

PROYEKSI KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DAN DAMPAKNYA TERHADAP BANJIR GENANGAN KAWASAN PESISIR

Kelik Eko Susanto, Muh. Aris Marfai, Djati Mardiatno

kelik_eksis@yahoo.com

Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

INTISARI

Penelitian ini bertujuan: a) memperkirakan kenaikan muka laut dan daerah dampak penggenangannya, b) menghitung kerentanan pesisir yang didasarkan pada kondisi fisik dan sosial-ekonomi, dan c) memperkirakan tingkat risiko penggenangan yang didasarkan pada kerentanan pesisir dan tingkat penggenangan, dan memperkirakan infrastruktur yang berada pada daerah penggenangan. Penelitian ini difokuskan pada skenario kenaikan muka laut yang diturunkan dari data pasang surut pelabuhan Tanjung Mas Semarang, stasiun pasang surut terdekat dengan perairan Demak. Komponen pasang surut yang dibutuhkan dalam perhitungan kenaikan muka laut dihitung menggunakan metode British Admiralty. Daerah potensi genangan diturunkan dari titik tinggi Peta RBI menggunakan teknik interpolasi Spline with Barriers untuk menghasilkan model permukaan digital (DEM). DEM tersebut bermanfaat dalam membedakan posisi ketinggian lahan dari rerata muka laut. Teknik Iterasi digunakan untuk menentukan daerah potensi genangan dengan memanfaatkan data DEM pada proses sebelumnya. Bersamaan dengan penentuan daerah genangan juga dihitung nilai kerentanan pesisir yang menunjuk pada kelemahan internal dari proses-proses eksternal yang merusak. Kerentanan tersebut diturunkan dari kerentanan fisik dan kerentanan sosial-ekonomi. Interaksi antara tingkat kerentanan pesisir dan tingkat penggenangan akan menghasilkan tingkat risiko pesisir. Tingkat risiko tinggi dihasilkan dari kerentanan tinggi dengan tingkat penggenangan yang juga tinggi. Sebaliknya, tingkat risiko rendah dihasilkan dari kerentanan rendah dengan tingkat penggenangan yang rendah pula. Seluruh proses mengindikasikan bahwa selama 1999-2009 pesisir Demak telah mengalami kenaikan sebesar 0.72 mm/tahun pada kenaikan muka laut statis dan 7,9 mm/tahun pada kenaikan muka laut relatif. Peningkatan muka laut tersebut menggenangi area seluas 26,83 km² di 8 desa pada kenaikan air 60,1 cm, 41,74 km² di 16 desa pada kenaikan air 82,8 cm dan 55,58 km² di 16 desa pada kenaikan 94,1 cm. Berdasarkan skenario kenaikan muka laut tahun 2010-2050, ditemukan bahwa jumlah desa dengan risiko tinggi semakin meningkat dari tahun ke tahun dalam setiap skenarionya. Hal yang sama juga dialami oleh infrastuktur yang terdapat di dataran rendah. Jumlah infrastruktur yang terkena dampak semakin meningkat dari tahun ke tahun dalam setiap skenario yang digunakan.

Kata kunci : Demak, kenaikan muka laut, daerah pesisir, kerentanan pesisir, DEM, risiko

ABSTRACT

This study aims to: a) estimates of sea level rise and regional impacts penggenangannya, b) calculate the vulnerability of the coast which is based on the physical conditions and socio-economic, and c) estimate the level of risk that is based on the vulnerability of flooding and coastal inundation level, and estimate the infrastructure in the region of inundation. This study focuses on sea level rise scenarios are derived from the tidal data port of Tanjung Mas Semarang, tidal station nearest to the waters of Demak. Tidal components required in the calculation of sea level rise calculated using the method of the British Admiralty. Potential inundation areas derived from the high point of RBI Map using Spline interpolation technique with Barriers to produce a digital surface model (DEM). DEM is useful in distinguishing the position of land from the mean height of sea surface. Iteration techniques are used to determine the potential inundation areas using DEM data on the previous process. Simultaneously with the determination of inundation areas also calculated the value of coastal vulnerability refers to the internal weakness of the external processes that damage. Vulnerability is derived from the physical vulnerability and socio-economic vulnerability. The interaction between level and level of vulnerability of coastal inundation will result in the level of coastal risk. High risk levels resulting from a high vulnerability to flooding are also high level. Conversely, low risk levels resulting from low susceptibility to low levels of water inundation as well. The whole process indicates that during 1999-2009 the coastal Demak has experienced an increase of 0.72 mm per year on static sea level rise and 7.9 mm / year in relative sea level rise. Increased sea level is flooded an area of 26.83 km² in eight villages on the water rise 60.1 cm, 41.74 km² in 16 villages on the water rise 82.8 cm and 55.58 km² in 16 villages on the rise of 94.1 cm . Based on the scenario of sea level rise in 2010-2050, found that the number of villages with high risk increasing from year to year in each scenario. The same was experienced by the infrastructure contained in the lowlands. The number of affected infrastructure increasing from year to year within each scenario that is used.

Keywords: Demak, sea level rise, coastal regions, coastal vulnerability, DEM, risk

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir adalah daerah yang menghubungkan daratan dengan laut sekaligus merupakan wilayah yang paling banyak dihuni dan menguntungkan untuk menjalankan kegiatan pembangunan. Salah satu jenis bencana yang berpengaruh terhadap sumberdaya di wilayah pesisir adalah banjir penggenangan yang disebabkan oleh kenaikan muka laut. Banyak ahli berpendapat kenaikan muka laut disebabkan oleh perubahan iklim global. Menurut (IPCC, 2007),

skenario kondisi terbaik menunjukkan kenaikan permukaan air laut akan menyebabkan dampak yang luas terhadap lingkungan pesisir dan infrastruktur. Wilayah yang paling rentan menghadapi kenaikan permukaan air laut adalah dataran rendah pada wilayah pesisir. Proyeksi kenaikan permukaan air laut dimasa yang akan datang mengarah kepada kesimpulan bahwa kota-kota yang berada di wilayah pesisir akan mengalami penggenangan. Sejumlah besar manusia yang bertempat tinggal pada wilayah tersebut akan menjadi komunitas yang rentan dan harus dipindahkan (Srivastav, 2001).

