentang ketidakpastian (*uncertainty*) yang dihasilkan oleh luaran 24 model GCM yang di-*downscale* dengan menggunakan metode koreksi bias (Faqih, 2017) terhadap data luaran GCM yang sudah diinterpolasi sebelumnya. Sebagai acuan dari data grid suhu observasi digunakan data temperatur rata-rata CRU TS3.2 (Harris dkk., 2014). Nilai anomali suhu dihitung relatif terhadap nilai rata-rata referensi periode tahun 1981-2005 di masing-masing wilayah.

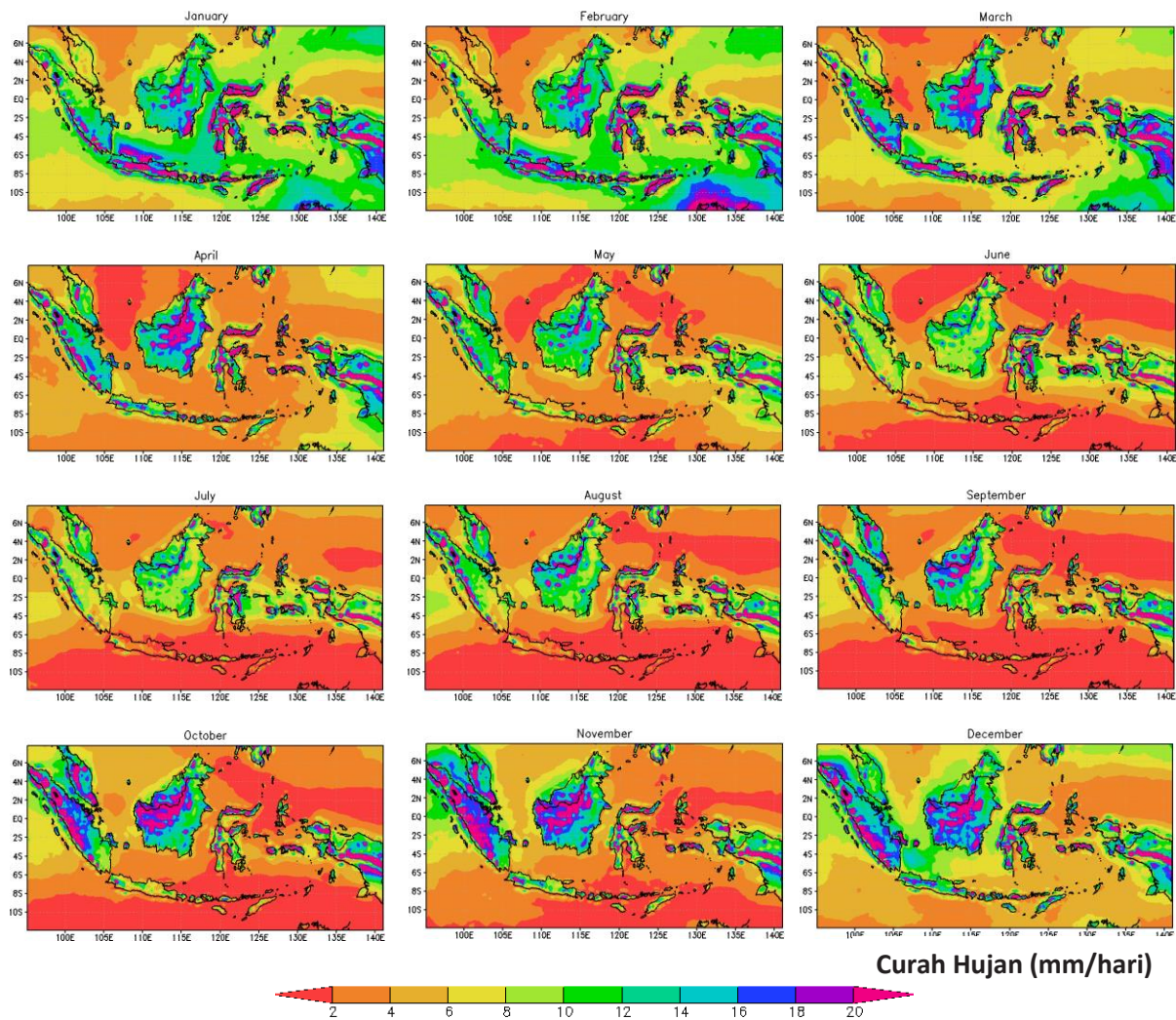
Perbandingan antara hasil proyeksi suhu global dengan proyeksi suhu regional untuk Indonesia menunjukkan bahwa tren suhu di Indonesia lebih rendah dari global di semua skenario RCP (Gambar 5-4). Peningkatan suhu di Indonesia pada RCP2.6 diproyeksikan kurang dari 1°C pada tahun 2100, sedangkan nilai global bisa mencapai 1°C. Perbedaan kenaikan suhu pada tahun 2100 seperti yang ditunjukkan oleh RCP4.5 hampir 0,5°C lebih rendah untuk Indonesia, yaitu sekitar 1,5°C di Indonesia dan hampir 2°C di global. Hasil proyeksi berbagai model iklim memiliki rentang ketidakpastian (*uncertainty*), kenaikan tertinggi suhu rata-rata proyeksi di Indonesia berpotensi mencapai nilai yang sama seperti pada rentang temperatur global pada tahun 2100, yaitu lebih dari 4°C. Hasil proyeksi suhu di Indonesia dan 7 wilayah menunjukkan pola tren yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa dari segi pengaruh peningkatan suhu global, wilayah Indonesia juga diproyeksikan ikut mengalami tren peningkatan suhu. Namun demikian, laju peningkatannya tidak sebesar peningkatan yang terjadi pada data suhu rata-rata global. Tren peningkatan suhu yang terjadi di Indonesia dapat mempengaruhi berbagai aspek dan sektor kehidupan, terutama di sektor pertanian, kehutanan dan kesehatan.

## 5.2. Skenario Perubahan Curah Hujan

Curah hujan sangat penting diketahui karena curah hujan dapat menentukan ketersediaan air di suatu daerah. Curah hujan sangat berpengaruh terhadap aktivitas kehidupan manusia keragamannya cukup besar dan mencirikan iklim di Indonesia. Perubahan iklim global dapat meningkatkan kejadian-kejadian curah hujan ekstrem. Proyeksi curah hujan membantu untuk memperkirakan kondisi dan potensi ketersediaan air di masa yang akan datang, sehingga dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya maupun menghindari bencana yang mungkin diakibatkan dengan sebaik-baiknya.

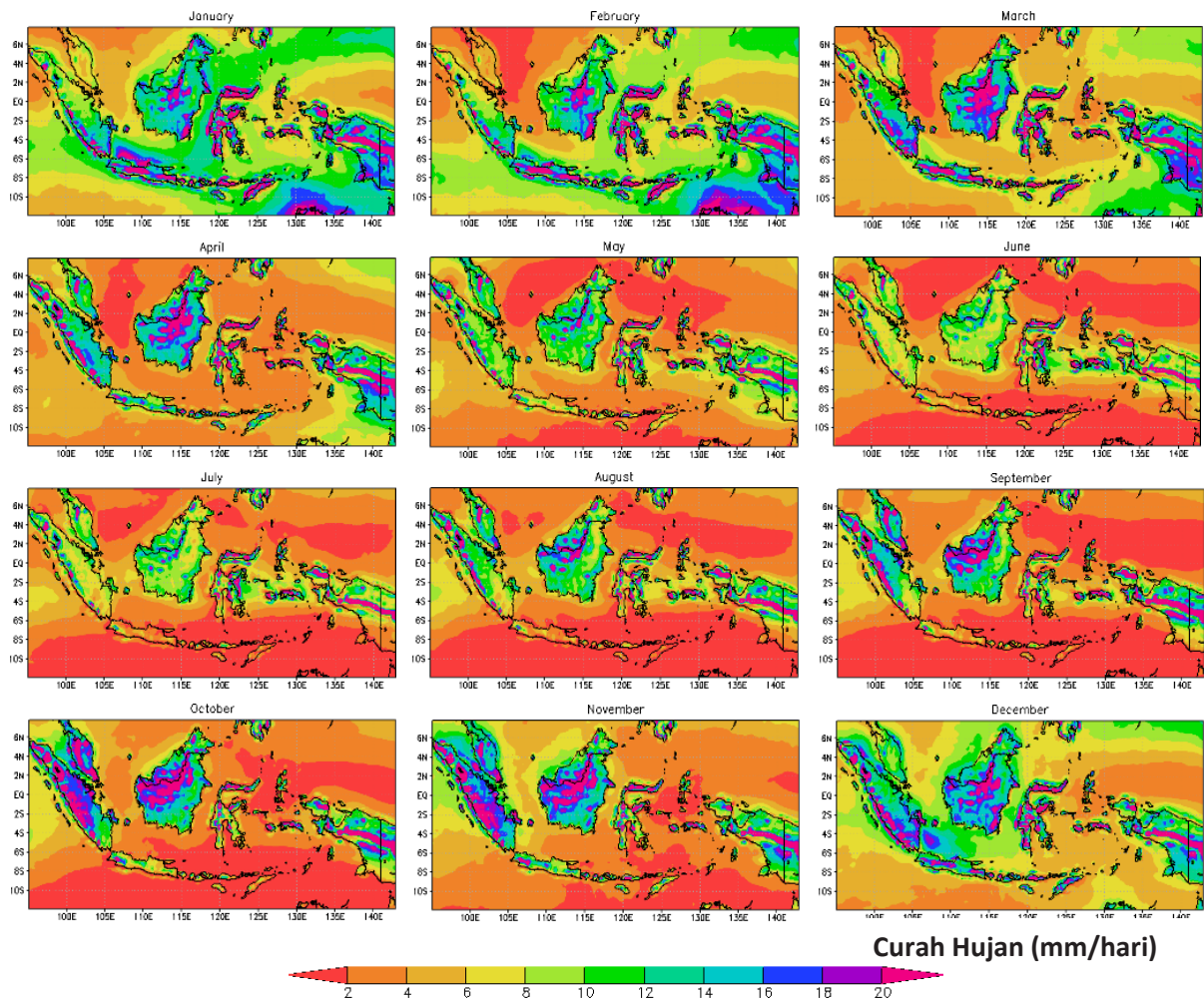
### 5.2.1. *Downscaling* Dinamis

Gambar 5-5 menyajikan informasi distribusi spasial dan temporal curah hujan rata-rata harian yang berasal dari data historis (baseline) *multimodel ensemble* untuk periode tahun 1990-2005. Secara umum terlihat bahwa untuk bulan Januari hingga April sebagian besar wilayah daratan Indonesia mendapatkan intensitas hujan yang cukup tinggi dan mulai berkurang pada bulan Mei hingga September lalu kembali tinggi pada bulan Oktober hingga Desember, di mana untuk pulau Sulawesi dan Maluku memperlihatkan kondisi sebaran intensitas curah hujan yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan kondisi di wilayah lain selama hampir sepanjang tahun, sementara untuk sebagian besar wilayah Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Papua Selatan (Merauke) nampak dalam kondisi yang cukup kering pada periode Mei-September. Untuk sebagian besar wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya terlihat bahwa intensitas curah hujan yang rendah, hal ini disebabkan karena di wilayah perairan merupakan wilayah dimana terjadinya konveksi (wilayah pembentukan awan) sehingga mengalami proses penguapan yang sangat tinggi.



