

Latar Belakang

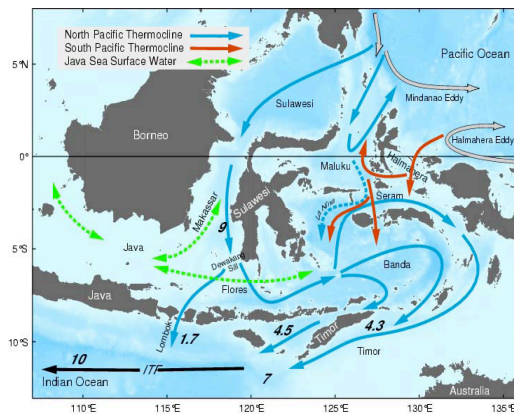
Peningkatan suhu atmosfer dan lautan menyebabkan penipisan dan berkurangnya lapisan es dan salju serta menaikkan tinggi permukaan laut (*sea level*) sebagai konsekuensi dari meningkatnya gas rumah kaca. Pemanasan dari sistem iklim adalah sebuah kepastian. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa banyak perubahan yang terjadi sejak tahun 1950-an, adalah perubahan yang belum pernah terjadi sebelumnya selama beberapa dekade sampai ribuan tahun. Dampak dan konsekuensi dari perubahan sistem iklim ini berpengaruh secara langsung terhadap kenaikan tinggi permukaan laut, terutama di daerah pesisir yang juga dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berinteraksi satu sama lain, seperti pasang surut, subsidens dan gelombang ekstrim. Rencana adaptasi merupakan kebutuhan yang mendesak akibat kenaikan risiko akibat perubahan iklim. Beradaptasi dengan perubahan yang mungkin terjadi dimasa depan akan membutuhkan rencana aksi pengembangan wilayah pesisir sedini dan secepat mungkin (misalnya perencanaan pesisir dan mitigasi bahaya) berdasarkan studi ilmiah. Oleh karena itu, publikasi hasil penelitian tentang bahaya, kerentanan dan risiko perubahan iklim melalui portal geodata sangat penting dalam situasi di mana keputusan kebijakan harus diambil berdasarkan informasi dan kajian ilmiah.

Kenaikan permukaan laut akibat pemanasan global akan membawa konsekuensi yang tak terelakkan. Pola arus musiman mungkin akan terpengaruh dengan perubahan tingkat *sea level rise*, misalnya karena kenaikan tinggi muka laut (TML) di Samudera Pasifik lebih tinggi dibandingkan dengan di Samudera Hindia. Dengan demikian, kenaikan TML yang cepat tidak hanya berpengaruh terhadap pola arus, tetapi juga memperkuat erosi, perubahan garis pantai, dan pengurangan lahan basah di wilayah pesisir. Ekosistem lahan basah di wilayah pesisir mungkin akan mengalami kerusakan yang signifikan, jika kenaikan TML melebihi batas maksimum kapasitas adaptasi dari ekosistem pesisir. Selain itu, kenaikan muka air laut juga meningkatkan tingkat intrusi air laut ke dalam lingkungan pesisir.

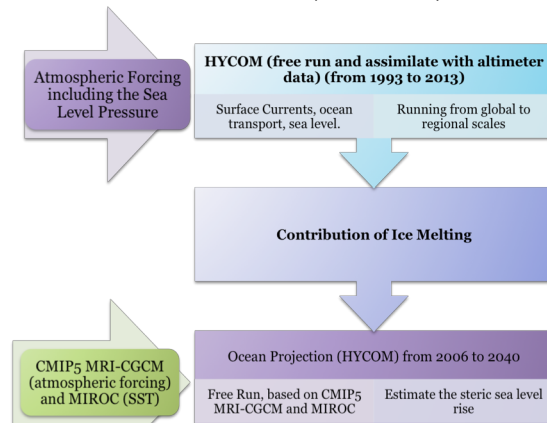
Kenaikan gas rumah kaca akibat proses antropogenik sejak era industrialisasi tidak hanya menyebabkan naiknya temperatur global, tetapi mungkin juga akan menghasilkan kenaikan TML yang dinamis. Kenaikan TML merupakan potensi dampak yang paling serius dari pemanasan global dan perubahan iklim. Lebih lanjut, proyeksi kenaikan TML mempunyai ketidakpastian yang sedang sampai tinggi, akibat dinamika perubahan lapisan es dan gletser serta pada perubahan penyerapan panas oleh permukaan laut yang belum dipahami dengan baik (Vermeer dan Rahmstorf, 2009).