Banyak kasus di negara berkembang seperti Indonesia, terdapat kota besar yang mempunyai risiko tinggi terhadap kejadian banjir genangan, seperti Jakarta, Surabaya, Semarang dan Makasar (Marfai, 2008). Risiko dan kerentanan fisik pada wilayah pesisir biasanya dibarengi dengan berkurangnya kemampuan beradaptasi. Kemampuan dalam menanggulangi risiko dan kerentanan perubahan iklim pada kota besar biasanya berupa kekurangan sumberdaya yang penting, seperti keuangan, manusia dan institusinya maupun akses kepada informasi pengetahuan yang relevan (Nelson, 2009).

Upaya yang dilakukan untuk mengantisipasi dampak tersebut adalah melalui perencanaan manajemen pesisir. Perencanaan manajemen pesisir yang terpadu dengan mempertimbangkan program pembangunan dan kearifan lokal adalah jalan alternatif yang baik untuk dilaksanakan. Proses awal dalam manajemen pesisir tersebut dapat dilakukan dengan pengenalan tentang kondisi wilayah dan risiko bencana dari daerah yang bersangkutan. Menurut Undang-Undang No.24/2007 tentang Penanggulangan Bencana seperti yang terurai dalam Pasal 21 Poin c dinyatakan bahwa Pemerintah mempunyai tanggung jawab dalam hal pengaturan, menetapkan dan menginformasikan tentang peta risiko. Sejalan dengan sasaran hukum tersebut, dibangun suatu pendekatan untuk mengenali dan memperkirakan daerah yang terkena dampak kenaikan permukaan laut sebagai skenario paling buruk jika hal tersebut terjadi. Penelitian ini ditujukan untuk memperkirakan penggenangan pesisir wilayah yang terkena dampak dalam kaitannya dengan skenario kenaikan permukaan laut, menentukan kondisi kerentanan pesisir dengan berdasarkan kondisi fisik dan sosial-ekonomi daerah setempat dan memperkirakan tingkat risiko dan potensi kerusakan infrastruktur pesisir dalam kaitannya dengan penggenangan pesisir.

Wilayah Kabupaten Demak yang berbatasan langsung dengan pantai adalah 13 desa yang termasuk dalam wilayah Kecamatan Wedung, Kecamatan Karang Tengah, Kecamatan Bonang dan Kecamatan Sayung. Kecamatan Wedung merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Demak yang terletak di

pesisir pantai Laut Jawa dengan luas wilayah 93.876 ha atau 11% dari seluruh wilayah dan merupakan wilayah kecamatan terluas di Kabupaten Demak. Kondisi penggunaan lahan di Kecamatan Wedung terdiri dari 5.210 ha lahan sawah dan 4.666 ha lahan kering. Kecamatan Bonang memiliki luas 8.324 ha dan terletak berbatasan dengan Laut Jawa. Luas wilayah Kecamatan Bonang adalah 8.324 ha dan menempati urutan kedua di Kabupaten Demak. Kecamatan Karangtengah memiliki luas wilayah 5.155 ha yang terdiri dari 3.572 ha lahan sawah dan 1.583 ha lahan kering. Kecamatan Sayung terletak berbatasan langsung dengan Kota Semarang di sebelah baratnya. Luas wilayah Kecamatan Sayung adalah 7.869 ha yang terdiri dari 3.779 ha lahan sawah dan 4.090 ha lahan kering. Sebagian besar penduduk di empat kecamatan tersebut bermata-pencaharian sebagai petani, nelayan, petambak dan peternak.

Hampir seluruh pesisir Demak merupakan dataran dengan elevasi kurang dari 3 m dari permukaan laut, terutama pada jarak kurang dari 3 km dari pantai. Di beberapa daerah ditemui cekungan-cekungan yang berpotensi genangan bila terdapat pasokan air, baik dari luapan sungai maupun pasang laut. Daerah pesisir Demak didominasi oleh tiga jenis tanah, yaitu Aluvial Hidromorf, Asosiasi Aluvial Kelabu dan Keabuan serta Grumusol Kelabu Tua. Sungai-sungai yang melewati daerah penelitian di antaranya adalah Kali Tuntang, Kali Buyaran, Kali Wonokerto, Kali Sinder dan Kali Wulan. Kali Buyaran dan Wulan merupakan sungai terbesar di daerah penelitian. Kali Buyaran mempunyai lebar rata-rata 45 m yang mempunyai cabang-cabang untuk irigasi pertanian maupun pertambakan. Kali Wulan terdapat di daerah utara dan bermuara di Kecamatan Wedung yang membentuk hamparan delta yang luas. Sungai-sungai tersebut seringkali menyebabkan banjir karena melewati daerah dataran dimana energi mekanis air sungai berkurang. Banjir yang terjadi pada musim penghujan seringkali juga mengendapkan sedimen yang dibawanya di daerah rendah. Sedimen yang terbawa air sungai juga ditemui di muara-muara sungai. Pada batas pertemuan dua perairan tersebut biasanya terjadi pengendapan sehingga menutup muara sungai dan menghalangi lalu lintas transportasi dari dan menuju ke laut. Pengendapan tersebut menyebabkan adanya akresi di sekitar muara sungai dan oleh warga setempat disebut dengan "tanah timbul".

Kondisi klimatis daerah pesisir Demak ditandai oleh adanya dua musim dalam satu tahun, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Musim penghujan umumnya berlangsung pada bulan Oktober sampai Mei, sedangkan musim kemarau berlangsung pada bulan Juni sampai September (Prihastomo, 2008). Perairan Demak mempunyai jenis pasang surut dengan tipe Campuran condong harian ganda (*Mixed tide prevailing semidiurnal*) (Janhidros, 2008).

Jenis tersebut merupakan kombinasi dari pengaruh gravitasi bulan dan matahari yang berotasi dengan phase kemunculan yang berbeda. Pergantian pasang surut tersebut menyebabkan terjadinya arus yang mencapai kecepatan tertinggi pada saat laut pada titik pasang tinggi tertinggi.

METODE PENELITIAN

Analisis data dilakukan untuk menghasilkan informasi baru dari data yang telah disiapkan sebelumnya dan juga data dari survai lapangan. Data yang digunakan diantaranya adalah data pasang surut, data potensi desa, data demografis, peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25.000 yang diterbitkan Bakosurtanal dan juga citra Landsat 7 ETM+. Data pasang surut digunakan untuk mengetahui komponen oseanografi yang digunakan untuk perhitungan kenaikan muka laut. Data potensi desa dan demografis akan digunakan untuk menyusun peta kerentanan sosial-ekonomi daerah pesisir. Beberapa informasi diolah dari peta topografi seperti batas pantai, titik tinggi, batas administrasi dan juga batas penggunaan lahan pesisir. Data citra didapatkan dari Landsat 7 ETM+ tahun 2002 menggunakan komposit 452 yang akan digunakan untuk menentukan batas bentuklahan daerah pesisir.