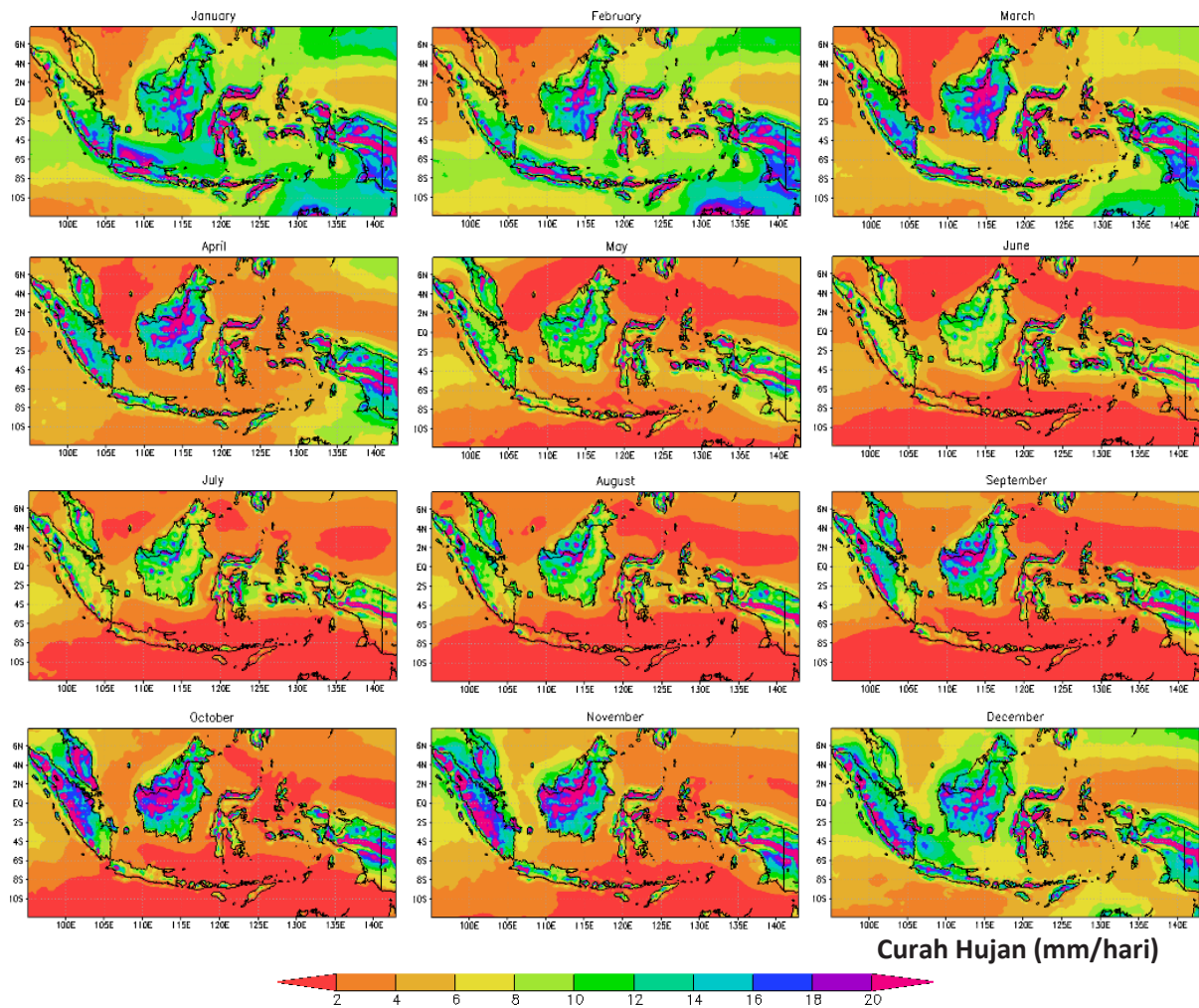
Gambar 5-5 Curah hujan rata-rata harian di Indonesia berdasarkan data historis multimodel ensemble (periode 1990-2005)

Dengan menggunakan data pada periode baseline (1990-2005) dilakukan proyeksi curah hujan menggunakan skenario IPCC RCP. Gambar 5-6 menunjukkan proyeksi rata-rata curah hujan harian di Indonesia yang berasal dari *multimodel ensemble* GCMs untuk periode tahun 2020-2035 (jangka pendek) dengan skenario RCP4.5. Secara umum tidak terlihat perubahan curah hujan yang cukup signifikan antara historis dengan proyeksi jangka pendek pada skenario RCP4.5 periode 2020-2035 (Gambar 5-6) tersebut untuk sebagian besar wilayah daratan Indonesia, namun terdapat konsistensi yang ditandai dengan penurunan curah hujan di wilayah perairan khususnya di bagian utara dan selatan Indonesia pada bulan Mei hingga Oktober. Untuk di sebagian besar wilayah daratan Indonesia curah hujan yang cukup tinggi terjadi pada bulan Desember, Januari hingga April (periode musim hujan yang dibarengi dengan monsoon Australia) dan tersebar secara merata, namun mulai berkurang secara signifikan pada bulan Mei hingga Agustus (periode musim kemarau yang dibarengi dengan monsoon Asia) di wilayah Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Irian Jaya. Untuk sebagian besar wilayah selatan Indonesia (Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara Timur) curah hujan yang rendah terus berlanjut hingga bulan September, sedangkan untuk wilayah Sulawesi, Maluku dan Irian Jaya nampak curah hujan cukup tinggi di sepanjang tahun.



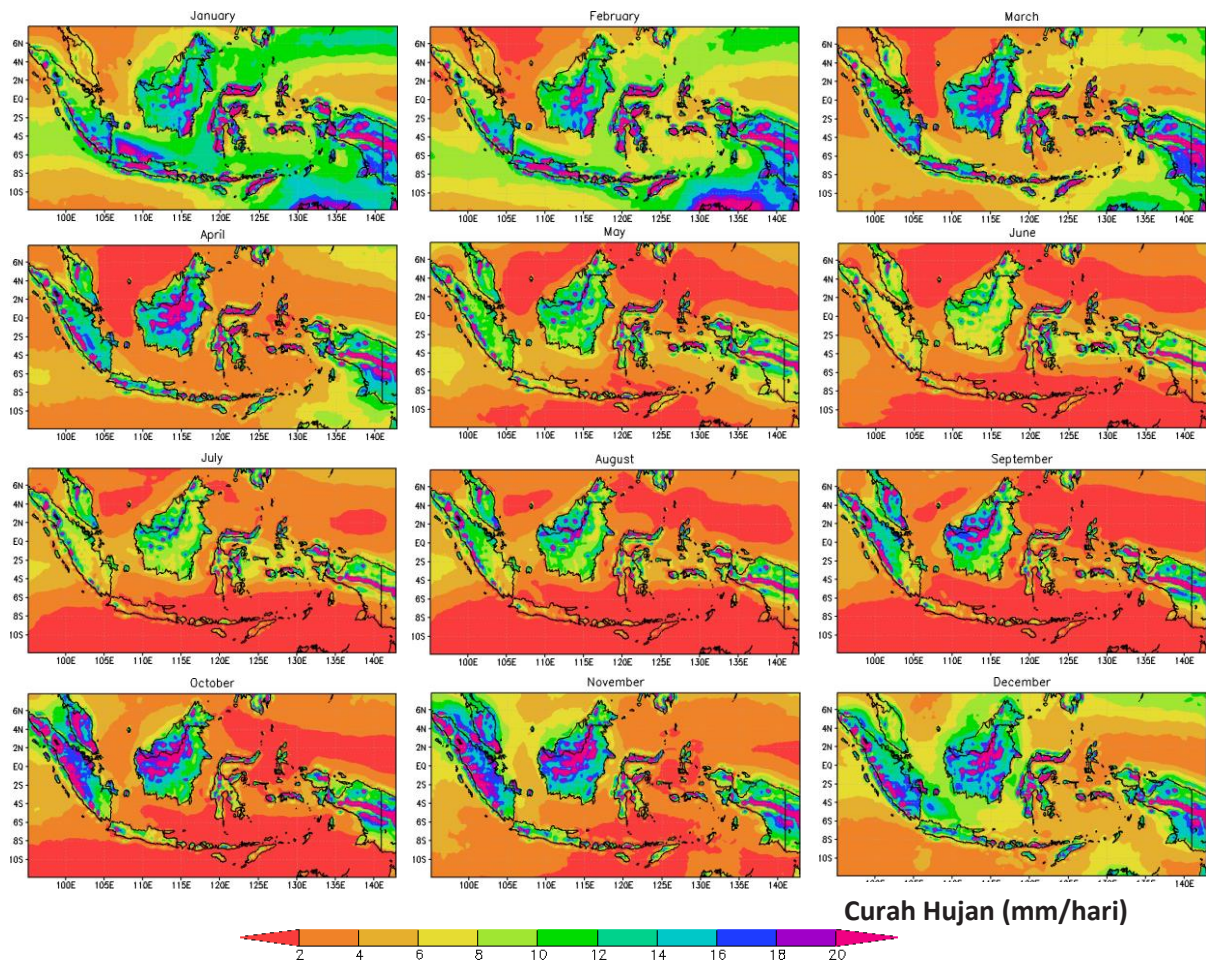
Gambar 5-6 Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5

Selain proyeksi jangka pendek atau near-term yang mengacu pada periode dari sekarang sampai abad pertengahan, dilakukan juga proyeksi untuk jangka menengah. Hasil proyeksi curah hujan untuk periode 2030-2045 diperlihatkan pada Gambar 5-7. Hampir serupa dengan Gambar 5-6, pada Gambar 5-7 terlihat proyeksi jangka menengah untuk skenario RCP4.5 periode 2030-2045 yang menunjukkan distribusi spasial perubahan curah hujan harian untuk wilayah daratan maupun perairan Indonesia. Dapat terlihat secara jelas bahwa untuk wilayah provinsi Sumatera Selatan dan Lampung pada bulan Juni hingga Agustus pada skenario RCP4.5 periode 2020-2035 (Gambar 5-6) dan skenario RCP4.5 periode 2030-2045 (Gambar 5-7) mengalami kekeringan cukup signifikan relatif terhadap periode historis. Sehingga hal ini juga menyebabkan kerentanan yang cukup tinggi terhadap bahaya kebakaran hutan yang cukup sering terjadi di provinsi Sumatera Selatan. Tidak terdapat perbedaan yang begitu besar antara distribusi curah hujan pada proyeksi periode 2030-2045 dan 2020-2035 skenario RCP4.5.