Metode dan Model

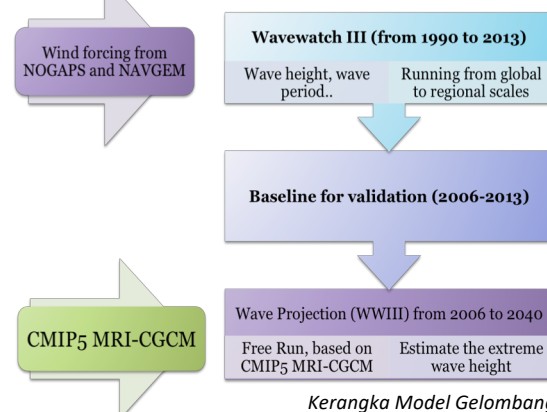
Klimatologi laut dan perubahannya dalam beberapa dekade ke depan pada arus permukaan laut, tinggi muka laut dan perubahannya dengan menggunakan hasil simulasi. Data permukaan laut terdiri dari *sea level*, arus salinitas dan suhu didasarkan pada model InaROMS, sedangkan tinggi gelombang dan arah gelombang didasarkan pada hasil model WAVEWATCH III



Gambar Sketsa arus permukaan dan pada kedalaman lapisan termoklin di Perairan Indonesia (Gordon, 2006)