Rata-rata kenaikan permukaan laut dihitung menggunakan formula yang digunakan (Ding, *dkk.*, 2002), (dalam Sutrisno, 2005) seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 1 :

$$Z_{(t)} = Z_0 + at + \sum_1^k c_k \sin(2\pi t) / p_k + q_k \dots\dots\dots$$

(1)

Keterangan :

- $Z_{(t)}$: Kenaikan muka laut relatif (m)
- Z_0 : rerata muka laut selama total t bulan pengukuran (cm)
- a : tren kenaikan muka laut
- t : total jumlah bulan pengukuran
- k : total jumlah tahun pengukuran
- c_k : periode pasang surut selama k tahun pengukuran (jam)
- p_k : amplitudo pasang surut selama k tahun pengukuran (cm)
- q_k : phase pasang surut selama k tahun pengukuran (jam)

Proyeksi (peramalan) merupakan suatu perkiraan (*forecasting*) tentang kemungkinan kejadian pada masa yang akan datang yang dapat diamati melalui kecenderungan yang berjalan saat ini (Harinaldi, 2005). Proyeksi kenaikan muka laut didasarkan pada kedudukan rerata pasang surut muka laut harian selama 24

jam dalam setiap harinya selama 10 tahun, sehingga diketahui kecenderungan perubahan kedudukan muka laut rata-rata selama waktu pengukuran. Cara sederhana untuk mengetahui kecenderungan tersebut adalah dengan mengplot data rerata muka laut ke dalam diagram Kartesius. Rerata muka laut berfungsi sebagai variabel terikat diletakkan pada sumbu y, sedangkan fungsi waktu merupakan variabel bebas dan dimasukkan dalam sumbu x. Proyeksi kenaikan muka laut untuk beberapa tahun ke depan dilakukan menggunakan analisis regresi yang dilengkapi dengan perhitungan diferensial kalkulus statistik. Cara yang sama juga digunakan untuk menghitung tinggi pasang dan surut air laut untuk beberapa tahun ke depan.

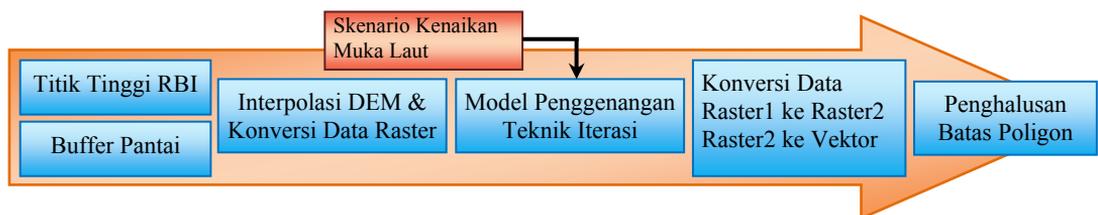
Pemetaan dampak banjir genangan oleh kenaikan muka laut setidaknya membutuhkan dua hal, yaitu, 1) data ketinggian lahan dan permukaan air, dan 2) model proses kepeosisiran (Titus dan Richman, 2000). Data tinggi muka air dalam hal ini adalah tinggi muka laut setelah mengalami kenaikan, dimana garis pantai digunakan sebagai batas awal dari kenaikan tersebut. Kenaikan muka laut dihitung berdasarkan besarnya selisih antara rerata tinggi muka laut pada awal pengukuran dengan tinggi muka laut pada masa proyeksi. Skema penentuan daerah genangan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 1.

Representasi pemetaan tinggi lahan dapat dilakukan dengan pembuatan model medan digital (*Digital Elevation Model/DEM*) yang berbentuk raster dengan tipe teratur (*Regular DEM*) yang berupa *grid* (kubus) dengan memanfaatkan data titik tinggi Peta Rupa Bumi Indonesia, skala 1 : 25.000 yang diubah menjadi DEM. Interpolasi permukaan digital didasarkan pada titik tinggi dari Peta RBI yang dibatasi dengan garis pantai (*buffer* pantai) untuk membedakan daratan dan lautan. Teknik yang digunakan dalam metode ini adalah "*Spline with Barrier*". Teknik tersebut terdapat dalam menu "*3D Analyst Tool*". Kelebihan metode ini adalah dapat menambahkan input lain sebagai pembatas, memberikan hasil yang lebih halus dan lebih logis. Kelebihan lain dari teknik ini adalah besarnya ukuran sel raster (piksel) dapat ditentukan oleh pengguna dan terdapat fasilitas "*smoothing*" yang berguna dalam memperhalus hasil interpolasi raster (ESRI, 2009).

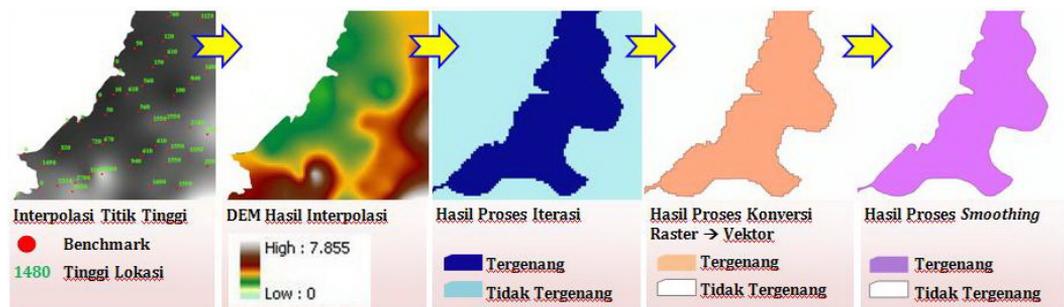
Hasil perhitungan proyeksi kenaikan muka laut dan DEM tersebut digunakan untuk menghitung daerah potensi genangan. Daerah pesisir yang berpotensi terhadap banjir genangan akibat kenaikan muka laut adalah daerah dengan elevasi yang lebih rendah dari kenaikan muka laut dan berbatasan langsung dengan pantai. Operasi data raster yang melibatkan data DEM dalam penentuan daerah genangan yang menunjukkan kenaikan massa laut ke arah

daratan dilakukan menggunakan software ILWIS 3.4 dengan teknik Iterasi (*Iteration*). Prinsip dasar yang digunakan dalam teknik ini adalah perhitungan matematis terhadap nilai-nilai piksel di sekitarnya dari sebuah perhitungan yang akan digunakan sebagai input bagi perhitungan selanjutnya hingga mencapai batas yang ditentukan (Marfai dan King, 2008).

