

KERENTANAN PESISIR CIREBON TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

oleh

RICKY ROSITASARI, SUYARSO, SURATNO dan BAYU PRAYUDA

Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI

Received 9 June 2010, Accepted 16 November 2010

ABSTRAK

Pesisir merupakan salah satu wilayah yang sangat rentan terhadap perubahan iklim, untuk itu dilakukan kajian beberapa aspek ekologis yang memiliki hubungan sebab-akibat tak langsung dengan fenomena perubahan iklim di pesisir utara Cirebon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kerentanan pesisir Cirebon terhadap penggenangan (*inundation*) dan pengasaman (*acidification*) air laut serta seberapa besar alih fungsi lahan berpotensi menjadi pemicu peningkatan gas rumah kaca di daerah penelitian. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2008. Perubahan tata guna lahan, kelarutan CO₂ dalam air laut dan kerentanan genangan merupakan aspek yang diamati. Perubahan tataguna lahan dan prediksi genangan dikaji berdasarkan citra landsat. Kelarutan karbon dioksida (CO₂) dihitung berdasarkan hasil pengukuran pH, salinitas dan temperatur *insitu* dengan menggunakan turunan rumus dari Strickland & Parson. Hasil pengamatan memperlihatkan telah terjadinya peningkatan yang nyata pada lahan terbangun dan berkurangnya lahan bervegetasi di sepanjang pesisir utara Cirebon serta konsentrasi CO₂ terlarut di Cirebon relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perairan Kepulauan Seribu. Berdasarkan prediksi kenaikan muka laut satu dekade ke depan, hasil pengukuran elevasi dan penghitungan terhadap luasan dataran rendah di Cirebon dapat diprediksi terdapat 10200,43 ha lahan yang rentan terhadap penggenangan.

Kata kunci: kerentanan, pesisir, perubahan, iklim

ABSTRACT

THE VULNERABILITY OF CIREBON COASTAL AREA TO CLIMATE CHANGE. *Coastal area was one of vulnerable area to climate change, hence study on several ecological aspects of cause-consequences of climate change in Cirebon were conducted in 2008. The research aim was to discover the vulnerability of Cirebon waters to inundation, acidification and to discover the projection of land conversion to green house effect in local scale. Land use conversion, CO₂ solubility in sea water and inundation vulnerability were measured. Land use conversion and inundation vulnerability were analyzed based on Landsat image data, CO₂ solubility was measured based on pH, salinity and in-situ temperature. The result showed that there are significant increased trend of constructed area and the decrease of vegetation coverage in the coastal area of Cirebon. Carbondioxide solubility in Cirebon waters was relatively higher than in the open shore of Seribu Island. Landsat image analyzed on low land elevation of Cirebon showed that there are 10200.43 hectare of various land uses form as the area vulnerable to inundation if the sea level rise 1 meter.*

Keywords: vulnerability, coastal, climate, change

PENDAHULUAN

Perubahan iklim akan berdampak pada karakteristik fisika, kimia dan biologi perairan dan wilayah pesisir. Pada akhirnya kompleksitas dampak yang berlangsung dalam waktu yang lama akan menyebabkan perubahan struktur ekologis wilayah pesisir. Dampak yang berskala luas adalah peningkatan suhu air, meningkatnya paras laut dan pengasaman laut (KLEYPAS *et al.* 2006). Wilayah pesisir sesungguhnya merupakan lingkungan yang unik karena peranannya dalam mendukung produktivitas lautan. Di beberapa negara berkembang apalagi di negara miskin peranan ekologis pesisir yang unik ini telah diabaikan untuk kepentingan ekonomi dalam berbagai skala.

Banjir pasang akibat peningkatan muka laut adalah salah satu dampak yang saat ini telah banyak menyulitkan berbagai pihak, terutama bagi pengelola daerah dan penduduk yang bermukim di wilayah pesisir dengan elevasi yang rendah. Selain banjir pasang, banjir akibat badai sangat menyulitkan penduduk yang bermukim di wilayah yang terlalu dekat dengan pantai. Selama periode lebih dari 100 tahun, permukaan laut di seluruh dunia telah mengalami peningkatan 1–2 mm/tahun (IPCC 2001). Para peneliti oseanografi memperkirakan akselerasi peningkatan muka laut dalam beberapa dekade yang akan datang akan meningkat, di pihak lain 20% dari penduduk dunia tinggal di wilayah pesisir hingga radius 30 km dari laut. Keadaan ini akan menjadi dua kali lipat pada radius 100 km (COHEN

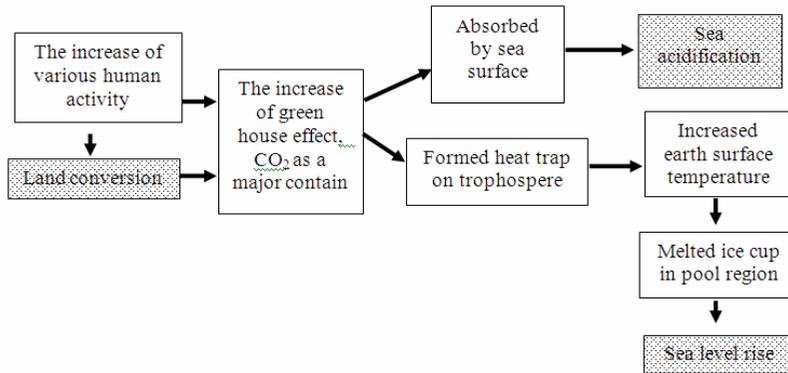
et al. 1997; GOMMES *et al.* 1998). NICHOLS & MIMURA (1998) telah memperhitungkan akan ada 600 milyar penduduk yang berada di wilayah banjir hingga tahun 2100.