*Gambar 5-7 Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5*

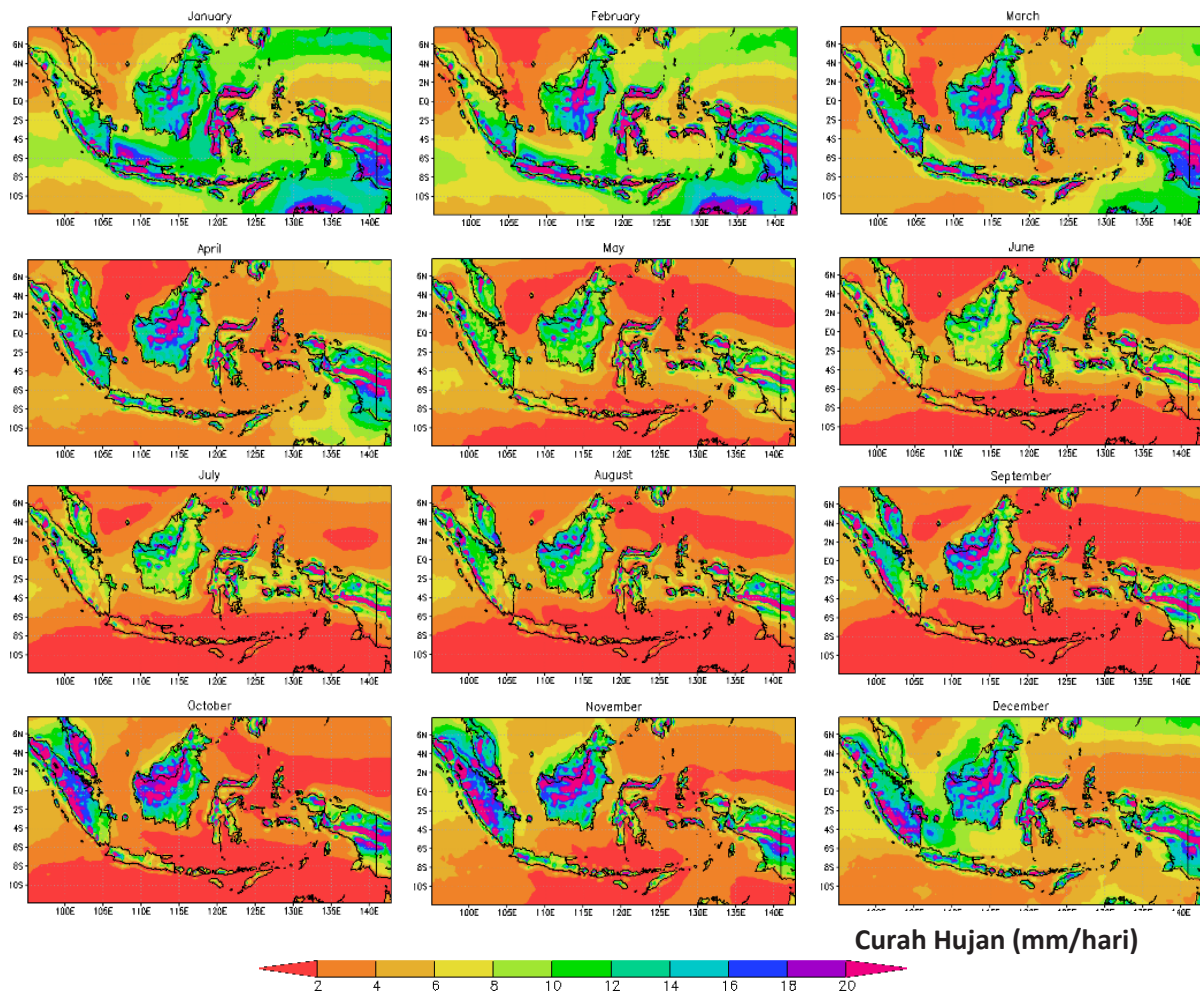
Pada Gambar 5-8 terlihat bahwa untuk sebagian besar peningkatan intensitas curah hujan yang terjadi di wilayah daratan Indonesia selama musim hujan secara dominan diketahui pada bulan Januari-April dan November-Desember, dimana bulan April merupakan transisi musim dari penghujan beralih kemarau dan pada bulan Oktober merupakan peralihan musim dari kemarau ke penghujan. Wilayah selatan Indonesia yang diwakili oleh pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara merupakan wilayah yang paling tinggi dalam mengalami penurunan intensitas curah hujan yang terjadi pada bulan Juni hingga September saat terjadi periode kering. Keadaan ini dapat membawa pengaruh positif dalam pemanfaatannya bagi petani garam di pesisir pantai selatan sepanjang pulau Jawa hingga Nusa Tenggara Timur. Namun demikian, pada proyeksi rata-rata curah hujan harian RCP8.5 periode tahun 2020-2035 dibandingkan dengan historis (Gambar 5-5) memperlihatkan kenaikan yang kecil terhadap intensitas curah hujan di wilayah dan perairan sekitarnya.



Gambar 5-8 Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5

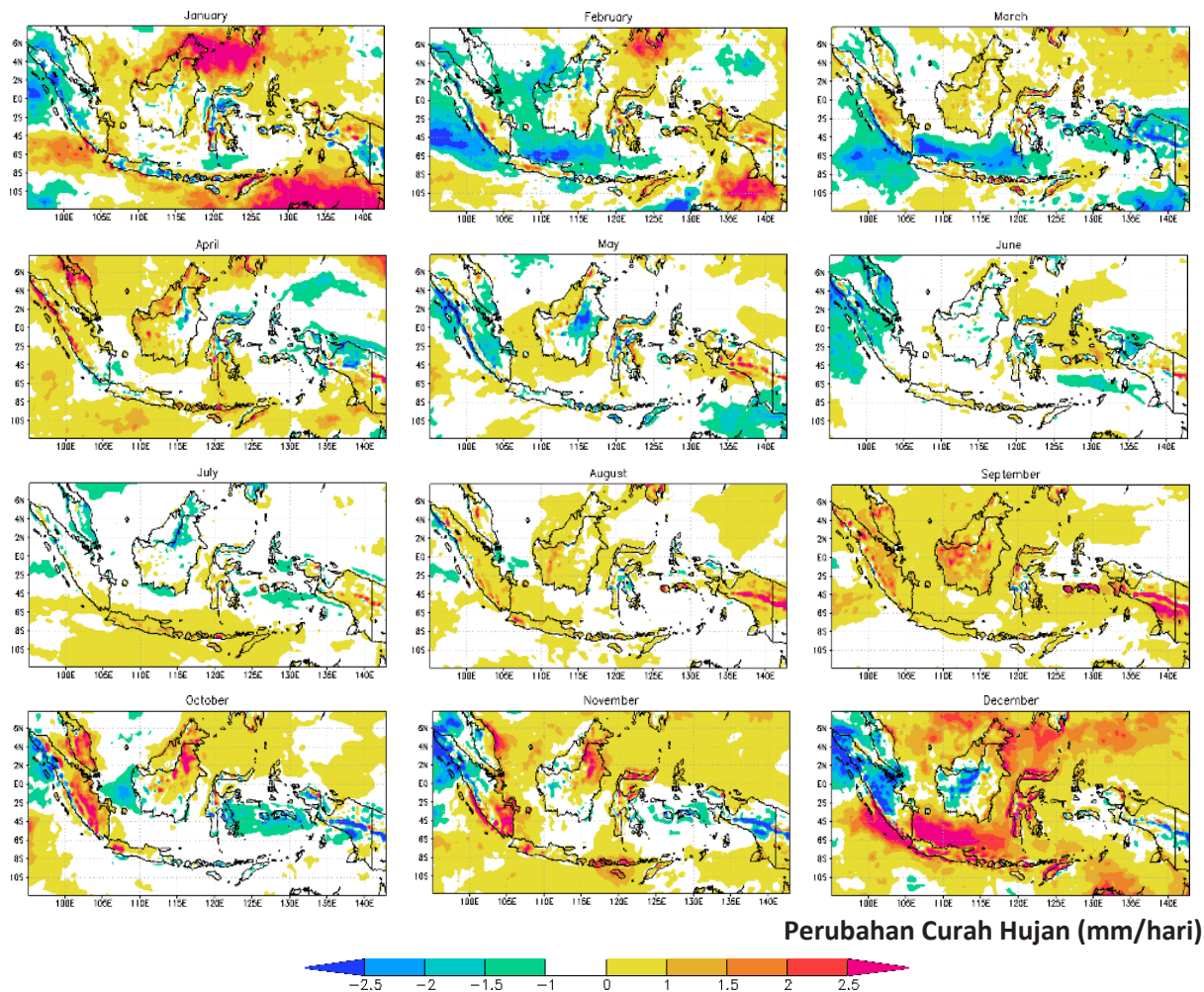
Pada Gambar 5-9 disajikan informasi yang hampir serupa dengan Gambar 5-6, dimana untuk distribusi spasial proyeksi rata-rata curah hujan harian skenario RCP8.5 periode 2030-2045 di wilayah daratan maupun perairan Indonesia tidak terlalu signifikan dibandingkan terhadap historis (Gambar 5-5). Proyeksi curah hujan memberikan informasi bahwa di beberapa daerah ada yang mengalami peningkatan curah hujan, sedangkan di daerah lainnya mengalami penurunan. Untuk proyeksi RCP8.5 untuk periode 2030-2045 maupun periode sebelumnya (Gambar 5-6, 5-7 dan 5-8) tidak menunjukkan perubahan yang cukup signifikan terhadap kondisi penurunan curah hujan (kekeringan) relatif terhadap historis.