Model permukaan digital hasil klasifikasi di atas masih berupa data raster sesuai kelas kategori yang digunakan. Agar data tersebut dapat lebih mudah untuk dioperasikan lebih lanjut, maka data raster tersebut kemudian dikonversi ke dalam bentuk *shapefile*. Keuntungan bentuk data *shapefile* ini adalah atribut datanya dapat lebih diperkaya dan data spasialnya lebih mudah untuk dilakukan analisis bersama dengan data spasial lainnya. Teknik yang digunakan dalam mengubah data raster menjadi data *shapefile* ini adalah menu “*Conversion Tool*” dalam pilihan “*Raster to Polygon*”.



Gambar 1. Skema penentuan daerah genangan

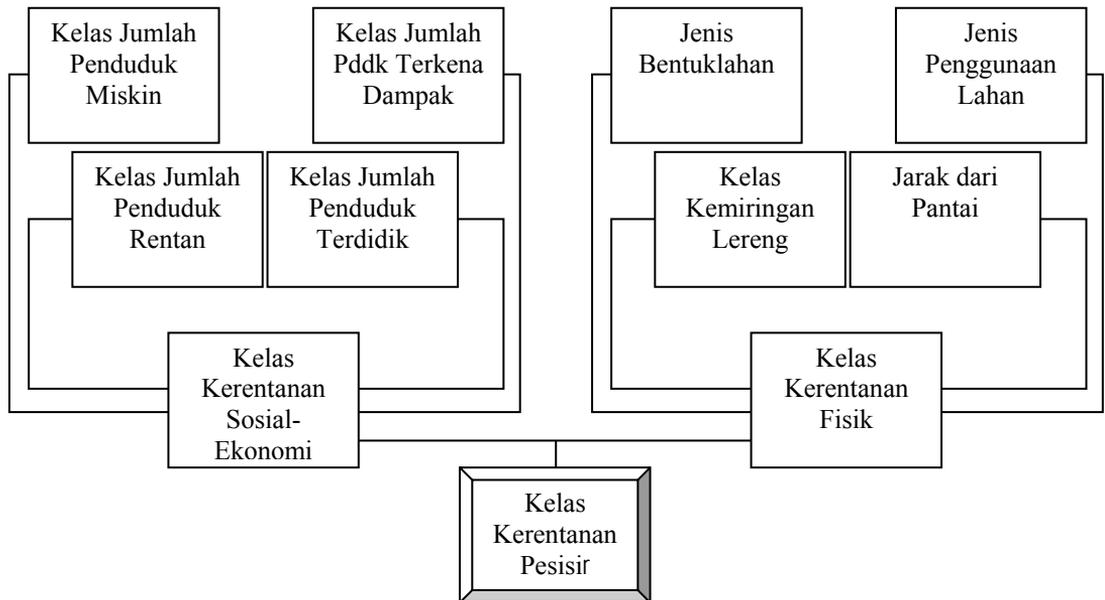


Gambar 2. Rangkaian hasil proses penentuan daerah potensi genangan

Data raster yang digunakan dalam penentuan daerah potensi genangan di atas pada dasarnya merupakan sekumpulan piksel yang berbentuk persegi empat yang mewakili lahan di permukaan bumi dengan luasan tertentu. Karena bentuk asalnya merupakan segi empat, seringkali dalam pengkelasan dan konversinya memberikan bentuk yang tidak halus. Untuk menghasilkan area poligon yang lebih halus dan lebih logis, *shapefile* hasil konversi dilakukan analisis lebih

lanjut menggunakan menu “*Data Management Tools*” pada pilihan “*Smooth Polygon*”. Dasar analisis dalam teknik ini adalah pengubahan batas area poligon menggunakan algoritma Kernel dan batas toleransi pengubahan batas poligon. Algoritma tersebut akan berpengaruh terhadap pergeseran batas antar poligon dan nilai toleransi akan membatasi besarnya perubahan batas antar poligon tersebut. Hasil dari proses-proses yang telah disebutkan di atas ditunjukkan dalam rangkaian Gambar 2 .

Bersamaan dengan proses tersebut juga dilakukan penyusunan peta kerentanan pesisir yang didasarkan pada tingkat kerentanan fisik pesisir dan tingkat kerentanan sosial-ekonomi pesisir. Kerentanan fisik pesisir (PVI) dihasilkan dari tumpang-susun peta bentuklahan, jarak dari pantai, penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Peta batas administrasi akan digabung dengan informasi sosial-ekonomi seperti jumlah penduduk rentan, jumlah penduduk terkena dampak, jumlah penduduk terdidik dan jumlah penduduk miskin untuk menghasilkan indeks kerentanan sosial-ekonomi pesisir (SEVI). Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk menghitung total kerentanan pesisir (CVI). Teknik penilaian CVI secara sederhana ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Teknik penilaian CVI yang digunakan dalam penelitian



Gambar 4. Contoh proses reduksi satuan analisis kerentanan fisik pesisir

Permasalahan yang dihadapi dalam menentukan nilai akhir CVI tersebut adalah batas unit analisis yang berbeda, dimana kerentanan fisik menggunakan batas alami sedangkan kerentanan sosial-ekonomi menggunakan batas administrasi desa. Untuk mendapatkan unit analisis yang sama maka dilakukan reduksi terhadap batas kerentanan fisik, dengan mempertimbangkan dua hal, yaitu perbandingan luasan keduanya dan perbandingan tingkat risiko tertinggi. Perbandingan luasan merupakan pertimbangan dasar dalam mereduksi permasalahan tersebut. Namun bila kondisi unit administrasi mempunyai dua karakteristik fisik yang sama luas, maka penentuan akhir didasarkan pada tingkat risiko tertinggi keduanya. Teknik yang digunakan dalam proses reduksi ini adalah “*merge*”, yaitu penggabungan dua poligon atau lebih menjadi poligon tunggal dengan atribut yang spesifik. Contoh reduksi dalam penentuan tingkat risiko disajikan dalam Gambar 4.