Sebagaimana telah diketahui secara luas, sumber pencemar karbon antropogenik sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi dan gas alam). Produksi semen dan pembakaran hutan tropis memberi kontribusi terhadap jumlah emisi yang terakumulasi di atmosfer. Seiring dengan meningkatnya pertambahan penduduk beserta sarana dan prasarana yang dibutuhkannya termasuk berbagai jenis bangunan, jalan raya, penerangan dan transportasi, konversi lahan tidak dapat dihindari lagi. Dengan demikian tanpa pernah kita sadari pembangunan ekonomi telah mengurangi sedikit demi sedikit keseimbangan ekologi, dan hal ini berlangsung terus menerus tanpa ada yang dapat menentukan batasnya. Perubahan iklim yang saat ini terjadi merupakan akumulasi dampak dari terganggunya keseimbangan ekologi.

GRUBER *et al.* (1996) memperhitungkan perairan laut mampu menyerap separuh emisi yang dilepaskan oleh pembakaran bahan bakar fosil di atmosfer sejak permulaan revolusi industri. REVELLE & SUESS (1957) yang merupakan penggagas pertama pengukuran karbon dioksida (CO₂) di atmosfer wilayah Pasifik juga berpendapat bahwa CO₂ yang tidak terserap oleh tumbuhan akan berakhir di lautan. Keadaan ini tentu saja akan merubah keseimbangan kimiawi air laut karena peningkatan kelarutan gas CO₂ diprediksikan akan mampu menurunkan pH hingga 7,7. Tingkat keasaman air laut rata-rata adalah 8 - 8,5 (KLEYPAS *et al.* 2006).

Berdasarkan kajian dari berbagai sumber yaitu KLEYPAS *et al.* (2006); THE ROYAL SOCIETY (2005) dan IPCC (2001), secara skematik alur sebab-akibat fenomena perubahan iklim dipicu oleh meningkatnya aktivitas manusia, salah satu buktinya adalah perubahan tata guna lahan (Gambar 1). Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca yang salah satunya adalah CO₂ di atmosfer menyebabkan terjadinya pemerangkapan sinar ultra violet dan energi panas di lapisan troposfir. Selain membentuk selimut perangkap panas, gas CO₂ juga menyebabkan gejala pengasaman pada perairan sebagai akibat meningkatnya adsorpsi gas CO₂ dari atmosfer ke permukaan perairan.

Penelitian tentang kerentanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim bertujuan untuk memberikan gambaran sebab-akibat perubahan iklim di wilayah pesisir, khususnya pesisir Cirebon. Data yang digunakan dalam kajian ini merupakan data hasil penelitian di Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI tahun 2008 tentang kajian dampak perubahan iklim terhadap ekosistem pesisir. Beberapa aspek ekologis penting yang akan diungkapkan dalam penelitian ini adalah perubahan tataguna lahan sebagai bukti telah terjadinya peningkatan aktivitas manusia, prediksi penggenangan sebagai akibat kenaikan muka laut dan gejala pengasaman sebagai akibat peningkatan kelarutan gas CO₂ oleh permukaan air laut.



Gambar 1. Skematis alur dasar dari kajian kerentanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim.

Figure 1. Basic flow of coastal vulnerability study to climate change.

BAHAN DAN METODE

Analisis perubahan tata guna lahan

Analisis konversi lahan dari lahan bervegetasi menjadi daerah terbangun sebagai hasil aktivitas manusia dilaksanakan berdasarkan data dari citra Landsat multi-temporal TM dan ETM p121r65 dari tahun 1991, 1999 dan 2005 di wilayah pesisir Cirebon. Dengan menggunakan citra Landsat, informasi tata guna lahan di pesisir Cirebon tampak jelas pada saluran 453. Interpretasi citra LANDSAT mempunyai resolusi spasial 30 m.

Perangkat lunak yang dipergunakan dalam analisis adalah ENVI vers 4.3 dan Arcview vers 3.1. Geometri citra dikoreksi menggunakan perangkat lunak Arc View vers. 3.3 melalui beberapa titik referensi yang didasarkan pada peta rupa bumi berskala 1:25000. Titik referensi tersebut selanjutnya ditransformasikan ke dalam citra menggunakan metode *User Entered Coordinate*, sehingga pada citra tersebut mempunyai sistem koordinat yang sama dengan peta rupa bumi yang berskala 1:25000. Dalam mempertajam citra dari pengaruh atmosfer (*noise*) dilakukan teknik *smoothing* dengan filter *low-pass* (BURROUGH & McDONNELL 1998). Tahap selanjutnya adalah klasifikasi tutupan dengan menggunakan kemiripan rona (ARIFIN *et al.* 2009).

Zonasi genangan

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisis spasial. Analisis spasial memungkinkan untuk melihat suatu wilayah kajian secara menyeluruh dan mampu menampilkan keterkaitan antara objek yang terdapat pada ruang tertentu dengan objek lainnya pada ruang tersebut. Peta merupakan alat yang paling tepat untuk kajian secara spasial tersebut. Dalam penelitian ini, peta yang

digunakan sebagai alat analisis adalah berupa peta topografi permukaan. Peta topografi merupakan peta yang menggambarkan bentuk permukaan bumi. Untuk mendapatkan bentuk permukaan, maka harus ada data perbedaan ketinggian permukaan. Ketinggian permukaan pada penelitian ini didapatkan berdasarkan hasil pengukuran di lapangan menggunakan metode waterpass. Data yang didapatkan di lapangan mencakup: koordinat posisi alat, arah pembacaan beda tinggi permukaan, beda tinggi alat dengan bak ukur, serta jarak horisontal antara alat dengan objek permukaan yang diukur. Koordinat dan ketinggian permukaan objek yang diukur, didapatkan melalui perhitungan trigonometri di studio/laboratorium berdasarkan data yang didapatkan tadi. Pengambilan lokasi pengukuran dilakukan berdasarkan pada daerah yang merupakan tekuk lereng (permukaan dengan perubahan lereng yang tegas). Hal ini dimaksudkan agar interpolasi data yang nantinya dilakukan dapat menghasilkan bentuk permukaan yang baik sesuai dengan kenyataan di lapangan.