Berdasarkan hasil analisis proyeksi curah hujan, proyeksi jangka pendek tahun 2020-2035 dan jangka menengah 2030-2045 menggunakan skenario IPCC RCP 4.5 dan 8.5 memiliki distribusi curah hujan yang tidak jauh berbeda dengan distribusi curah hujan baseline (1990-2005). Perbedaan nilai curah hujan hasil proyeksi dengan baseline tidak lebih dari 2 mm/hari, ditunjukkan oleh pola distribusi yang serupa dari interval rentang nilai gradasi warna yang juga sebesar 2 mm/hari. Secara umum, curah hujan lebih tinggi pada bulan Januari hingga April, dan September hingga Desember. Berdasarkan distribusi spasial, daerah yang memiliki curah hujan tinggi biasanya adalah daerah dataran tinggi yang memiliki pengaruh orografis tinggi.



Gambar 5-9 Proyeksi curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5

Selain proyeksi curah hujan jangka pendek (2020-2035) dan menengah (2030-3045) skenario IPCC RCP4.5 dan RCP8.5, dihitung juga perbedaan proyeksi curah hujan terhadap baseline. Perbedaan rerata curah hujan harian dihitung dengan mengurangi rerata hasil proyeksi dengan rerata baseline untuk masing-masing periode dan skenario. Nilai perbedaan ini memperlihatkan besarnya perubahan curah hujan yang diproyeksikan oleh skenario RCP IPCC pada periode jangka pendek dan menengah. Selisih curah hujan proyeksi dan baseline menunjukkan besarnya pengaruh perubahan iklim. Perbedaan curah hujan baseline dan proyeksi menggunakan skenario IPCC RCP4.5 dan RCP8.5 pada periode jangka pendek 2020-2035 dan jangka menengah 2030-2045 diperlihatkan pada Gambar 5-10 hingga Gambar 5-13. Rentang nilai perbedaan curah hujan berkisar antara -2,5 hingga 2,5 mm/hari. Pola umum perbedaan memperlihatkan distribusi nilai perbedaan negatif banyak terlihat pada bulan-bulan musim basah, sedangkan distribusi nilai perbedaan positif banyak terlihat pada bulan-bulan kering di Indonesia. Hal ini memperlihatkan bahwa, perubahan iklim pada parameter curah hujan menyebabkan semakin tingginya curah hujan pada bulan-bulan basah dan semakin rendah curah hujan pada bulan-bulan kering.

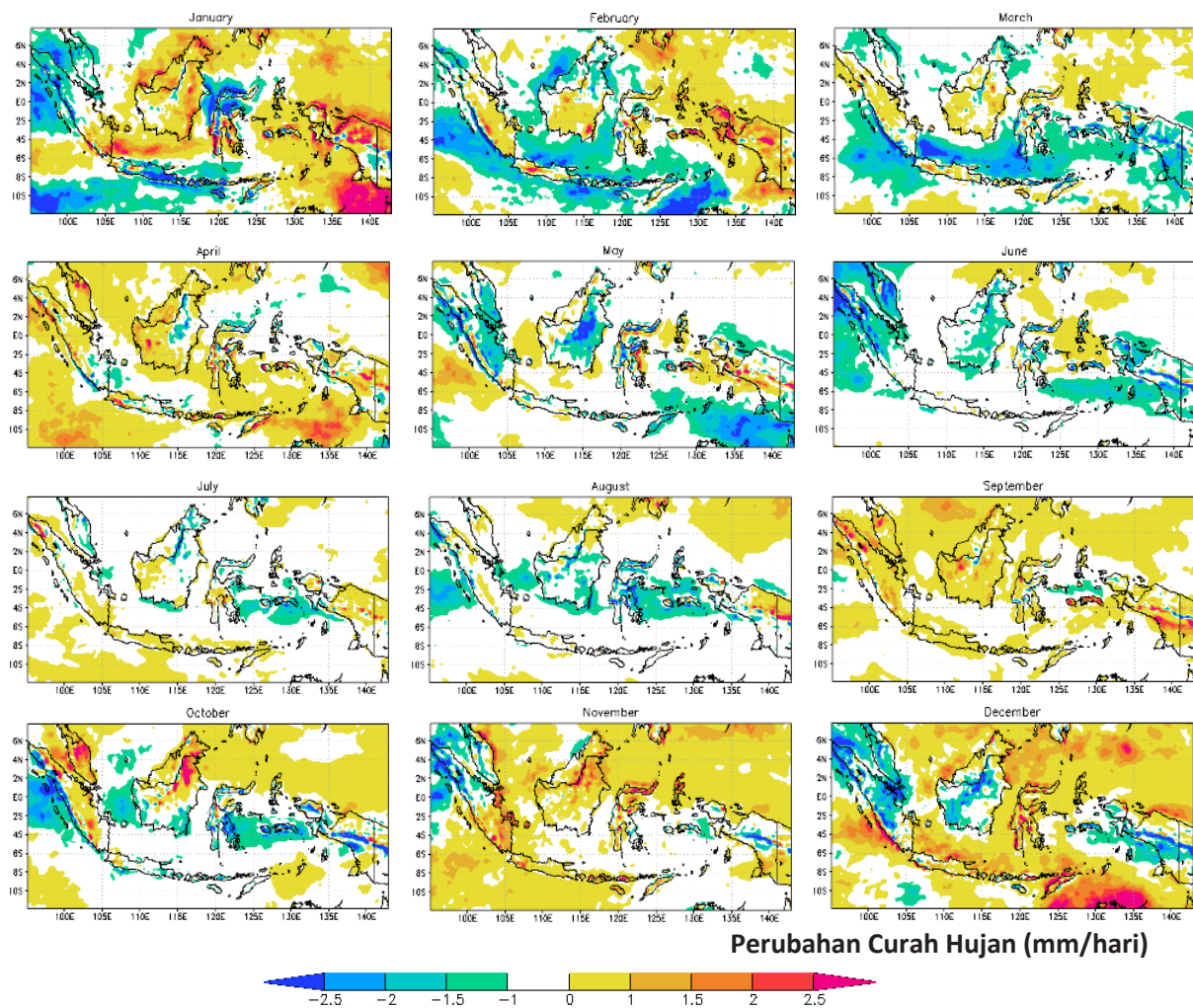


Gambar 5-10 Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5

Gambar 5-10 merupakan proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia yang berasal dari multi model ensemble GCMs untuk periode tahun 2020-2035 dengan skenario RCP4.5. Pada bulan Januari terlihat penurunan curah hujan hingga 2 mm/hari di sebagian besar wilayah Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, sebagian kecil Sulawesi dan sebagian kecil Papua. Hal yang sama kembali berulang pada bulan Mei hingga Juli dimana penurunan curah hujan terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia, namun sebaliknya di sebagian besar wilayah selatan Indonesia (Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara Timur) pada bulan Juni dan Juli terjadi sedikit peningkatan curah hujan relatif terhadap historis. Untuk bulan Agustus dan September terjadi peningkatan curah hujan yang berkisar antara 1 hingga 2,5 mm/hari relatif terhadap historis di sebagian besar wilayah Indonesia.

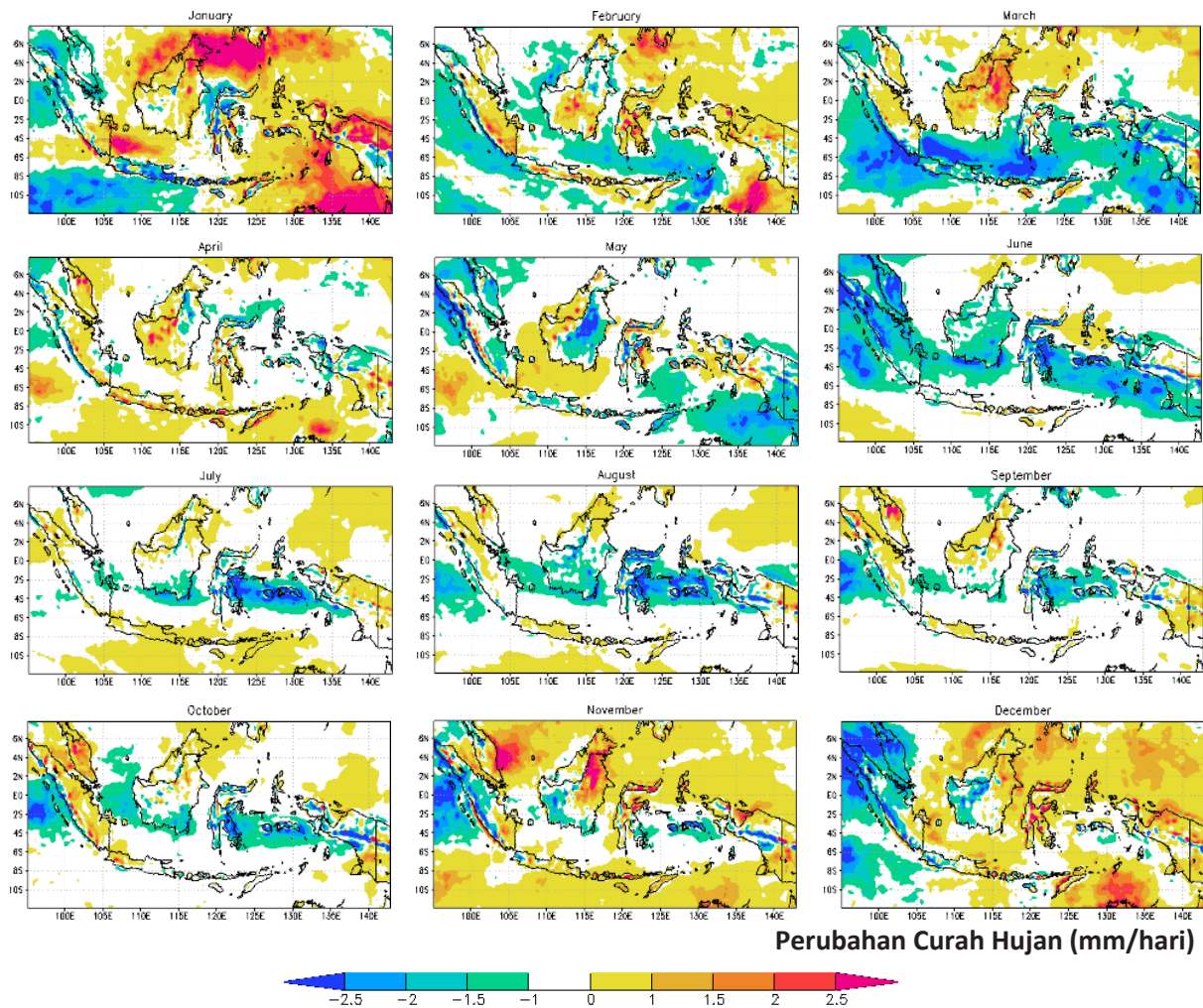
Gambar 5-11 menyajikan informasi tentang proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia dari multi model ensemble GCMs untuk periode jangka menengah tahun 2030-2045 dan skenario RCP4.5. Terlihat bahwa untuk bulan Mei hingga Agustus terjadi penurunan intensitas curah hujan yang cukup signifikan di sebagian besar wilayah Indonesia, dan cukup bervariasi antara -1 hingga -2,5 mm/hari relatif terhadap historis bahkan dibandingkan dengan periode jangka pendek tahun 2020-2035 skenario RCP4.5 penurunan curah hujan juga terjadi lebih tinggi. Pada Gambar 5-11 secara keseluruhan menunjukkan keadaan yang lebih kering (penurunan curah hujan rata-rata yang sedikit