Penilaian tingkat risiko penggenangan dihasilkan berdasarkan tingkat kerentanan pesisir dan tingkat genangan akibat kenaikan muka laut. Daerah-daerah yang menjadi lokasi interaksi faktor kerentanan dan faktor penggenangan merupakan daerah-daerah yang berisiko. Sedangkan daerah yang tidak menjadi lokasi interaksi kedua faktor tersebut dinilai sebagai daerah yang tidak berisiko. Permasalahan yang dihadapi dalam proses penilaian risiko dampak genangan ini sama dengan penilaian kerentanan pesisir, yaitu perbedaan batas kedua variabel tingkat risiko. Untuk memecahkan masalah tersebut digunakan metode reduksi sebagaimana dalam penilaian tingkat kerentanan pesisir pada proses sebelum ini. Hal yang membedakan teknik ini dari proses sebelumnya adalah tingkat risiko genangan dipengaruhi oleh luasan daerah yang tergenang. Selain itu, skenario kenaikan muka laut juga ditumpangsusunkan dengan infrastruktur yang ada di daerah pesisir untuk menghasilkan potensi kerusakan infrastruktur. Penilaian tingkat risiko genangan yang didasarkan pada tingkat kerentanan pesisir dan tingkat luas banjir penggenangan ditentukan menggunakan matriks dalam Tabel 1:

Tabel 1. Matrix Tingkat Risiko Penggenangan Pesisir

		Tingkat Kerentanan Pesisir (CVI)				
		Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Sangat Rendah
Tingkat Penggenangan	Sangat Tinggi (> 80%)					
	Tinggi (60% - 80%)					
	Sedang (40% - 60%)					
	Rendah (20% - 40%)					
	Sangat Rendah (< 20%)					
	Tidak Tergenang					

Keterangan :

- : Tingkat Risiko Sangat Tinggi
- : Tingkat Risiko Tinggi
- : Tingkat Risiko Sedang
- : Tingkat Risiko Rendah
- : Tingkat Risiko Sangat Rendah

Secara ideal kajian dalam proyeksi kenaikan muka laut dan dampak banjir penggenangan yang ditimbulkan melibatkan dua hal utama, yaitu obyek yang tergenangi (daratan pesisir) dan subyek yang menggenangi (massa air laut). Kedua komponen tersebut merupakan hal yang bersifat dinamis yang dapat berubah seiring dengan berjalannya waktu. Berdasarkan sumber data yang dimiliki, penelitian ini dibatasi pada beberapa hal, yaitu :

- Aspek komponen dinamis dalam penggenangan
- Aspek proyeksi kenaikan muka laut yang masih memungkinkan
- Aspek kondisi kerentanan wilayah pesisir yang menyangkut aspek fisik dan sosial-ekonomi setempat.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji intensitas banjir penggenangan yang secara khusus disebabkan oleh kenaikan muka laut melalui proyeksi yang didasarkan pada analisis karakteristik pasang surut perairan setempat. Sebagai konsekuensinya, kajian penelitian tidak memperhitungkan intensitas banjir oleh suplai air dari daerah hulu terhadap dataran pesisir. Selain

itu, penelitian ini juga tidak memperhitungkan aspek perubahan elevasi lahan oleh proses-proses yang sedang berjalan, baik oleh erosi, amblesan tanah maupun sedimentasi. Daerah pesisir yang berpotensi tergenang oleh proyeksi kenaikan muka laut didasarkan pada kondisi lahan saat ini yang dianggap statis dan tidak mengalami perubahan selama kurun waktu proyeksi kenaikan muka laut.

Model perkiraan kenaikan muka laut dalam penelitian ini dibatasi hanya sampai dengan 50 tahun dari sumber data yang digunakan. Hal ini mengacu pada pendapat para ahli perubahan iklim dan kelautan yang menyarankan bahwa pada kurun 2030 – 2050 merupakan jangka waktu yang masih signifikan dalam melakukan prediksi kenaikan muka laut (NSW *Coastline Management Manual*, 1990). Meski banyak ahli masih memperdebatkan sebab terjadinya perubahan iklim, namun mereka sepakat bahwa kenaikan muka laut adalah salah satu dampak dari hal tersebut dan saat ini kondisi tersebut sedang terjadi. Tahun 2050 adalah kurun waktu yang dianggap signifikan terhadap kenaikan muka laut, sedangkan kurun setelah itu sebagian besar ahli belum memberikan pernyataan secara pasti.

Tingkat risiko wilayah pesisir terhadap banjir penggenangan merupakan gabungan dari aspek tingkat penggenangan dan aspek kerentanan pesisir. Semakin tinggi tingkat penggenangan dan kerentanan wilayah maka tingkat risiko yang ditimbulkan juga akan semakin parah. Kerentanan pesisir merupakan gambaran kemampuan wilayah dalam menghadapi ancaman bencana yang mungkin terjadi di wilayah tersebut. Aspek kerentanan wilayah pesisir meliputi kerentanan fisik dan sosial-ekonomi setempat. Kedua hal tersebut juga merupakan kondisi yang dinamis dari waktu ke waktu. Kecenderungan dinamika wilayah mengindikasikan perubahan sosial-ekonomi terjadi lebih cepat daripada kondisi fisik wilayah. Namun demikian, perhitungan kerentanan pesisir dalam penelitian ini hanya didasarkan pada kondisi saat ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan terhadap karakteristik pasang surut air laut selama 1999 - 2009, daerah pesisir Demak mempunyai tinggi rerata muka laut rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*) sebesar 60,1 cm dan menggenangi dataran rendah pesisir seluas 26,83 km² dan memberikan dampak di 8 desa. Selama kurun waktu 10 tahun kondisi rerata pasang air tinggi berada pada 82,8 cm. Air pasang surut pada kondisi tersebut mengakibatkan genangan di daerah pesisir dengan luas sekitar 41,74 km² yang melanda 16 desa. Sedangkan pada rerata air

tinggi tertinggi perairan berada pada 94,1 cm di atas muka laut rata-rata yang melanda 16 desa seluas sekitar 55,58 km dan menjangkau daratan hingga jarak 3,4 km dari pantai.