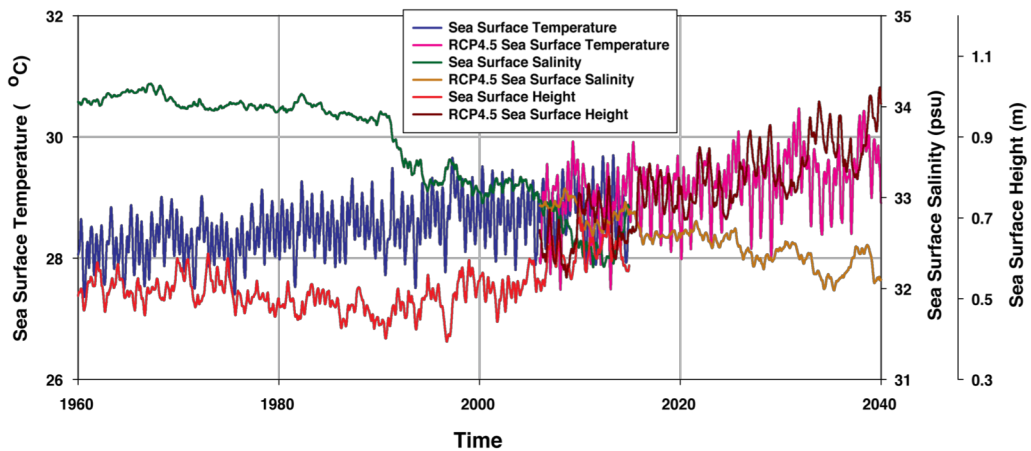


Kerangka Model Kenaikan Muka Laut



Kerangka Model Gelombang Tinggi

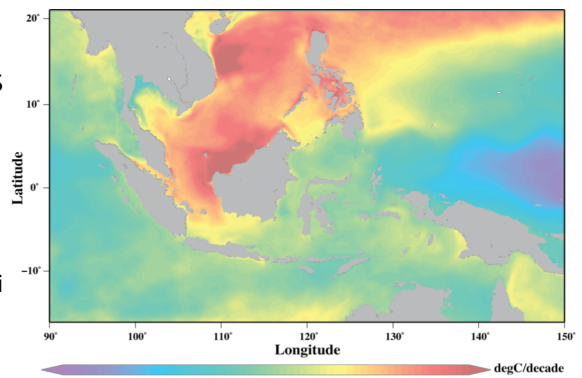
Proyeksi Iklim Laut



Hasil simulasi dari tahun 1961 sampai 2015 dan ekstensi rcp4.5 dari tahun 2006 sampai 2040 dari rata-rata regional *sea level*, suhu permukaan laut dan salinitas dari 90°E ke 150°E dan dari 15°S sampai 15°N disajikan pada Gambar di atas. Kecenderungan hasil simulasi rcp4.5 relatif bersesuaian dengan tren dari tahun 1990 hingga 2015. Berdasarkan simulasi dan proyeksi ini, *sea level* pada tahun 2040 akan mengalami kenaikan 50cm sejak tahun 2000. Suhu permukaan laut akan naik 1°C dan 2°C dibandingkan dengan SPL pada tahun 2000 dan 1961. Sementara itu, salinitas permukaan terus menurun dari 33.2psu pada tahun 2000 menjadi 32.1psu pada 2040. Lebih lanjut, karena kenaikan SPL dan penurunan salinitas, dapat dipastikan bahwa proses asidifikasi akan terus berlanjut dengan kecepatan proses yang sama dengan kejadian beberapa dekade terakhir. Respon laut terhadap variabilitas iklim antar tahunan juga jelas melalui karakteristik *sea level* dan karakteristik SPL. Model ini cenderung dan dapat dikatakan berhasil dalam simulasi ENSO. Namun, kejadian ENSO ini diproyeksikan terjadi setiap 7 tahun secara reguler. Oleh karena itu, El Nino dan La Niña kuat kemungkinan akan terjadi setiap 6-7 tahun.

Proyeksi Suhu Permukaan Laut

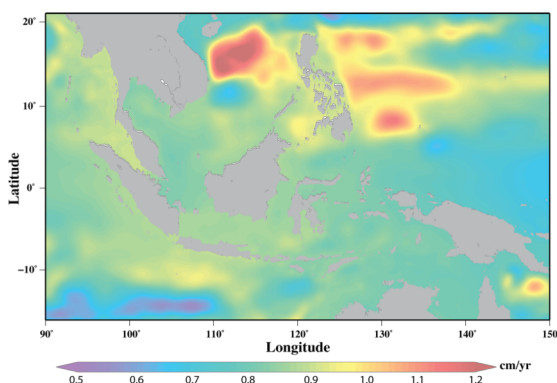
Distribusi spasial tingkat kenaikan SPL hasil model ROMS dari 2006 sampai 2040 disajikan pada Gambar di samping (skenario RCP 4.5). Hasil model menunjukkan bahwa SPL berubah dengan cepat dengan rata-rata SPL regional naik lebih dari 0.25°C/dekade. Hasil proyeksi ini relatif bersesuaian dengan hasil pengamatan menggunakan data satelit dan data direkonstruksi. Tingkat kenaikan SPL tertinggi kemungkinan akan terjadi di Laut Tiongkok Selatan dan Selat Karimata yang mencapai 0.5°C/dekade. Tingkat kenaikan SPL di Laut Jawa, Laut Banda, Laut Sulawesi dan laut sekitarnya berkisar antara 0.2 hingga 0.3°C/dekade. Sementara itu, tren kenaikan di Pasifik, bagian utara Papua mungkin menjadi yang terendah dibandingkan dengan tingkat kenaikan di daerah lain.



Gambar Proyeksi Tingkat Kenaikan SPL Berdasarkan Skenario RCP4.5

Proyeksi *sea level*

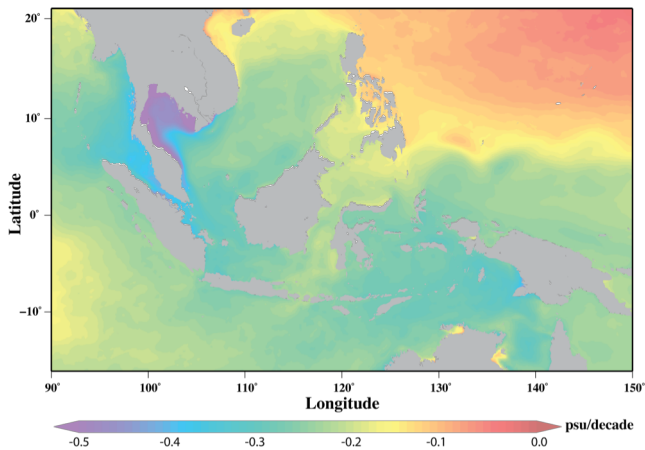
Distribusi spasial tingkat kenaikan *sea level* di Perairan Indonesia dari tahun 2006 sampai 2040 disajikan pada Gambar di samping (skenario RCP 4.5). Hasil proyeksi menunjukkan bahwa tingkat kenaikan *sea level* relatif homogen. Secara umum, *sea level rise rate* bervariasi dari 0.6cm/tahun sampai lebih dari 1.2cm/tahun. Kenaikan *sea level* tertinggi diproyeksikan akan terjadi di Laut Tiongkok Selatan dengan nilai lebih dari 1.2cm/tahun, dimana didaerah lain nilainya bervariasi dari 0.7cm/tahun sampai 1.0cm/tahun. Kenaikan *sea level* yang disebabkan karena pencairan es dan penambahan volume air laut karena kenaikan temperatur, yang dapat disebut dengan *absolut sea level rise* tidak sebanding dengan perubahan elevasi daratan karena penurunan tanah atau *land subsidence*