lebih banyak) bila dibandingkan dengan Gambar 5-12 dalam setiap bulannya di sebagian besar wilayah Indonesia.



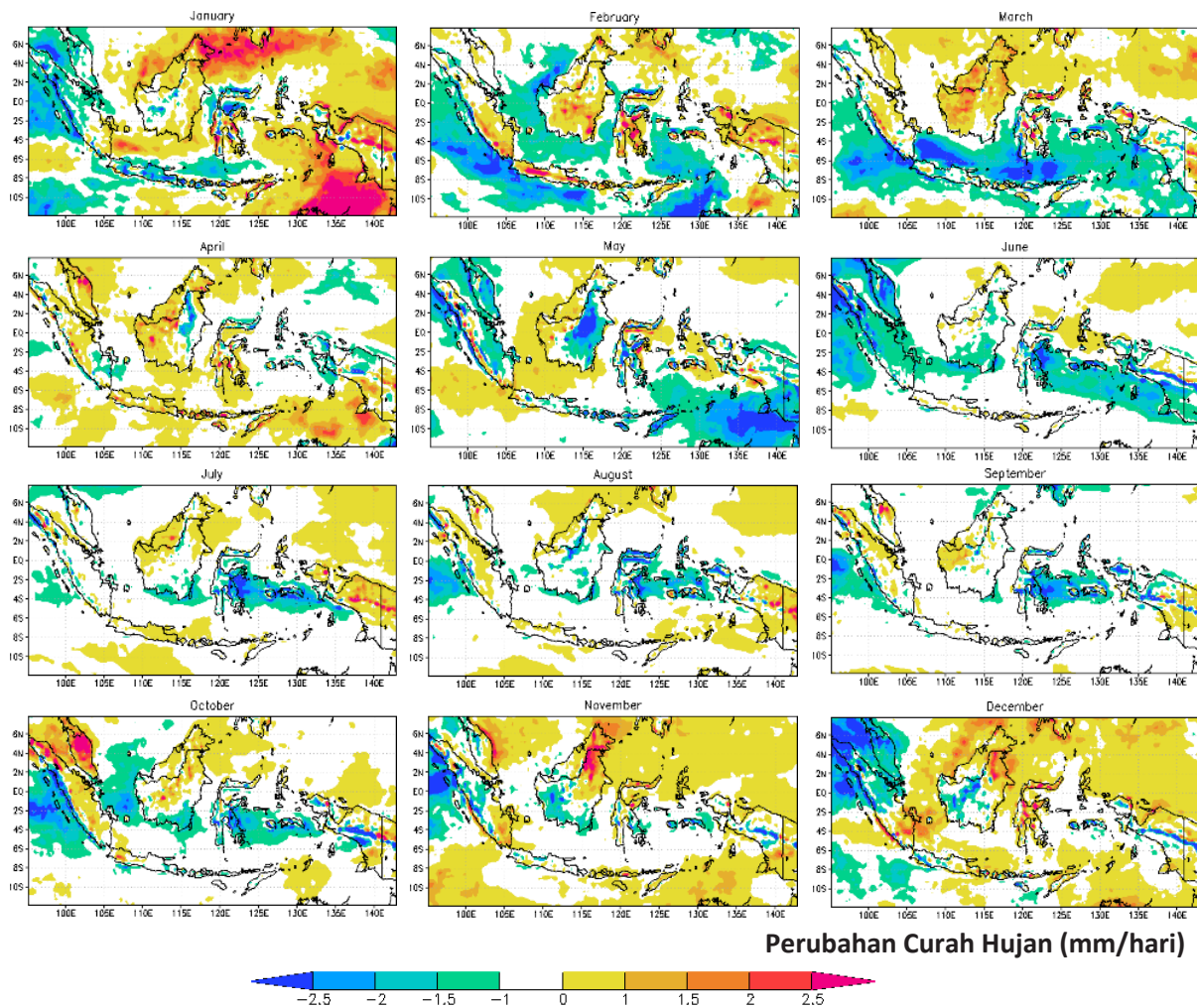
Gambar 5-11 Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode baseline 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP4.5

Gambar 5-12 menunjukkan distribusi spasial dan temporal proyeksi perubahan curah hujan harian baik di wilayah daratan maupun perairan Indonesia. Terlihat bahwa pada skenario RCP8.5 periode 2020-2035 jangka pendek, kondisi curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia mengalami variasi yang cukup signifikan, untuk beberapa daerah ada yang mengalami peningkatan curah hujan, sedangkan di daerah lainnya mengalami penurunan. Seperti pada bulan Maret, sebagian besar wilayah Indonesia bagian selatan mengalami penurunan curah hujan. Sedangkan pada bulan Juni, seluruh wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan secara merata dan berkisar antara 0 hingga -2,5 mm/hari. Secara umum, pada skenario RCP8.5 periode 2020-2035 ini curah hujan masih lebih rendah (lebih kering) bila dibandingkan dengan periode tahun 2020-2035 maupun periode tahun 2030-2045 pada skenario RCP4.5 dan terjadinya peningkatan curah hujan sekalipun masih tetap lebih rendah dibandingkan dengan periode tahun 2020-2035 maupun periode tahun 2030-2045 pada skenario RCP4.5.



Gambar 5-12 Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2020-2035 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5

Pada Gambar 5-13 terlihat bahwa proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia untuk jangka menengah periode 2030-2045 dengan RCP8.5, dimana untuk periode bulan Januari, Mei hingga Desember didominasi oleh penurunan curah hujan yang cukup bervariasi relatif terhadap kondisi historis di sebagian besar wilayah daratan Indonesia. Sedangkan pada bulan Februari, Maret dan April merupakan periode dimana sebagian besar wilayah Indonesia mengalami peningkatan curah hujan yang cukup bervariasi relatif terhadap kondisi historis (1990-2005). Pada Gambar 5-13 secara umum dapat disimpulkan bahwa pada periode 2030-2045 untuk skenario RCP8.5 mengalami kekeringan klimatologis yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan periode tahun 2020-2035 skenario RCP4.5 (Gambar 5-10), periode tahun 2030-2045 skenario RCP4.5 (Gambar 5-11) dan periode tahun 2020-2035 skenario RCP8.5 (Gambar 5-12) relatif terhadap historis, sehingga apabila terjadi peningkatan intensitas curah hujan sekalipun masih tetap lebih rendah dibandingkan dengan periode tersebut (Gambar 5-10, Gambar 5-11, dan Gambar 5-12) untuk seluruh bulan (Januari-Desember).



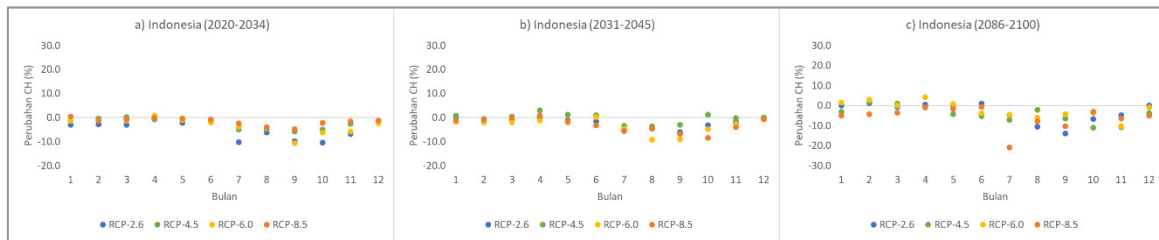
Gambar 5-13 Proyeksi perubahan curah hujan harian di Indonesia periode 2030-2045 relatif terhadap periode historis 1990-2005 menggunakan data luaran multi model ensemble dengan skenario RCP8.5

### 5.2.2. Downscaling Statistik

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 karakteristik curah hujan harian seperti semakin meningkatnya kejadian ekstrem. Di dalam kaji ulang RAN API, pendekatan *downscaling* statistik adalah salah satu metode yang digunakan disamping 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.

Gambar 5-14 menunjukkan plot nilai persentase perubahan curah hujan rata-rata pada tiga periode berbeda di masa akan datang yang dihitung relatif terhadap periode historis. Gambar 5-15 menunjukkan hasil perbandingan antara pola curah hujan musiman rata-rata (klimatologi) yang dihitung berdasarkan nilai rata-ran wilayah untuk seluruh Indonesia. Perbandingan dilakukan antara

data hasil skenario dari 24 model (periode 2020-2034, 2031-2045 dan 2086-2100) yang ditunjukkan melalui nilai median dan rentang skenario (boxplot) dari seluruh model terhadap data observasi.