Kenaikan muka laut relatif adalah kenaikan muka laut yang digerakkan oleh faktor-faktor pembangkitnya yang dihitung secara relatif dari suatu duduk muka laut pada ketinggian tertentu. Dampak genangan dari kenaikan muka laut ini secara langsung dapat diprediksi dari kondisi lahan pesisir saat ini. Beberapa faktor internal yang berpengaruh terhadap kenaikan muka laut relatif tersebut diantaranya adalah duduk muka laut statis saat ini, kecenderungan kenaikan muka laut dan juga dinamika pasang surut setempat. Mendasarkan pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kenaikan relatif muka laut di atas, maka besarnya kenaikan muka laut perairan Demak dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Melalui perhitungan menggunakan formula tersebut maka akan dihasilkan nilai sebesar:

$$\begin{aligned} Z(t) &= 58 + 0,072 * 120 + \{139,62 * \sin (2*3,14*120)/(32 + 37,99)\} \\ &= 58 + 8,64 - 0,744 \\ &= 65,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kenaikan muka laut relatif dari tahun 1999 – 2009 adalah selisih tinggi muka laut relatif antara tahun 2009 dan 1999, yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta Z &= Z_{2009} - Z_{1999} \\ &= 65,9 \text{ cm} - 58 \text{ cm} \\ &= 7,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 10 tahun hingga akhir tahun pengukuran (2009) perairan Demak mengalami kenaikan muka laut relatif sebesar 7,9 cm. Rata-rata kenaikan muka laut relatif selama 120 bulan (10 tahun) pengukuran adalah 0,79 cm/tahun atau 7,9 mm/tahun.

Proyeksi kenaikan muka laut diperkirakan menggunakan tingkat kecenderungan dari kondisi muka laut statis dan komponen pasang surut perairan setempat. Perhitungan pasang surut perairan Demak tahun 1999 – 2009 menunjukkan tren yang cenderung meningkat, baik kondisi muka laut statis maupun kondisi muka laut relatifnya. Kecenderungan tersebut menghasilkan regresi linier yang merepresentasikan besarnya tingkat kenaikan muka laut pada masa yang akan datang. Mendasarkan pada regresi linier proyeksi kenaikan muka laut tersebut, maka perkiraan kenaikan muka laut perairan Demak untuk beberapa tahun ke depan disajikan dalam Tabel 2 .

Asumsi yang dipakai dalam prediksi kenaikan muka laut tersebut adalah kondisi muka laut saat ini digunakan sebagai rujukan awal dalam perhitungan

dan kondisi komponen pasang surut cenderung tidak berubah selama waktu prediksi. Kondisi muka laut relatif cenderung meningkat dari tahun ke tahun dengan nilai yang cukup signifikan. Tren kenaikan muka laut statis dan relatif dapat dibandingkan dalam Gambar 5 .

Tabel 2. Perkiraan kenaikan muka laut tahun 2010 - 2050

No	Tahun	x (jumlah bulan prediksi)	Muka Laut	Muka Laut Relatif	Kenaikan Laut Statis per 5 Tahun (cm)	Kenaikan Laut Relatif per 5 Tahun (cm)
			Statis (cm)	(cm)		
			$y = 0.006x + 60.83$	$Z_t = 58 + a.t + (Ck * \sin (2 * 3.14 * t)/(Pk + Qk))$		
2009		120	61.55	65.90	0.07	0.79
1	2010	132	61.62	66.69		
2	2015	192	61.98	70.68	0.36	3.99
3	2020	252	62.34	74.71	0.36	4.03
4	2025	312	62.70	78.79	0.36	4.08
5	2030	372	63.06	82.94	0.36	4.14
6	2035	432	63.42	87.15	0.36	4.21
7	2040	492	63.78	91.43	0.36	4.28
8	2045	552	64.14	95.78	0.36	4.35
9	2050	612	64.50	100.21	0.36	4.43

Sumber : Perhitungan, 2010



Gambar 5. Perbandingan kecenderungan muka laut statis dan relatif perairan Demak

Dampak penggenangan daerah pesisir oleh naiknya muka laut dapat dibuat skenario dengan menambahkan dinamika pasang surut pada tahun yang sama. Dalam penelitian ini, skenario dibuat dalam dua jenis, skenario terbaik dan

skenario terburuk. Skenario terbaik dalam hal ini adalah kondisi muka air tanpa mempertimbangkan faktor pasang surut, sehingga tinggi muka laut pada skenario ini sama dengan muka laut rata-rata (*mean Sea Level/MSL*). Sedangkan skenario kedua (skenario terburuk) dalam hal ini diasumsikan sebagai tingginya muka laut rata-rata pada kondisi air tinggi tertinggi (*Highest High Water*). Besarnya nilai air tinggi tertinggi untuk beberapa tahun ke depan dihasilkan melalui tren linier (fungsi kecenderungan) Air Tinggi Tertinggi selama tahun pengukuran sebelumnya. Rerata bulanan air tinggi tertinggi selama pengukuran 120 bulan (10 tahun) didapatkan fungsi kecenderungan sebesar $y = 2,018.ln(x)+86,16$, dengan y adalah proyeksi besarnya nilai air tinggi tertinggi pada x bulan pengukuran, dan x adalah jumlah bulan pengukuran. Dampak dari kedua skenario tersebut adalah terjadinya genangan pesisir, pada skenario terbaik genangan cenderung meningkat dan pada skenario terburuk mengalami peningkatan yang juga signifikan. Luas genangan menurut skenario terbaik bertambah sekitar 0,69% dalam setiap tahun. Sedangkan luas genangan menurut skenario terburuk akan bertambah sekitar 0,54% setiap tahun. Besarnya tinggi muka laut berdasarkan skenario terbaik dan terburuk berikut dampak genangan yang ditimbulkan disajikan dalam Tabel 3 .

Banjir genangan oleh naiknya air laut sebagaimana rancangan skenario di atas akan menghasilkan distribusi daerah-daerah yang akan tergenang. Dampak genangan berdasarkan skenario tahun 2020-2030 dan tahun 2040-2050 disajikan dalam Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 3. Luas banjir genangan pesisir menurut skenario terbaik dan terburuk