Hasil perhitungan di laboratorium dan pengukuran di lapangan tadi adalah data ketinggian digital yang disebut dengan DEM (*Digital Elevation Model*). Data ini digunakan untuk pembuatan peta topografi yang dibentuk melalui interpolasi sehingga menghasilkan garis kontur ketinggian. Turunan lain dari DEM pada penelitian ini adalah berupa model medan digital atau DTM (*Digital Terrain Model*). DTM memungkinkan untuk menyajikan topografi permukaan dalam bentuk model 3-dimensi sehingga dapat terlihat dengan lebih jelas perbedaan tinggi dan kekasaran permukaan objek. Data mengenai topografi permukaan digunakan untuk mengetahui jangkauan dan luas daratan yang akan tergenang akibat dari kenaikan paras muka laut pada tiap kenaikan tertentu, sehingga dapat diketahui daerah rawan genangan.

Pengukuran konsentrasi CO₂ terlarut

Pengukuran di lapangan dilaksanakan pada bulan Agustus dan Oktober 2008. Sampel air laut permukaan diambil dengan menggunakan tabung Nansen pada 16 stasiun di pesisir utara Cirebon (Gambar 1). Sampel air laut sebanyak 100 mL dimasukkan dalam tabung polietilen, kemudian diukur tingkat keasaman (pH), suhu dan salinitasnya. Tingkat keasaman diukur dengan menggunakan pH meter (826 pH Mobile Metrohm) dan salinitas diukur dengan menggunakan refraktometer. Setelah itu dilakukan penambahan 25 mL HCl 0,01 N kemudian dilakukan pengukuran pH dan suhu. Data hasil pengukuran pH, suhu dan salinitas sebelum dan sesudah penambahan HCl digunakan untuk menentukan konsentrasi CO₂ terlarut. Faktor-faktor terukur di lapangan digunakan untuk menghitung konsentrasi CO₂ terlarut (STRICKLAND & PARSON 1968).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi tata guna lahan

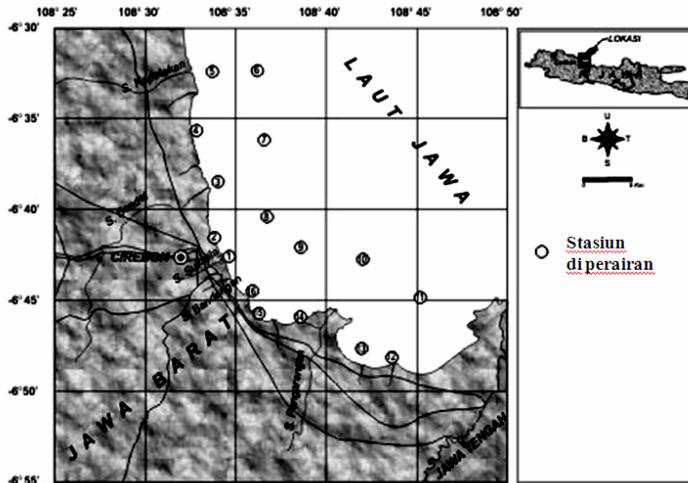
Analisis tataguna lahan dengan menggunakan data citra Landsat menunjukkan daerah terbangun (pemukiman, industri dan berbagai infra strukturnya) di wilayah Cirebon tahun 1991 adalah seluas 10352,88 ha, meningkat secara signifikan pada tahun 1999 menjadi 16635,45 ha (Gambar 3) dan menjadi 18198,72 ha pada tahun 2005. Terdapat peningkatan lahan terbangun sebanyak 7846 ha selama kurun waktu 8 tahun (1991-1999), dan kemudian terjadi peningkatan sebanyak 1563 ha selama kurun waktu 6 tahun berikutnya (1999-2005). Keadaan ini berkebalikan pada daerah bervegetasi pada tahun 1991 hingga 2005 yang menurun dalam berbagai kisaran selama 15 tahun (Gambar 4). Dengan demikian perubahan tata guna lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun di wilayah Cirebon selama kurun waktu 15 tahun adalah 8,58 %, sedangkan penyusutan lahan bervegetasi selama 15 tahun adalah sebanyak 11,93%.

Kontribusi gas rumah kaca dari daratan (*terrestrial*) merupakan keseimbangan antara emisi CO₂ dari perubahan tata guna lahan dan penyerapan CO₂ oleh makhluk hidup yang berada di daratan tersebut. Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu penyumbang emisi yang cukup signifikan (*ill-constrained*) disamping penggunaan energi dan transportasi. Keadaan tersebut akan menjadi berlipat bila kehilangan potensi vegetasi alamiah dari tutupan lahan dalam bentuk stok karbon turut diperhitungkan (SABINE *et al.* 2004).