Gambar 5-14 Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah Indonesia

Hasil skenario proyeksi menunjukkan adanya kecenderungan perubahan pola siklus curah hujan musiman rata-rata. Secara umum, Gambar 5-14 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 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.

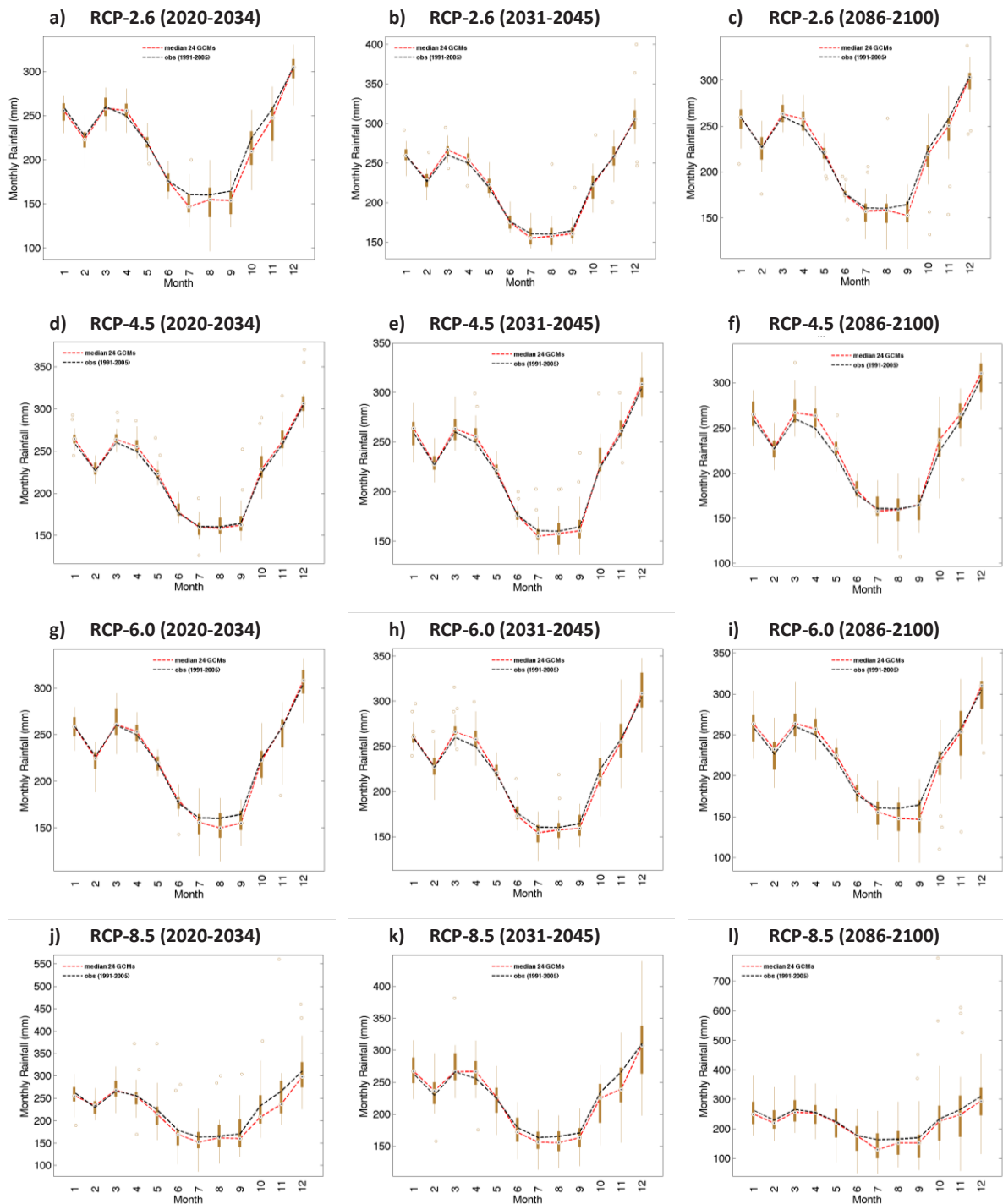
Tabel 5-1 Persentase (%) perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari rata-rata wilayah seluruh Indonesia untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai Curah Hujan (CH) skenario dihitung dari 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
<b>Tahunan</b>	<b>-4.6</b>	<b>-1.8</b>	<b>-3.8</b>	<b>-0.3</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.4</b>	<b>-3.6</b>	<b>-1.8</b>	<b>-3.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.6</b>	<b>-2.0</b>

CH rata-rata skenario lebih rendah dari baseline observasi  
 CH rata-rata skenario lebih tinggi dari baseline observasi

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 pada Gambar 5-14 disajikan pada Tabel 5-1. Rentang ketidakpastian (*uncertainty*) perubahan pola curah hujan rata-rata dari seluruh model GCM yang digunakan sebagaimana disajikan pada boxplot yang terdapat di Gambar 5-15.



Gambar 5-15 Perbandingan curah hujan klimatologi bulanan rata-rata seluruh wilayah Indonesia antara periode skenario dan referensi observasi (garis hitam putus-putus). Data skenario dihitung dari proses downscaling luaran 24 GCM CMIP5 untuk 4 skenario RCP, yaitu RCP-2.6, RCP-4.5, RCP-6.0 dan RCP-8.5 (atas-bawah). Garis merah putus-putus merupakan nilai median, sementara boxplot menunjukkan rentang variasi ketidakpastian (*uncertainty*) dari seluruh 24 GCM yang dianalisis. Periode skenario dibagi menjadi 3 periode per-15 tahunan, yaitu: 2020-2034, 2031-2045 dan 2086-2100 (kiri-kanan)

Hasil skenario proyeksi menunjukkan adanya kecenderungan perubahan pola siklus curah hujan musiman rata-rata. Secara umum, Gambar 5-14 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 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 pada Gambar 5-14 disajikan pada Tabel 5-1. Rentang ketidakpastian (*uncertainty*) perubahan pola curah hujan rata-rata dari seluruh model GCM yang digunakan sebagaimana disajikan pada boxplot yang terdapat di Gambar 5-15.



Gambar 5-16 Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah: Sumatera, Jawa-Bali, dan Kalimantan

Kondisi curah hujan yang persentasenya cenderung semakin turun di masa depan belum tentu terjadi merata di seluruh wilayah Indonesia, sehingga untuk mengetahui lebih detil perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada masing-masing wilayah. Pada kaji ulang RAN API, analisis skenario iklim dilakukan terpisah untuk 7 wilayah Ekoregion. Lampiran 2-8 menunjukkan peta persentase perubahan curah hujan rata-rata musiman di masa depan untuk masing-masing wilayah tersebut. Sementara itu, pada Gambar 5-16 dan 5-17 ditunjukkan *plotting* nilai persentase perubahan curah hujan untuk masing-masing skenario pada tiga periode berbeda. Secara umum setiap wilayah memiliki kecenderungan kemungkinan terjadinya curah hujan yang semakin rendah dibandingkan dengan periode historis, terutama pada periode Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-Oktober-November (SON), dengan

penurunan paling signifikan terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September. Sementara itu terdapat beberapa wilayah yang mengalami peningkatan curah hujan pada bulan-bulan di periode transisi Maret-April-Mei (MAM), seperti yang ditunjukkan pada grafik perubahan di wilayah Sumatera, Kalimantan dan Maluku. Beberapa wilayah lain menunjukkan adanya perbedaan arah perubahan yang dihasilkan antar skenario RCP. Khusus untuk wilayah Maluku yang memiliki pola curah hujan tipe lokal, diproyeksikan akan terjadi peningkatan curah hujan yang cukup signifikan, kecuali di bulan Juli, Agustus dan September. Walaupun demikian, terdapat pula sejumlah kecil skenario yang menunjukkan hasil arah perubahan yang berbeda.



Gambar 5-17 Plot nilai persentase perubahan curah hujan bulanan rata-rata skenario pada periode: a) 2020-2034, b) 2031-2045, dan c) 2086-2100 di wilayah: Sulawesi, Papua, Nusa Tenggara dan Maluku

Tabel 5-2 menunjukkan ringkasan perubahan curah hujan rata-rata tahunan di masa depan untuk wilayah Indonesia dan 7 wilayah Ekoregion yang dihitung terpisah. Tabel tersebut 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.

Tabel 5-2 Persentase (%) perubahan curah hujan tahunan rata-rata dari rata-rata wilayah seluruh Indonesia dan di 7 wilayah terpisah, untuk masing-masing skenario RCP pada tiga periode 15-tahunan yang dihitung relatif terhadap data curah hujan rata-rata observasi periode 1991-2005. Nilai CH skenario dihitung dari nilai 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

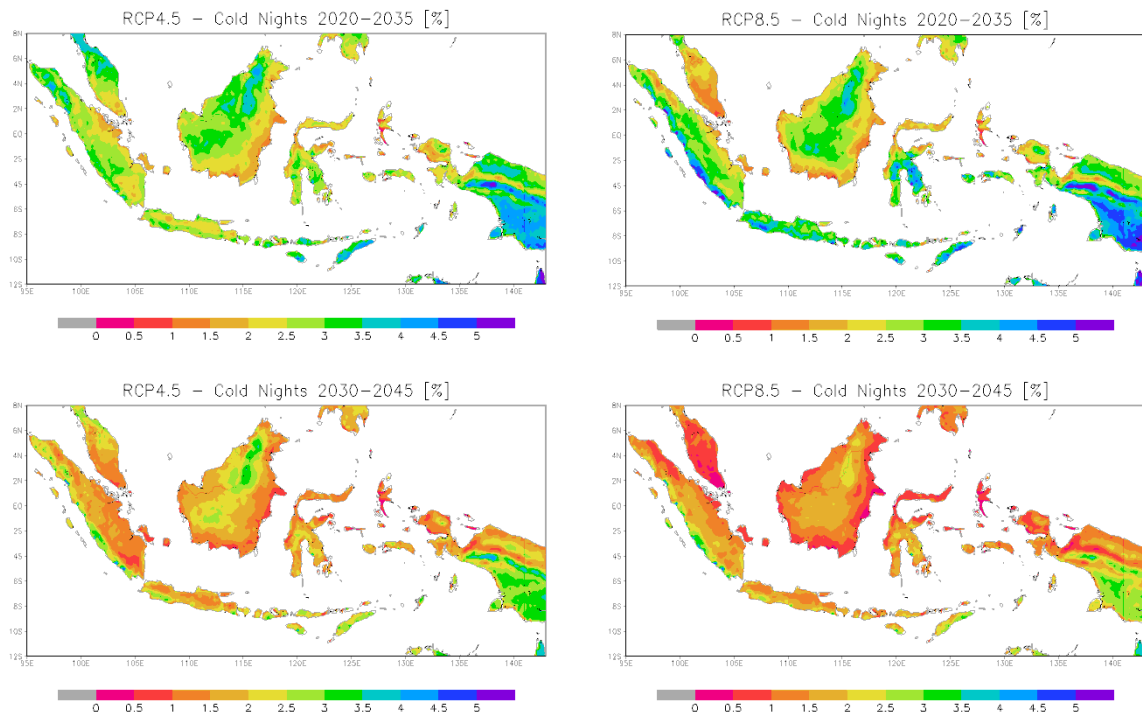
CH rata-rata skenario lebih tinggi dari baseline observasi