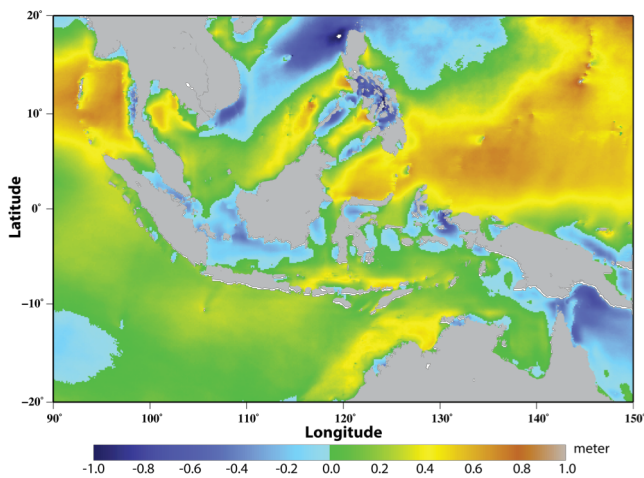
Gambar Proyeksi permukaan laut Berdasarkan Skenario RCP4.5

Proyeksi Salinitas Permukaan

Proyeksi perubahan salinitas permukaan laut (SSS) relatif sesuai dengan hasil simulasi dari tahun 1991 sampai 2015. Meskipun proyeksi perubahan SSS tidak setinggi dibandingkan dengan hasil simulasi tahun 1991 sampai 2015. Perbedaan hasil proyeksi dan simulasi mungkin disebabkan oleh proyeksi curah hujan yang lebih rendah dari data historis di utara Australia, bagian selatan Laut Jawa, sebelah barat dan timur Sumatera, Teluk Tomini, dan Selat Malaka. Salinitas permukaan cenderung menurun dengan laju -0.3 ± 0.2 psu/dekade. Penurunan salinitas tertinggi terjadi di Teluk Thailand, ketika di lokasi lain menunjukkan terjadinya penurunan SSS sedang sampai tinggi dan lebih rendah dibandingkan dengan data simulasi historis, seperti yang digambarkan pada Gambar di samping.