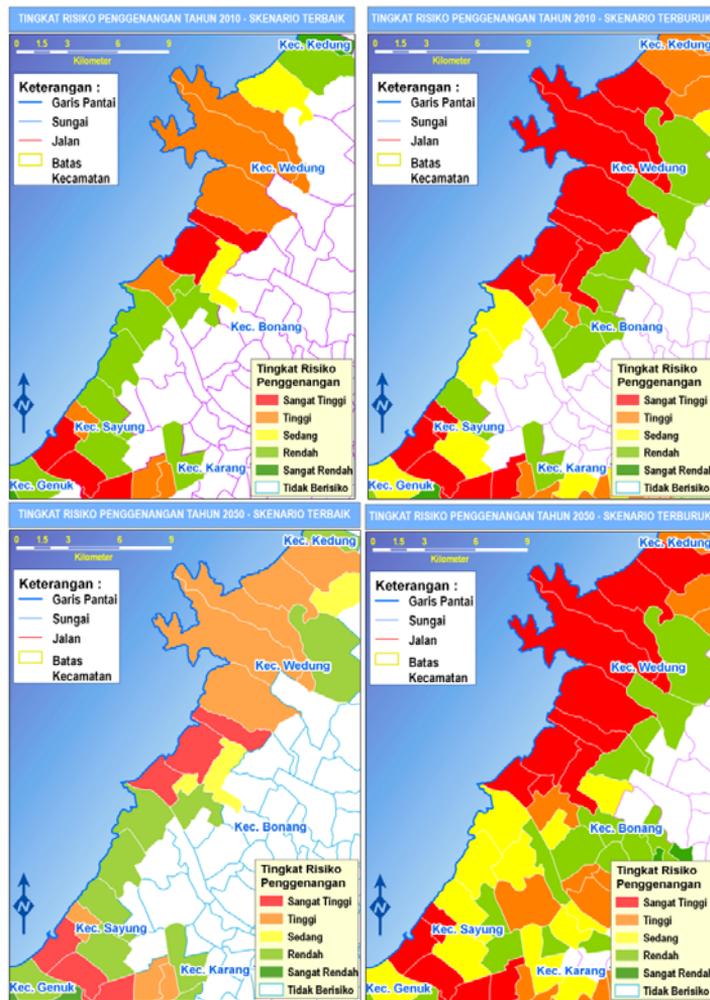
No	Tahun	x (jumlah bulan prediksi)	Muka Laut Statis (cm)	Muka Laut Relatif (cm)	Rerata Air Tinggi Tertinggi (HHW)	Skenario Terburuk (Zt + HHW)	Luas Genangan (km ²)		
							(Relatif Sea Level)	Worst Skenario (RSL+H HW)	Total
	2009	120	61.55	65.90					
1	2010	132	61.62	66.69	96.01	162.70	31.45	92.78	124.23
2	2015	192	61.98	70.68	96.77	167.45	33.83	93.17	127.00
3	2020	252	62.34	74.71	97.32	172.03	37.03	93.06	130.09
4	2025	312	62.70	78.79	97.75	176.54	41.03	91.28	132.31
5	2030	372	63.06	82.94	98.10	181.04	41.71	92.98	134.68
6	2035	432	63.42	87.15	98.41	185.55	48.23	89.38	137.62
7	2040	492	63.78	91.43	98.67	190.10	54.03	86.03	140.06
8	2045	552	64.14	95.78	98.90	194.68	55.44	87.49	142.93
9	2050	612	64.50	100.21	99.11	199.32	58.97	86.83	145.80

Sumber : *Perhitungan, 2010*

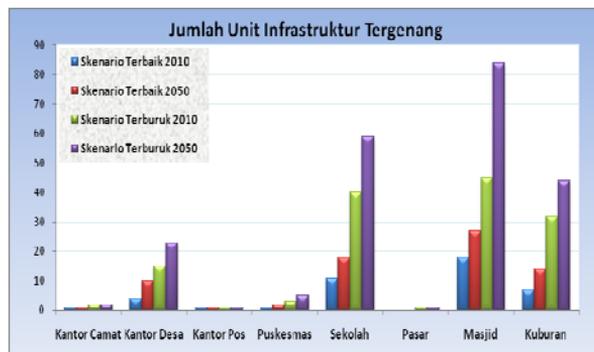
Besarnya kerentanan pesisir dipengaruhi oleh kerentanan fisik dan juga kerentanan sosial-ekonomi masyarakat setempat. Kerentanan sosial-ekonomi masyarakat merupakan representasi kondisi penduduk pesisir dalam menghadapi potensi penggenangan oleh naiknya muka laut. Kerentanan fisik pesisir merupakan representasi dari pengaruh kondisi alam terkait dengan penggenangan oleh naiknya muka laut. Sebagaimana dijelaskan pada halaman sebelumnya, hasil akhir dari dua variabel kerentanan pesisir mempunyai satuan unit analisis yang berbeda. Variabel kerentanan fisik pesisir mempunyai batas analisis berupa batas yang abstrak, sedangkan variabel kerentanan sosial-ekonomi mempunyai batas analisis berupa wilayah administrasi desa. Untuk dapat melakukan analisis kedua variabel tersebut, maka dilakukan reduksi terhadap kerentanan fisik. Hasil akhir dari perhitungan masing-masing parameter kerentanan fisik dan kerentanan sosial-ekonomi pesisir ditunjukkan dalam Gambar 8 .

Proses tumpang-susun antara peta tingkat kerentanan pesisir dengan peta tingkat genangan akan menghasilkan peta potensi risiko genangan. Hasil proses tumpang-susun kedua peta tersebut menunjukkan bahwa tidak semua wilayah administrasi mengalami luas genangan yang sama. Dengan dua skenario yang berbeda, maka tingkat kerentanan yang dihasilkan juga akan berbeda. Semakin luas genangan yang terjadi maka tingkat kerentanan juga akan semakin tinggi. Sehingga dalam hal ini keberadaan banjir genangan digunakan sebagai pembatas wilayah yang berisiko dan wilayah yang tidak berisiko.

Tingkat risiko menurut jenis skenario yang berbeda dalam tahun yang berlainan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan jumlah wilayah dan tingkat risiko yang dialami oleh wilayah-wilayah tersebut. Skenario tersebut juga menunjukkan adanya beberapa wilayah yang secara terus menerus termasuk dalam kategori risiko tinggi, baik pada kondisi terbaik maupun kondisi terburuk sehingga wilayah tersebut perlu perhatian yang lebih intensif terkait dengan penggenangan pesisir. Distribusi tingkat risiko penggenangan menunjukkan bahwa terdapat 5 (lima) desa yang secara terus menerus mengalami risiko yang tinggi terhadap penggenangan yaitu Desa Betahwalang di Kecamatan Bonang; Desa Purwosari, Pilangsari dan Sriwulan di Kecamatan Sayung; serta Desa Wedung di Kecamatan Wedung. Distribusi tingkat risiko menggunakan skenario kenaikan muka laut tahun 2010 dan tahun 2050 disajikan dalam Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Tingkat risiko berdasarkan kenaikan muka laut tahun 2010 s/d 2050 dalam skenario terbaik dan terburuk



Gambar 9. Grafik dampak potensi banjir genangan terhadap infrastruktur

Dampak banjir oleh skenario kenaikan muka laut tersebut juga berpotensi membahayakan infrastruktur yang terkena genangan. Semakin tinggi kenaikan muka laut, maka potensi genangan yang terjadi juga akan semakin luas dan mencapai jarak yang jauh dari pantai sehingga dapat membahayakan infrastruktur yang telah dibangun di daerah genangan. Berdasarkan hasil tumpang-susun peta proyeksi kenaikan muka laut dengan infrastruktur dapat diketahui bahwa bertambahnya intensitas kenaikan muka laut akan mengakibatkan dampak yang lebih parah. Infrastruktur yang terkena dampak genangan biasanya terdapat pada wilayah-wilayah dengan elevasi lahan yang rendah. Sejumlah infrastruktur yang dibangun di atas lahan yang lebih tinggi dari proyeksi kenaikan muka laut cenderung lebih aman, meskipun lokasinya lebih dekat dengan pantai. Jumlah infrastruktur yang terkena dampak potensi banjir genangan disajikan dalam Gambar 11 .