### 5.3. Skenario Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem (ETCCDI)

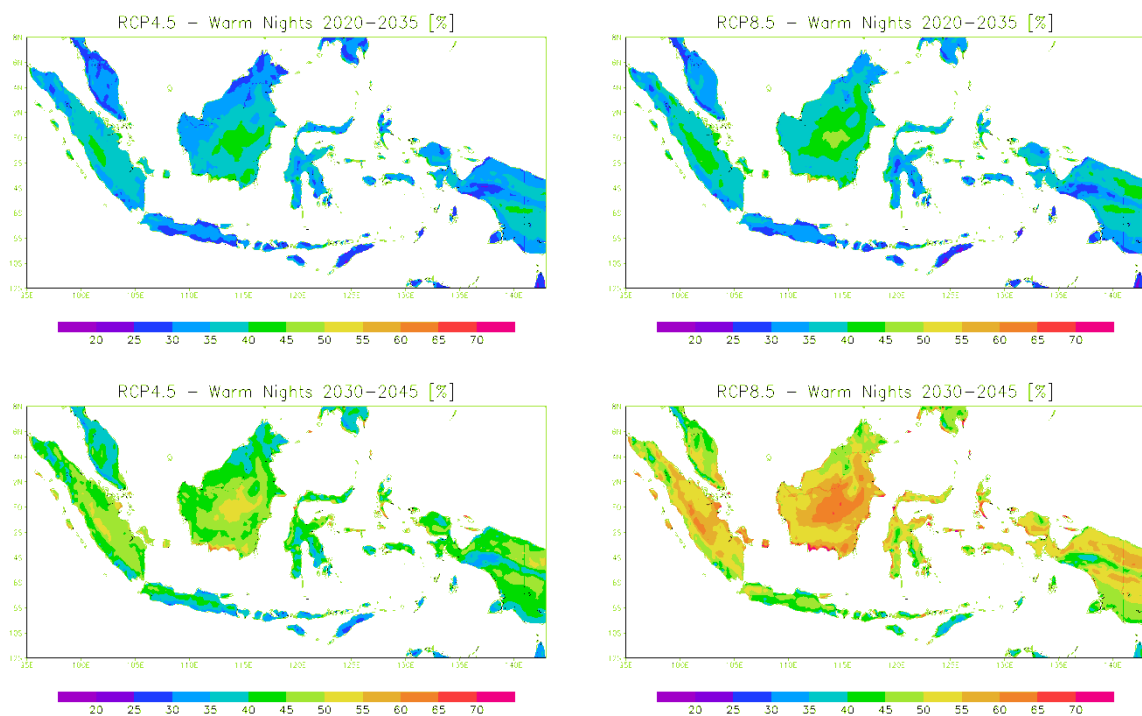
Indeks temperatur ekstrem berikut berbasis persentil. Indeks-indeks tersebut merepresentasikan frekuensi (dalam %) kejadian yang lebih besar atau lebih kecil dari suatu *threshold*. Dengan indeks sebagai berikut:

- a) *Cold nights* (TN10p): persentase temperatur minimum harian yang lebih kecil dari persentil ke-10 temperatur minimum harian pada periode baseline (1990-2005).
- b) *Warm nights* (TN90p): persentase temperatur minimum harian yang lebih besar dari persentil ke-90 temperatur minimum harian pada periode baseline (1990-2005).
- c) *Very cold days* (TX10p): persentase temperatur maximum harian yang lebih kecil dari persentil ke-10 temperatur maximum harian pada periode baseline (1990-2005).
- d) *Very warm days* (TX90p): persentase temperatur maximum harian yang lebih besar dari persentil ke-90 temperatur maximum harian pada periode baseline (1990-2005).

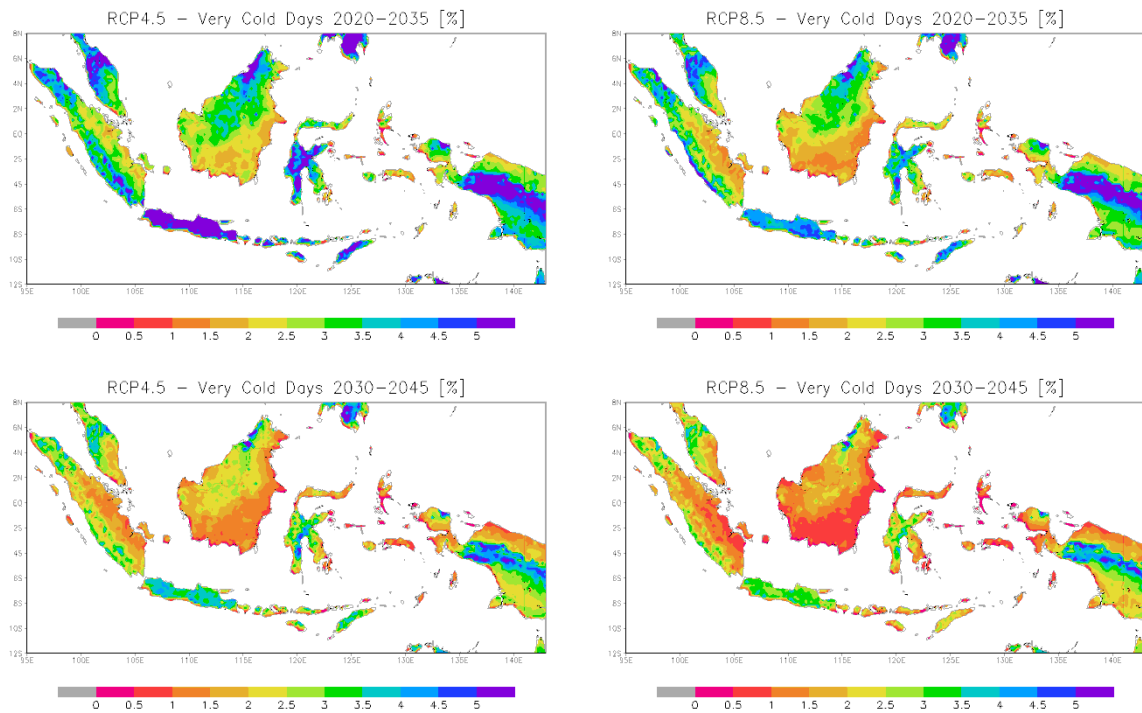
Perubahan indeks temperatur berdasar TN (TN10p dan TN90p) lebih signifikan daripada perubahan indeks temperatur berdasar TX (TX10p dan TX90p) (Gambar 5-18 - 5-21). Perubahan yang relatif besar untuk TN10p dan TX10p diproyeksikan terjadi di wilayah pesisir barat Sumatera, Bangka dan Belitung, pesisir Kalimantan, Sulawesi bagian utara, Halmahera, dan Papua bagian utara termasuk utara pegunungan Jayawijaya. Perubahan frekuensi TN90p yang besar diproyeksikan cenderung terjadi di bagian tengah pulau-pulau besar, yaitu antara 40-50% pada periode 2020-2035 dan >50% pada periode 2030-2045. Perubahan frekuensi TX90p hampir merata di seluruh wilayah Indonesia untuk periode 2020-2035. Pada periode 2030-2045 Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan bagian timur, Sulawesi bagian barat dan utara, dan pegunungan di Papua mengalami perubahan frekuensi TX90p yang paling besar.



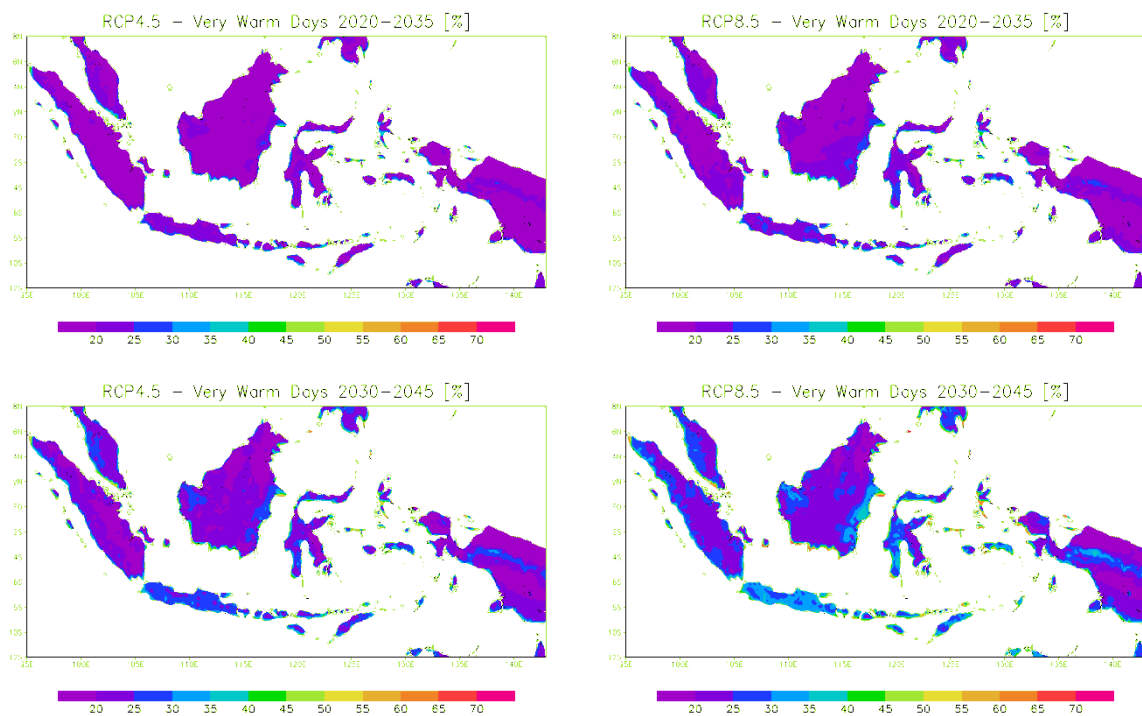
Gambar 5-18 Multimodel median frekuensi cold nights (TN10p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5