Gambar Proyeksi Salinitas Permukaan Berdasarkan Skenario RCP4.5

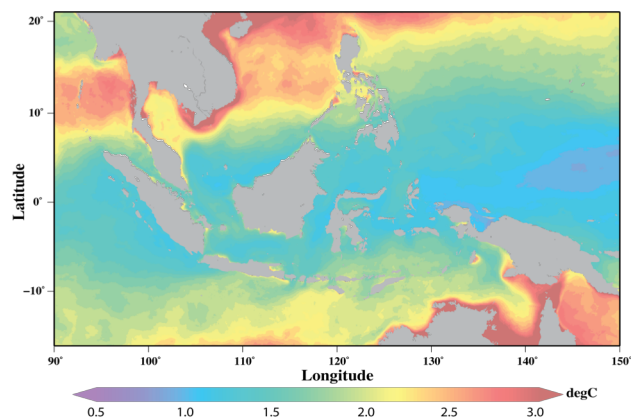


Gambar Proyeksi Tinggi Gelombang 99 percentil sampai 2040

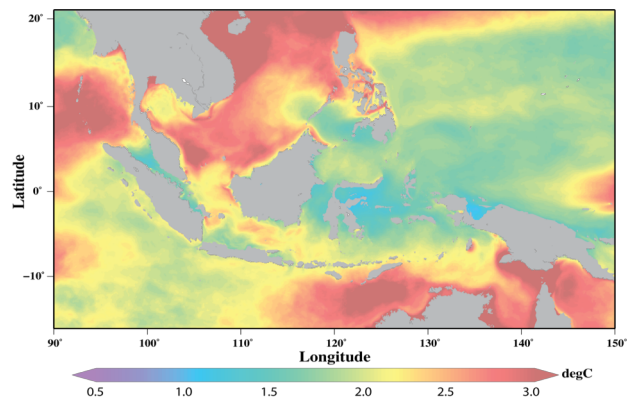
Proyeksi Tinggi Gelombang Signifikan

Proyeksi perubahan tinggi gelombang signifikan dari tahun 2006 sampai 2040 berdasarkan 99 persentil data disajikan pada Gambar di samping. Pada fase La Niña, umumnya, angin pasat dari Samudra Pasifik menguat, yang akan meningkatkan tinggi gelombang. Hal ini jelas terlihat bahwa pengaruh variabilitas iklim seperti La Niña dapat dibedakan dengan peningkatan tinggi gelombang pada 50 sampai 99 persentil data.. Namun, tinggi gelombang juga menguat di Samudera Hindia, selatan Jawa dan barat Sumatera. Hal ini mungkin juga menunjukkan bahwa *Indian Ocean Dipole* (IOD) memainkan peran yang lebih signifikan dibandingkan dengan beberapa dekade terakhir. Tinggi gelombang di pantai timur Sumatera dan sebagian besar Laut Jawa semakin rendah. Namun demikian, tinggi gelombang di Laut Banda, Laut Sulawesi, Selatan Jawa, barat Sumatra dan bagian selatan Laut Tiongkok Selatan terlihat semakin menguat.

Proyeksi Kejadian SPL Ekstrim



Gambar SPL Ekstrim 1991-2015



Gambar Proyeksi SPL Ekstrim 2006-2040 RCP 4.5

Gambar di atas menunjukkan perubahan SPL selama kejadian ekstrem. Perubahan SPL bervariasi dari 1°C sampai lebih dari 3°C . Perubahan tertinggi diperkirakan akan terjadi di Laut Tiongkok Selatan, sebelah utara Kalimantan dan selatan Nusa Tenggara yang mencapai lebih dari 3°C . Sementara, kenaikan SPL ekstrim di Laut Jawa, sebelah selatan Jawa dan barat Sumatera, Banda dan Laut Sulawesi bervariasi dari 2°C ke 2.5°C . Perubahan terendah terjadi di Teluk Tomini dan Selat Makassar. Dengan asumsi bahwa terumbu karang mampu beradaptasi tetapi rentan terhadap perubahan SPL secara mendadak (La Niña) lebih dari 1.5°C , diperkirakan bahwa semua terumbu karang dan ekosistem mereka di Perairan Indonesia akan mengalami pemutihan .

Kesimpulan

SPL dan *sea level* secara bertahap meningkat dengan rata-rata tingkat kenaikan $0.15^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$ dan $3\text{mm}/\text{tahun}$, dari tahun 1961 sampai 2015. Namun, meskipun SPL meningkat, *sea level* menunjukkan tren negatif, dari tahun 1980 sampai 1994. Variabilitas iklim seperti El Niño memainkan peran signifikan pada karakteristik tinggi permukaan laut. Tingginya frekuensi El Niño selama 1980 sampai 1994 menekan tinggi permukaan laut di Perairan Indonesia. Oleh karena itu, *sea level* terendah terjadi pada tahun 1993 dan selama El Niño kuat 1997/1998, sejak tahun 1961. Sejak tahun 1990 karakteristik tinggi permukaan laut mengikuti perubahan suhu permukaan. Secara umum, SPL diproyeksikan naik $0.25^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$. Tingkat kenaikan tertinggi kemungkinan akan terjadi di Laut Tiongkok Selatan dan Selat Karimata yang mencapai $0.5^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$. Tingkat kenaikan SPL di Laut Jawa, Laut Banda, Laut Sulawesi dan laut sekitarnya berkisar antara 0.2 hingga $0.3^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$. Jika tingkat kenaikan $0.2^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$ atau lebih terus berlanjut, maka akan meningkatkan risiko pemutihan karang di semua lokasi terumbu karang. Sementara itu baik dari hasil proyeksi SPL dan anomalnya, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan SPL ekstrim yang lebih tinggi dibandingkan dengan data historis. Hal ini berakibat terhadap percepatan proses pemutihan dan kerusakan terumbu karang. Terumbu karang yang ada akan mengalami tekanan lebih besar karena perubahan SPL yang mendadak, dan pada akhirnya semua terumbu karang dan ekosistemnya akan mengalami kerusakan lebih besar daripada kejadian beberapa dekade terakhir.