Wilayah pesisir pantai utara Jawa yang dicirikan dengan kedalaman perairan laut yang relatif dangkal (50 meter) dan topografinya yang landai, dari waktu ke waktu wilayah tersebut terus mengalami perkembangan dalam pemanfaatan lahannya. Secara khusus wilayah pesisir pantai utara Cirebon, dalam kurun waktu 10 tahun terakhir juga telah mengalami perubahan dalam pemanfaatan lahan (*landuse*). Perubahan tersebut dapat disebabkan oleh proses alam seperti abrasi (pengurangan) dan akresi (penambahan) lahan akibat sedimenasi karena perubahan penggunaan lahan di daerah hulu. Hal ini menjadi suatu fenomena yang terus dinamis di wilayah pesisir utara Cirebon (ARIFIN *et al.* 2009).

Dalam laporan IPCC tahun 2007 diketahui perubahan tataguna lahan dan penggunaan bahan bakar fosil masing-masing menyumbang 1,6 dan 6,4 giga ton karbon antropogenik. Proses penumpukan gas rumah kaca sebagian besar berasal dari penggunaan energi dan tataguna lahan (ADRIAN 2008). STEFFEN *et al.* (2004) berhasil menghitung jejak karbon dari berbagai aktivitas domestik manusia seperti penerangan, berbagai peralatan listrik, sumber makanan hewani dan sampah. Beberapa kajian di atas menunjukkan bahwa perubahan tataguna lahan menunjukkan makin tingginya kuantitas aktivitas manusia, dan setiap aktivitas manusia merupakan penyumbang emisi yang signifikan. Hubungan kuantitatif antara faktor perubahan tataguna lahan, aktivitas manusia dan jumlah sumbangan emisi pada gas rumah kaca belum dapat digambarkan dalam bentuk sebuah persamaan yang baku. Diperlukan

KERENTANAN PESISIR CIREBON



Gambar 2. Lokasi pengamatan di pesisir Utara Cirebon, Jawa Barat.
Figure 2. Research location in Northern coastal area of Cirebon, West Java.

pengumpulan data yang rinci dan mendalam untuk dapat diformulasikannya hubungan antara ketiga faktor tersebut.

Keasaman laut

CO₂ antropogenik terserap laut melalui proses pertukaran gas antara udara-permukaan laut, sehingga konsentrasi CO₂ antropogenik di permukaan laut akan ditemukan di lapisan permukaan laut (SABINE *et al.* 2004). Tingkat keasaman (pH) air laut di perairan pesisir Cirebon pada bulan Agustus dan Nopember memperlihatkan kisaran yang berbeda. Pada bulan Agustus pH berkisar pada nilai 8,04 – 8,24, pada bulan Nopember kisaran meningkat menjadi 8,23 – 8,29 (Gambar 5). Nilai tersebut memperlihatkan bahwa pada bulan Agustus pH perairan lebih rendah daripada bulan Nopember. Kondisi suatu perairan dipengaruhi oleh banyak sekali faktor baik yang bersifat alamiah maupun antropogenik. Khusus untuk tingkat keasaman air laut di daerah pesisir, faktor utama yang mempengaruhi adalah aliran yang berasal dari darat, selain itu pasang-surut, cuaca dan curah hujan juga mempengaruhi fluktuasi kimiawi perairan.

Konsentrasi CO₂ terlarut pada bulan Agustus berkisar pada nilai 0,00615 – 0,00657 mmol/L (Gambar 6) dengan rata-rata $0,00643 \pm 0,0001$ mmol/L, pada bulan Nopember konsentrasinya lebih rendah yaitu 0,00485 – 0,00693 mmol/L (Gambar 6) dengan rata-rata $0,0061 \pm 0,00062$ mmol/L. Dari kisaran nilai tersebut diketahui bahwa tingkat keasaman suatu perairan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO₂ terlarut, ini menunjukkan bahwa makin tinggi CO₂ terlarut di perairan maka perairan tersebut makin bersifat asam. Hal inilah yang menyebabkan gejala pengasaman air laut menjadi ancaman bagi kehidupan di perairan tersebut.

Fungsi laut dalam siklus karbon hampir menyamai peranan hutan, karena walaupun hutan secara efektif menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer, namun dalam faktanya lautan lebih luas daripada kawasan hutan maupun daratan sekalipun. Selain larut sebagai ion karbonat (CO₃²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) dalam

air, karbon dioksida juga diserap fitoplankton, makroalgae dan lamun untuk proses fotosintesis.

Di atmosfer CO_2 tidak bersifat reaktif tetapi sesudah larut dalam air, yakni di permukaan laut, akan berubah menjadi lebih reaktif dan berperan dalam beberapa proses kimia, fisika, biologi dan geologi. Sebagian besar dari proses itu merupakan proses yang rumit (KLEYPAS *et al.* 2006). Salah satu efek dari pelarutan CO_2 dalam air laut adalah meningkatkan ion hidrogen (H^+). Ion tersebut merupakan hasil awal dari reaksi antara air (H_2O) dan CO_2 untuk membentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang merupakan asam lemah. Asam lemah ini sudah mulai melepas ion hidrogen untuk membentuk senyawa karbon anorganik lainnya. Peningkatan keasaman air laut berdampak sangat signifikan terhadap kehidupan organisma akuatik (KLEYPASS *et al.* 2006; THE ROYAL SOCIETY 2005). MARTIN *et al.* (2007) telah berhasil mengamati reduksi masa kalsit yang signifikan pada algae berkapur yang hidup sebagai epifit akibat peningkatan keasaman. Algae berkapur tidak ditemukan pada perairan ber pH di bawah 7, dan masa kalsit mulai berkurang pada pH 7,7 sampai 8,2. MILES *et al.* (2008) menemukan bahwa bintang ular dari jenis *Psammechinus miliaris* mengalami kerusakan serius pada lapisan kalsitnya pada pH 6,63. Padahal jenis ini telah beradaptasi pada lingkungan kolam karang yang berbatu sangat dangkal.