Berdasarkan populasi infrastruktur yang terkena dampak, jenis infrastruktur tersebut dapat dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu infrastruktur populasi tinggi dan infrastruktur populasi rendah. Infrastruktur populasi tinggi adalah jenis infrastruktur dengan jumlah kuantitatif yang banyak dalam suatu luasan wilayah tertentu, seperti kantor desa, sekolah, masjid dan kuburan. Infrastruktur populasi rendah adalah jenis infrastruktur yang keberadaannya dalam suatu luasan wilayah tertentu secara kuantitatif lebih sedikit, seperti kantor camat, kantor pos, puskesmas dan pasar.

Jumlah infrastruktur yang terkena dampak pada tahun yang sama dalam dua skenario yang berbeda (terbaik dan terburuk) cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah infrastruktur yang terkena dampak genangan juga dialami pada skenario yang sama dalam tahun yang berbeda. Kedua model perhitungan di atas menunjukkan bahwa jumlah infrastruktur populasi rendah cenderung tidak berubah karena angka tersebut merupakan angka maksimal. Berbeda halnya dengan infrastruktur dengan populasi tinggi, jenis ini mempunyai potensi yang lebih besar dan cenderung bertambah dari berbagai skenario yang dibuat. Jenis infrastruktur populasi tinggi yang berpotensi terkena dampak paling banyak adalah masjid, kemudian sekolah, kuburan dan kantor desa.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan adanya kenaikan muka laut statis dan muka laut relatif, dengan nilai masing masing 0,72 mm/tahun dan 7,9 mm/tahun. Hasil perhitungan proyeksi muka laut menunjukkan meningkatnya kenaikan

muka laut dan dinamika pasang surut. Luas genangan berdasarkan skenario terbaik (Rerata Muka Laut) dan skenario terburuk (Air Tinggi Tertinggi) menunjukkan peningkatan masing-masing 0,69 % dan 0,54 %. Terdapat 5 desa yang secara terus menerus sebagian wilayahnya mengalami banjir penggenangan pasang surut dan jumlahnya akan semakin bertambah menjadi 16 desa jika terjadi kondisi pasang yang tinggi. Proyeksi kenaikan muka laut hingga tahun 2050 menunjukkan adanya peningkatan kenaikan muka laut statis dan kenaikan muka laut relatif yang menyebabkan banjir genangan yang terus meningkat setiap tahun.

Perhitungan tingkat kerentanan pesisir menunjukkan 10 desa termasuk dalam tingkat kerentanan sangat tinggi, 12 desa termasuk dalam tingkat kerentanan tinggi, 47 desa termasuk dalam tingkat kerentanan sedang, 5 desa termasuk dalam tingkat kerentanan rendah dan 21 desa termasuk dalam tingkat kerentanan sangat rendah.

Berdasarkan perhitungan tingkat risiko penggenangan diketahui adanya penambahan jumlah desa yang meningkat tingkat risikonya, baik perhitungan yang didasarkan perbandingan antar tahun maupun antar skenario. Jumlah infrastruktur yang terkena banjir genangan juga mengalami peningkatan jumlah, baik perhitungan yang didasarkan perbandingan antar tahun maupun antar skenario. Dengan demikian, berdasarkan perhitungan proyeksi kenaikan muka laut relatif tersebut diprediksikan akan terjadi peningkatan dampak risiko terhadap jumlah wilayah dan infrastruktur yang ada di wilayah tersebut. Lima wilayah yang paling berisiko merupakan desa-desa yang perlu mendapatkan perhatian yang serius dari awal terkait potensi risiko banjir laut yang disebabkan oleh kenaikan muka laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonym, 2007, *Undang-Undang RI No.24/2007 tentang Penanggulangan Bencana*, Unduhan dari: www.bappenas.go.id.
- Environmental Systems Research Institute, 2009, *Manual ArcGIS 9.3*, Environmental Systems Research Institute (ESRI) Publishing, New York 308 Redland.
- Harinaldi, 2005, *Prinsip-prinsip Statistik Untuk Sains dan Teknologi*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Unduhan dari: <http://www.ipcc.no/>.
- Jawatan Hidro-Oseanografi, 2008, *Laporan Survei dan Pemetaan Hidro-Oseanografi Semarang*, Jawatan Hidro-Oseanografi, Jakarta.
- Marfai, M.A, dan King, L, 2008, *Coastal Flood Management in Semarang, Indonesia*, SpringerLink, Int J Geogr Environ Geol DOI 10.1007/s00254-007-1101-3.
- Nelson, S.A, 2009, *Natural Disasters*, Tulane University, Ohio
- New South Wales Government, 1990, *NSW Coastline Management Manual*, New South Wales Government, ISBN 0730575063.
- Prahasta. E, 2000, *Model Permukaan Dijital*, Penerbit Informatika, Bandung
- Prihastomo, H, 2008, Pemanfaatan Citra Landsat 7 ETM+ dan Sistem Informasi Geografis untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Tambak Bandeng (Kasus : Wilayah Pesisir Kabupaten Demak), *Skripsi*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Srivastav, S.K, 2001, *Managing Natural Disasters in Coastal Areas - An Overview*, India Meteorological Department.
- Sutrisno, D, 2005, *Pemodelan Kerentanan Pulau - Pulau Kecil Terhadap Kenaikan Muka Laut*, Pusat Survei Sumberdaya Alam Laut – Bakosurtanal, Bogor.
- Titus. J.G dan Richman. C, 2000, *Maps of Lands Vulnerable to Sea Level Rise: Modeled Elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts*, Climate Research Press.