Gambar 5-19 Multimodel median frekuensi warm nights (TN90p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5



Gambar 5-20 Multimodel median frekuensi very cold days (TX10p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5



Gambar 5-21 Multimodel median frekuensi very warm days (TX90p) pada periode 2020-2035 dan 2030-2045 untuk RCP4.5 dan RCP8.5

## BAB 6. KESIMPULAN

Pada kajian basis ilmiah proyeksi atmosferik, telah dilakukan proyeksi parameter suhu dan curah hujan di Indonesia menggunakan skenario RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, dan RCP8.5 hingga tahun 2100 melalui SEACLID-CORDEX SEA. Proyeksi suhu dan curah hujan kemudian difokuskan untuk dianalisis pada penggunaan skenario RCP4.5 dan RCP8.5, yaitu peningkatan temperatur hingga tahun 2100 dan curah hujan pada periode proyeksi jangka pendek (2020-2035) dan jangka menengah (2030-2045). Selain itu, juga dilakukan analisis untuk temperatur ekstrem minimum dan maksimum.

Perubahan temperatur rata-rata bulanan di sebagian besar wilayah daratan periode 2020-2035 diproyeksikan skenario RCP4.5 sekitar 0,45-0,75°C, dan 0,6-0,9°C menggunakan skenario RCP8.5. Pada periode 2030-2045, secara umum perubahan temperatur rata-rata bulanan di sebagian besar wilayah daratan diproyeksikan dengan skenario RCP4.5 bernilai 0,75-1,3°C dan 0,9-1,5°C menggunakan skenario RCP8.5. Perubahan temperatur minimum periode 2020-2035, 0,45-0,75°C baik dengan menggunakan skenario RCP4.5 maupun RCP8.5. Pada periode 2030-2045 relatif terhadap 1990-2005 di wilayah daratan bernilai sekitar 0,6-1,05°C dengan menggunakan RCP4.5 dan 0,75-1,35°C untuk RCP8.5. Perubahan temperatur maximum di wilayah daratan Indonesia tampak lebih bervariasi secara temporal dan spasial dibandingkan dengan perubahan temperatur rata-rata dan temperatur minimum. Untuk RCP4.5, perubahan temperatur maximum bulanan pada periode 2020-2035 relatif terhadap periode 1990-2005 antara 0,15-1,2°C, sedangkan untuk RCP8.5 0,3-1,5°C. Pada tahun 2030-2045 perubahan temperatur maximum bulanan sebesar 0,45-1,5°C untuk RCP4.5 dan 0,75-1,5 °C untuk RCP8.5. Sementara itu, perbandingan antara hasil proyeksi suhu global dengan proyeksi suhu regional untuk Indonesia menunjukkan bahwa tren suhu di Indonesia lebih rendah dari global di semua skenario RCP. Pada RCP2.6 diproyeksikan kurang dari 1°C pada tahun 2100, sedangkan nilai global bisa mencapai 1°C. Kenaikan suhu dari RCP4.5 sekitar 1,5°C di Indonesia dan hampir 2°C di global.

Dengan menggunakan data pada periode baseline (1990-2005) dilakukan proyeksi curah hujan menggunakan skenario IPCC RCP. Proyeksi jangka pendek tahun 2020-2035 dan jangka menengah 2030-2045 menggunakan skenario IPCC RCP 4.5 dan 8.5 memiliki distribusi curah hujan yang tidak jauh berbeda dengan distribusi curah hujan baseline (1990-2005). Perbedaan nilai curah hujan hasil proyeksi dengan baseline tidak lebih dari 2,5 mm/hari. Secara umum, curah hujan lebih tinggi pada bulan Januari hingga April, dan September hingga Desember. Berdasarkan distribusi spasial, daerah yang memiliki curah hujan tinggi biasanya adalah daerah dataran tinggi yang memiliki pengaruh orografis tinggi. 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 akan datang.

Hasil analisis iklim ekstrem untuk temperatur menunjukkan adanya peningkatan yang cukup tinggi untuk persentase *warm nights* dan *warm days*, yaitu semakin meningkat dari RCP4.5 periode 2020-2035, ke RCP4.5 periode 2030-2045, RCP8.5 periode 2020-2035, dan RCP8.5 periode 2030-2045. Sementara itu, terjadi penurunan frekuensi *cold night* dan *cold day* pada proyeksi RCP4.5 dan RCP8.5 untuk periode 2020-2035 dan 2030-2045.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Gates, L.D., dan Widodo, F.H. (2003). Variability of Indonesian rainfall and the influence of ENSO and resolution in ECHAM4 simulations and in the reanalysis, in MPI Report. Hamburg, Jerman: Max-Planck-Institut für Meteorologie.
- Boer, R. dan Faqih, A. (2004). Global climate forcing factors and rainfall variability in West Java: case study in Bandung district. *Indonesian Journal of Agricultural Meteorology*, 18(2), 1-12.
- Chang, C.P., Wang, Z., Ju, J., dan Li, T. (2004). On the relationship between western maritime continent monsoon rainfall and ENSO during northern winter. *Journal of Climate*, 17(3), 665-672.
- Chang, C.P., Wang, Z., McBride, J., dan Liu, C. (2005). Annual Cycle of Southeast Asia-Maritime Continent Rainfall and the Asymmetric Monsoon Transition. *Journal of Climate*, 18(2), 287-301.
- Chiew, F. dan Leahy, M. (2003) Inter-decadal Pacific Oscillation modulation of the impact of El Niño/Southern Oscillation on Australian rainfall and streamflow in Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2003), July 2003. Townsville.
- Faqih, A. (2016). Iklim historis dan skenario perubahan iklim di Indonesia: Analisis dan pemodelan iklim, in Laporan Kegiatan Indonesia 3rd National Communication (TNC). United Nation Development Programme (UNDP) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- Faqih, A. (2017). A Statistical Bias Correction Tool for Generating Climate Change Scenarios in Indonesia based on CMIP5 Datasets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 58(1), 012051.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J., dan Lister, D.H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642.
- Heinrich, I., Weidner, K., Helle, G., Vos, H., Lindesay, J., dan Banks, J.C.G. (2009). Interdecadal modulation of the relationship between ENSO, IPO and precipitation: insights from tree rings in Australia. *Climate Dynamics*, 33(1), 63-73.
- Hidayat, R. dan Kizua, S. (2010). Influence of the Madden-Julian Oscillation on Indonesian rainfall variability in austral summer. *International Journal of Climatology*, 30, 1816-1825.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change T.F.* [Stocker, D. Q., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., dan Midgley, P.M. (editor.)]. Cambridge, UK dan New York USA: Cambridge University Press.
- Jones, C., Waliser, D.E., Lau, K.M., dan Stern, W. (2004). Global occurrences of extreme precipitation and the Madden-Julian Oscillation: observations and predictability. *Journal of Climate*, 17(23), 4575-4589.
- Kirono, D.G.C., Tapper, N.J., dan McBride, J.L. (1990). Documenting Indonesian rainfall in the 1997/1998 El Niño event. *Physical Geography*, 1999, 20(5), 422-435.

- Madani, N., Hermawan, E., dan Faqih, A. (2012) Pengembangan model prediksi Madden-Julian Oscillation (MJO) berbasis hasil analisis data wind profiler radar (WPR). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(01), 1-80.
- Mantua, N.J., dan Hare, S.R. (2002). The pacific decadal oscillation. *Journal of Oceanography*, 58, 35-44.
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., dan Francis, R.C. (1997). A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin American Meteorological Society*, 78, 1069-1079.
- Meinke, H., deVoil, P., Hammer, G.L., Power, S., Allan, R., Stone, R.C., Folland, C., dan Potgieter, A. (2005). Rainfall Variability at Decadal and Longer Time Scales: Signal or Noise? *Journal of Climate*, 18(1), 89-96.
- Power, S., Casey, T., Folland, C., dan Mehta, C.V. (1990). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. *Climate Dynamics*, 15(5), 319-324.
- Qian, J.H., Robertson, A.W., dan Moron, V. (2013). Diurnal Cycle in Different Weather Regimes and Rainfall Variability over Borneo Associated with ENSO. *Journal of Climate*, 26(5), 1772–1790.
- Qian, J.H., Robertson, A.W., dan Moron, V. (2010). Multi-Scale interaction between ENSO, monsoon and the diurnal cycle over Java, Indonesia. *Journal of Atmospheric Science*, 67, 3509-3524.
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., dan Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360-363.
- Supari, Tangang, F., Juneng, L., dan Aldrian, E. (2017). Observed changes in extreme temperature and precipitation over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 37(4), 1979-1997.
- Surmaini, E. dan Faqih, A. (2016). Kejadian iklim ekstrem dan dampaknya terhadap pertanian tanaman pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 115-128.
- Wheeler, M.C. dan Hendon, H.H. (2004). An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction. *Monthly Weather Review*, 132(8), 1917-1932.
- Wu, P., Hara, M., Fudeyasu, H., Yamanaka, M.D., Matsumoto, J., Syamsudin, F., Sulistyowati, R., dan Djajadihardja, Y.S. (2007). The impact of Trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java Island. *Sola*, 3, 093-096.

**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](mailto:admin@sekretariat-ranapi.org)

Website: [www.sekretariat-ranapi.org](http://www.sekretariat-ranapi.org)



RAN\_API



[sekretariat.ranapi](https://www.instagram.com/sekretariat.ranapi)



[SekretariatRANAPI](https://www.facebook.com/SekretariatRANAPI)