Karakteristik perairan Cirebon adalah hangat ($29,8 - 30,9^\circ\text{C}$) dengan pH dan salinitas rendah ($30,3 - 33,3$ psu). Secara umum konsentrasi CO_2 terlarut di pesisir Cirebon ($0,433$ ppm) relatif lebih tinggi dibanding perairan terbuka seperti di perairan Pulau Pari ($0,314$ ppm), Kepulauan Seribu (ARIFIN *et al.* 2008). Hasil penelitian tahun 2008 memperlihatkan bahwa keasaman laut di perairan Cirebon pada bulan Agustus lebih tinggi (nilai pH rendah) daripada bulan Nopember (Gambar 5). Kandungan CO_2 terlarut pada 2 kali pengamatan memperlihatkan bahwa pada bulan Agustus konsentrasi CO_2 terlarut lebih tinggi daripada bulan Nopember (Gambar 6). Gambar 7 menunjukkan bahwa pada bulan Agustus konsentrasi CO_2 terlarut yang tinggi di perairan Cirebon ditemukan pada lokasi yang dekat dengan daratan dan menuju laut lepas konsentrasinya semakin berkurang, sedangkan pada bulan Nopember CO_2 terlarut relatif homogen. Tingginya tingkat keasaman dan konsentrasi CO_2 terlarut pada bulan Agustus diduga erat hubungannya dengan pola musim, dimana pada musim kemarau presipitasi lebih tinggi sedangkan aliran antropogenik dari darat tidak berubah secara nyata. Keadaan tersebut berpengaruh terhadap salinitas, temperatur dan tingkat keasaman air laut, sedangkan ketiganya merupakan faktor utama yang mempengaruhi konsentrasi CO_2 terlarut pada suatu perairan.

Zona rentan genangan

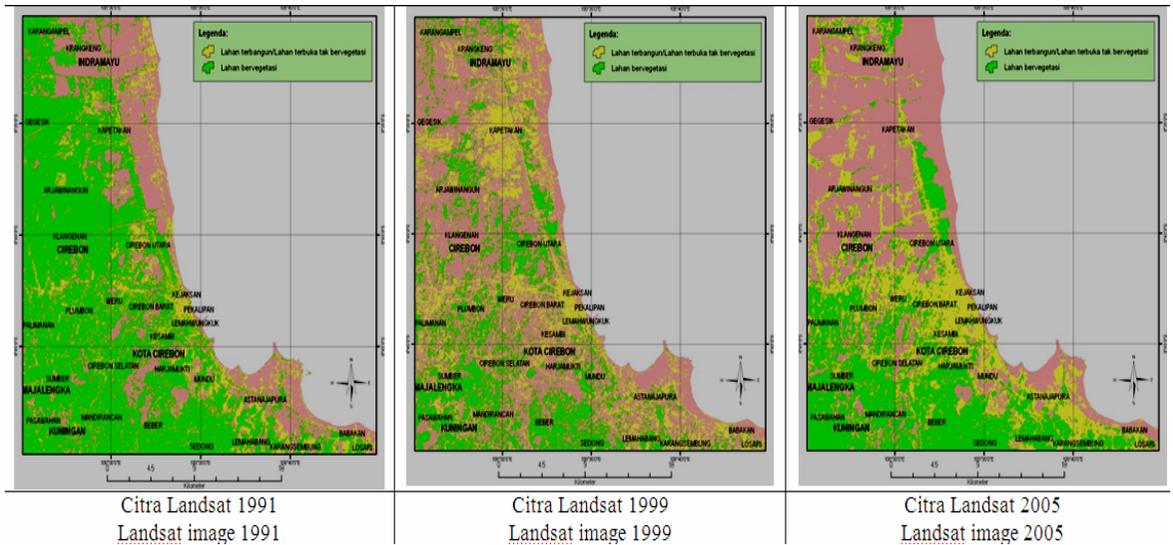
Hasil perhitungan DEM terhadap topografi pesisir Cirebon dengan prediksi kenaikan 1 meter, menghasilkan zona genangan hingga mencapai 12 km ke arah utara sampai Kecamatan Kapetakan dan Gegesik (Gambar 8 dan 9). Zona genangan tampak dari sebaran warna merah dalam peta. Tata guna lahan yang terancam oleh genangan air laut adalah tambak ikan. Para petani tambak memang memilih lokasi tersebut karena sesuai dengan kebutuhan mereka atas aksesibilitas yang luas terhadap air laut. Zona genangan berdasarkan DEM dapat mencapai

wilayah sebelah barat jalur utama Pantura, namun bila jalan utama Pantura dalam keadaan seperti saat ini, yakni berada lebih dari 2 meter di atas muka laut saat ini, maka jalan utama ini dapat berfungsi sebagai benteng yang melindungi wilayah bagian barat jalan. Tata guna lahan yang rentan terhadap genangan dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan yang rentan terhadap genangan dengan catatan jalur Pantura berfungsi sebagai benteng, dapat dilihat pada Tabel 2. Zona genangan ini dibuat tanpa memperhitungkan berbagai bangunan di daerah tersebut yang mungkin dapat berfungsi menahan laju genangan. Pengabaian dilakukan karena belum tersedianya data citra dengan resolusi lebih tinggi dalam kegiatan ini.