Di sisi lain, salinitas permukaan laut (SSS) cenderung menurun dengan laju $-0.35 \pm 0.2\text{psu}/\text{dekade}$. Penurunan SSS tertinggi terjadi di utara Australia, Laut Jawa bagian selatan, sebelah barat dan timur Sumatera, Teluk Tomini, Selat Malaka dan Teluk Thailand. Akan tetapi, hasil proyeksi perubahan negatif SSS dengan rcp4.5 menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan data simulasi. Hal ini disebabkan karena proyeksi curah hujan yang lebih rendah dari data historis di utara Australia, bagian selatan Laut Jawa, sebelah barat dan timur Sumatera, Teluk Tomini dan Selat Malaka. Peningkatan pengasaman air laut, suhu dan perubahan salinitas air laut diperkirakan akan terjadi selama abad ini. Diperkirakan bahwa pH di Perairan Indonesia akan berkurang dengan meningkatnya SPL dan penurunan SSS. Sebagaimana diketahui bahwa terumbu karang tidak hanya dipengaruhi oleh meningkatnya suhu, tetapi juga dipengaruhi oleh perubahan pH. Dengan demikian, terumbu karang juga akan mengalami tekanan akibat perubahan SST dan SSS atau gabungan keduanya.

Mengikuti kenaikan SPL, kenaikan *sea level* juga bervariasi dari $0.6\text{cm}/\text{tahun}$ sampai $1.2\text{cm}/\text{tahun}$. Kenaikan *sea level* tertinggi diproyeksikan akan terjadi di Laut Tiongkok Selatan, sementara di wilayah lain bervariasi dari $0.7\text{cm}/\text{tahun}$ sampai $1.0\text{cm}/\text{tahun}$. Oleh karena itu, *sea level* di Perairan Indonesia kemungkinan akan meningkat lebih dari 30cm untuk rentang waktu selama 40 tahun. Kenaikan *sea level* yang disebabkan karena pencairan es dan penambahan volume air laut karena kenaikan temperatur, yang dapat disebut dengan *absolute sea level rise* tidak sebanding dengan perubahan elevasi daratan karena penurunan tanah atau *land subsidence*. Kombinasi *land subsidence* dan *absolute sea level rise* biasanya disebut dengan istilah *relative sea level rise*. *Relative sea level rise* yang terjadi di Pantura Jawa, dapat mencapai lebih dari $10\text{cm}/\text{tahun}$. Tingginya *relative sea level rise* ini menyebabkan peningkatan risiko banjir dan banjir rob. Meskipun masih belum ditemukan hubungan fisis antara perubahan *absolute sea level rise*, perubahan intrusi air laut dan *relative sea level rise*, tapi adaptasi terhadap *relative sea level rise* tersebut harus dilakukan. Regulasi terhadap penggunaan air tanah yang merupakan salah satu penyebab terbesar terjadinya *subsidence*, menjadi keniscayaan.

Sebagai penutup, hasil proyeksi model juga menunjukkan bahwa tinggi gelombang ekstrim mungkin akan menguat 1.0m , tetapi dalam kondisi nyata, akan ada kemungkinan naik lebih dari 1.5m , baik karena perubahan kecepatan angin lokal dan regional akibat variabilitas iklim yang lebih sering dibandingkan dengan model proyeksi, dan kenaikan *sea level* akibat pemanasan global. Kejadian tinggi gelombang ekstrim dimasa yang akan datang ini tidak hanya mempengaruhi sektor perikanan, keselamatan transportasi laut, mencegah arus barang dan komoditas lainnya yang menggunakan fasilitas transportasi laut, tetapi juga akan meningkatkan risiko banjir di zona pesisir dengan ketinggian yang rendah antara 0m sampai 3m

Sekretariat RAN-API

Gedung Lippo Kuningan, Lantai 15
Jl. H.R. Rasuna Said No.Kav. B12, Jakarta Selatan
Email: admin@sekretariat-ranapi.org
www.sekretariat-ranapi.org