Dari Tabel 1 diketahui bahwa total daerah pesisir Cirebon yang akan tergenang bila air pasang mencapai 1 meter adalah 21124,88 hektar yang terdiri atas berbagai tata guna seperti sawah, tambak garam, tambak ikan, lahan campuran dan pemukiman. Tabel 2 memperlihatkan ancaman kerugian akibat genangan pasang setinggi 1 meter dengan menghitung jalan utama Pantura sebagai penghalang lahan dengan elevasi rendah yang terletak di sebelah selatan jalan. Dengan memperhitungkan jalur Pantura sebagai penghalang, maka total daerah tergenang menjadi lebih kecil, yakni seluas 10200,43 hektar.

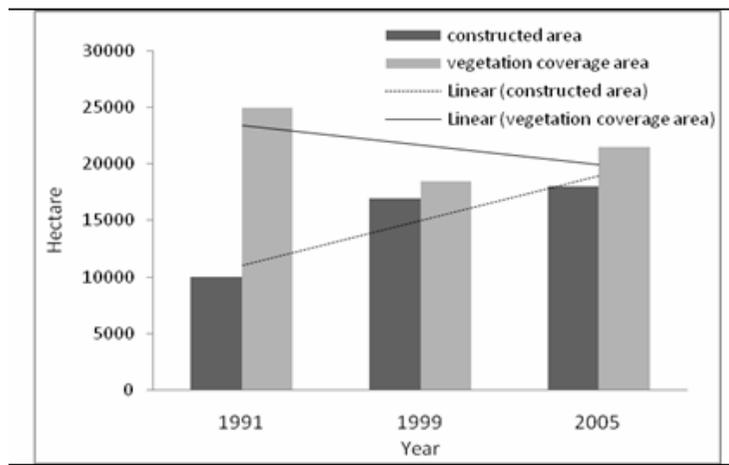
Dalam laporan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tahun 2007 telah diprediksi bahwa ekosistem lahan basah di daerah pesisir, seperti rawa pasang-surut dan hutan mangrove merupakan daerah utama yang terancam penggenangan karena umumnya daerah tersebut berada hanya beberapa sentimeter dari permukaan laut. Lahan basah merupakan habitat untuk beberapa jenis biota, memiliki peran dalam sirkulasi nutrien perairan dangkal, menyediakan mata pencaharian bagi banyak komunitas, merupakan tempat rekreasi dan melindungi daerah pesisir dari air pasang. IPCC memperkirakan hingga tahun 2080 peningkatan muka laut akan merubah 33 % lahan basah di seluruh dunia menjadi perairan tergenang (IPCC 2007).

Genangan air pasang di beberapa kawasan pesisir saat ini telah menjadi masalah nasional, sebagai contoh air pasang yang melanda pesisir Semarang dan sebagian Demak. Tinggi air pasang yang terjadi di pesisir Semarang telah mencapai 1,5 meter pada tahun 2008 dan dalam 10 tahun terakhir sebanyak 109 hektar kawasan tambak di Mangunharjo telah hilang akibat abrasi (SIRY 2008). Limpasan air pasang yang terjadi di daerah Marunda, Jakarta Utara pada akhir tahun 2009 tidak hanya mengenai pemukiman, tetapi tambak udang yang menjadi penopang ekonomi warga Marunda juga ikut jadi korban (JACKSON 2009). Dengan bercermin pada kasus yang terjadi di pesisir Semarang, Demak dan Marunda, sudah saatnya para oseanografer melakukan langkah mitigasi dan adaptasi terhadap lahan basah di daerah pesisir untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan di kemudian hari.



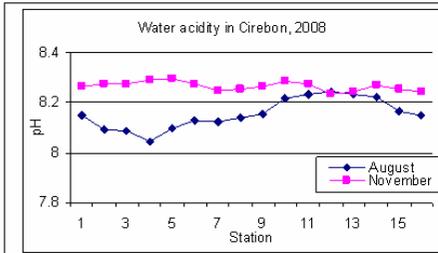
Gambar 3. Citra Landsat pada tata guna lahan di Cirebon, pada tahun 1991, 1999 dan 2005. Daerah berwarna hijau memperlihatkan daerah bervegetasi dan daerah berwarna merah menunjukkan daerah terbangun.

Figure 3. Landsat image on Cirebon landuse in 1991, 1999 and 2005. Red area reveal to constucted area.

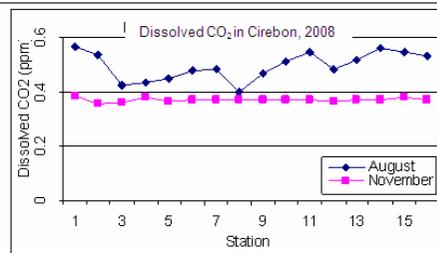


Gambar 4. Kecenderungan konversi tanah di pesisir Cirebon pada perioda tahun 1991-2005.

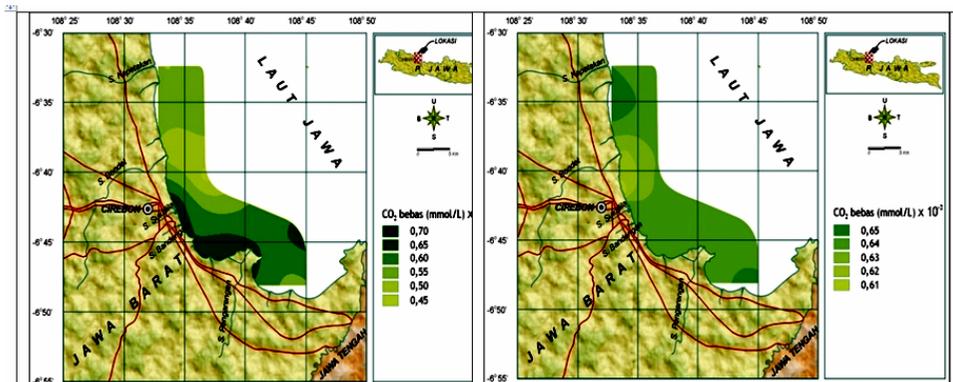
Figure 4. The land conversion trend in Cirebon area on 1991 – 2005.



Gambar 5. Fluktuasi tingkat keasaman air laut pada musim yang berbeda.
 Figure 5. Water acidity in Cirebon coastal waters on August and November.



Gambar 6. Konsentrasi CO2 terlarut di perairan Cirebon pada musim yang berbeda.
 Figure 6. Dissolved CO2 in Cirebon coastal waters on August and November.

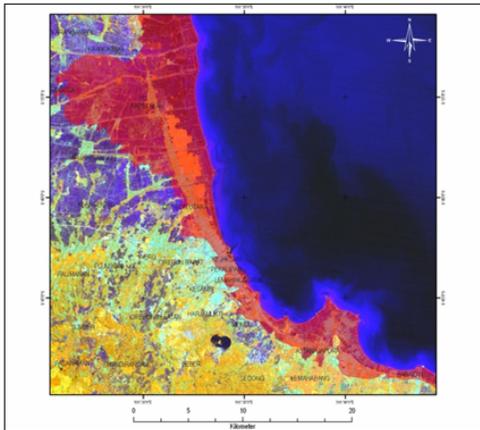


Gambar 7. Pola sebaran CO₂ terlarut di perairan Cirebon pada bulan Agustus dan November 2008
 Figure 7. The distribution pattern of dissolved CO₂ in Cirebon coastal waters on August and November 2008

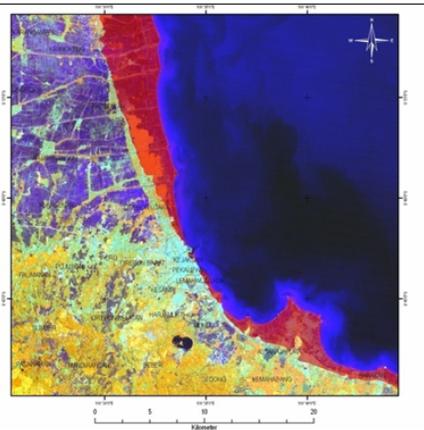
Tabel 1. Tata guna lahan di daerah genangan (daerah berwarna merah) dalam skenario kenaikan muka laut 1 meter.

Table 1. Landuse at inundation zone (red area) in 1 meter sea level rise scenario.

Subdistrict	Farm and bush (ha)	Constructed area (ha)	Various rice field (ha)	Fish ponds (ha)	Total (ha)
Arjawinangun			171.17		171.17
Astanapura	32.94		1220.75	2115.44	3369.13
Babakan		15.67	56.10	470.80	542.57
Cirebon bagian Barat		24.56	31.62		56.17
Cirebon bagian Utara		875.67	809.01	396.57	2081.24
Gegesik		42.60	1193.75		1236.35
Kapetakan		761.88	5218.52	4613.18	10593.58
Kejaksan		221.99			221.99
Krangkeng		8.05	1000.58	660.94	1669.56
Lemahwungkuk		230.38	31.55	13.05	274.98
Mundu		603.83	141.46	120.89	866.18
Pekalipan		28.52	13.43		41.95
Total	32.94	2813.14	9887.94	8390.87	21124.88



Gambar 8. Zona genangan (daerah berwarna merah) dengan skenario kenaikan muka laut 1 meter.
Figure 8. Inundation zone (red area) projected 1 m sea level rise.



Gambar 9. Zona genangan (daerah berwarna merah) dalam skenario kenaikan muka laut 1 m dengan memperhitungkan jalan utama Pantura sebagai benteng.
Figure 9. Inundation zone (red area) projected 1 m sea level rise with Pantura highway as a barrier.

Tabel 2. Daerah yang akan tergenang pada skenario kenaikan muka laut 1 meter, dengan memperhitungkan jalan utama Pantura sebagai benteng.

Table 2. Inundation area in 1 meter scenario with consideration of Pantura highway as a barrier.

Subdistict	Farm and bush (ha)	Constucted area (ha)	Various rice field (ha)	Fish ponds (ha)	Total (ha)
Astanapura	22.58		242.60	2137.07	2402.26
Babakan		16.56	56.10	473.49	546.15
Cirebon bagian Utara		10.65	149.52	397.40	557.56
Kapetakan		28.65	886.13	4607.46	5522.24
Kejaksaan		15.05			15.05
Krangkeng			275.03	671.26	946.29
Lemahwungkuk		25.84		16.71	42.55
Mundu		43.13		125.21	168.34
Total	22.58	139.88	1609.38	8428.59	10200.43

KESIMPULAN

Pesisir merupakan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim, mengingat di wilayah ini ekologi daratan dan perairan berinteraksi secara aktif sepanjang tahun. Perubahan tataguna lahan dan peningkatan aliran antropogenik dari darat menambah berat beban ekosistem ini untuk menjaga ketahanan ekologisnya dari kenaikan muka laut dan pengasaman yang merupakan salah satu dampak dari perubahan iklim. Hasil penelitian di wilayah Cirebon memperlihatkan telah terjadi perubahan tata guna lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun selama 15 tahun (1999 – 2005) sebanyak 8,58 %, sedangkan penyusutan lahan bervegetasi sebanyak 11,93%. Konsentrasi CO₂ terlarut berfluktuasi karena dipengaruhi oleh musim dan kualitas serta kuantitas aliran dari darat. Total daerah pesisir Cirebon yang akan tergenang bila kenaikan muka laut mencapai 1 meter, tanpa memperhitungkan peran jalan Pantura sebagai bendungan, adalah 21124,88 hektar yang terdiri dari berbagai tata guna seperti sawah, tambak garam, tambak ikan, lahan campuran dan pemukiman.

PERSANTUNAN

Penelitian ini didanai oleh anggaran APBN Puslit Oseanografi LIPI tahun anggaran 2009. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua anggota tim (Staf peneliti dan teknisi) yang telah bekerjasama mensukseskan pelaksanaan penelitian ini sehingga semua kegiatan dapat berjalan dengan lancar, juga kepada pihak-pihak yang sudah memberikan masukan dan saran sehingga beberapa metoda penelitian yang tidak populer dapat digali kembali.

DAFTAR PUSTAKA

- ADRIAN, E., C.A.CHEN, S. ADI, PRIHARTANTO, N. SUDIANA and S.P.NUGROHO 2008. Spatial and seasonal dynamics of riverine carbon fluxes of the Brantas catchment in East Java. *Jour. of Geo. Res.*113 (G3): G03029.
- ARIFIN, Z., R. ROSITASARI, R., HADIKUSUMAH, SUYARSO, HELFINALIS, S. TARIGAN, W.B.SETIAWAN, Y. WITASARI, AFDAL, B. PRAYUDA, SURATNO, A. BAYU, Y.I.ULUMUDDIN dan A. S. BUDIMAN 2008. *Kajian perubahan iklim terhadap ekosistem. pesisir*. Laporan tahunan, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI: 151 pp
- ARIFIN, Z., R. ROSITASARI, R., W.B.SETIAWAN, H. SUPRIADI, W. KISWARA, M.L.G. PANGABEAN, T. MURNIASIH, Y. WITASARI, AFDAL, D. R.NOERJITO, B. PRAYUDA, SURATNO, A. BAYU, Y.I.ULUMUDDIN, E. KUSMANTO dan A.PURWANDANA 2009. *Kajian perubahan iklim terhadap ekosistem. pesisir*. Laporan tahunan, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI: 165 pp
- BURROUGH, P.A. and R.A. McDONNELL 1998 *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford, 327 pp.
- COHEN, J.E., C. SMALL, A. MELLINGER, J. GALLUP and J. SACHS 1997. Estimates of coastal populations. *Science*, 278, 1211–1212.
- GOMMES, R., J. DU GUERNY, F. NACHTERGAELE and R. BRINKMAN 1998. Potential Impacts of Sea-Level Rise on Populations and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/FAOINFO/SUSTDEV/Eldirect/Elre0045.htm>
- GRUBER, N., J. L. SARMIENTO and T. F. STOCKER 1996. An improved

- method for detecting anthropogenic CO₂ in the oceans. *Global Biogeochemistry Cycles*,10: 809-837
- IPCC. Climate Change 2001: *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (Editors)],. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp [2001].
- JACKSON 2009. Rob Hantam Marunda, Petambak Rugi Rp 36 Juta. Berita Jakarta. Media online Pemprov DKI, Jakarta.
http://www.beritajakarta.com/v_ind/berita_detail.asp?idwil=3&nNewsId=36506
- KLEYPASS, J.A., R.A. FEELY, V.J. FABRY, C. LANGDON, C.L. SABINE and L.L. ROBBINS 2006. *Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research*, report of a workshop held 18–20 April 2005, St. Petersburg, FL, sponsored by NSF, NOAA, and the U.S. Geological Survey, 88 pp.
- MARTIN, S., R. RODOLFO-METALPA, E. RANSONME, S. ROWLEY, M.BUIA, J.GATTUSO and J.SPENCER 2007. Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Marine Pollution Bulletin* 54 (1): 89-96
- MILES H, S. WIDDICOMBE, J. I. SPICER and J. SPENCER 2008. Effects of anthropogenic seawater acidification on acid–base balance in the sea urchin *Psammechinus miliaris*. *Biol. Lett.* 4 (6): 689-692.
- NICHOLLS, R.J. and N. MIMURA 1998. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. *Climate Research*, 11(1), 5–18.
- REVELLE, R. and H. E. SUESS 1957. "Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ During the Past Decades." *Tellus* 9: 18-27.
- SABINE, C.L., R.A. FEELY, N.GRUBER, R.M. KEY, K.LEE, J. L. BULLISTER, R. WOF, C. S. WONG, D.W.R. WALLACE, B. TILBROOK, F. J. MILLERO, T.PENG, A. KOZYR, T. ONO and A. F. Rios 2004. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science*, 305 (5682):367 – 371.
- SIRY, H. Y. 2008. Ribuan Mangrove di Semarang Tersapu Air Pasang. Coastal management, fisheries, marine affairs.

<http://hendrasiry.wordpress.com/2008/05/15/ribuan-mangrove-di-semarang-tersapu-air-pasang>.

STEFFEN, W., A.SANDERSON, P.D. TAYLOR, J. JAGER, P.M. MATSON, B. MOORE, F. OLDFIELD K. RICHADSON, H.M. SCHNELLNHUBER, B.L. TURNER and R.J. WASSON 2004. *Global change and earth system: a planet under pressure*. Springer Verlag, New York. 336 pp.

STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSON 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bul.Fish. Res. Board. of Canada*.167: 207-211.

THE ROYAL SOCIETY 2005. *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Policy document: 60 pp.