

PEMODELAN GENANGAN KENAIKAN MUKA AIR LAUT (SEA LEVEL RISE) MENGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DI WILAYAH PESISIR SELAT MADURA

Yulio Ardiansyah¹, Achmad Fachruddin Syah¹, Zainul Hidayah¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Trunojoyo Madura, Jalan Raya Telang
PO BOX 2 Kamal, Bangkalan-Madura
Email: ardiandian.yulio@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan suhu akibat terjadinya global warming diprediksi akan memberikan dampak kenaikan muka air laut di wilayah pesisir Selat Madura. Oleh karena itu maka, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kenaikan muka air laut dan dampaknya di wilayah pesisir Selat Madura dan sekitarnya. Data digital elevasi model dan garis pantai yang diturunkan dari penginderaan jauh serta data pasang surut yang diolah dengan menggunakan least square method digunakan untuk menganalisa kenaikan muka air laut. Nilai kenaikan muka air laut tersebut kemudian digunakan untuk menduga daerah genangan untuk 50 tahun ke depan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rata-rata kenaikan muka air laut yang terjadi sebesar 1,2 cm per tahun. Hal ini membawa konsekuensi bahwa pada 50 tahun mendatang Kabupaten Sampang akan mengalami genangan yang paling parah (3,476.54 Ha) disusul oleh Kabupaten Sumenep (1,926.45 Ha) dan Kabupaten Pamekasan (782.04 Ha). Sedangkan land use yang paling banyak mengalami genangan adalah tambak (19.101,76 ha) disusul sawah irigasi (3.575,49 ha) dan pemukiman (2.535.06 ha). Kecenderungan yang diproyeksikan ini akan memiliki konsekuensi sosio-ekonomi yang mungkin berguna untuk merancang strategi pengelolaan wilayah pesisir Selat Madura akibat global warming.

Kata kunci : *Selat Madura, Kenaikan muka air laut, Pemodelan, Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis.*

PENDAHULUAN

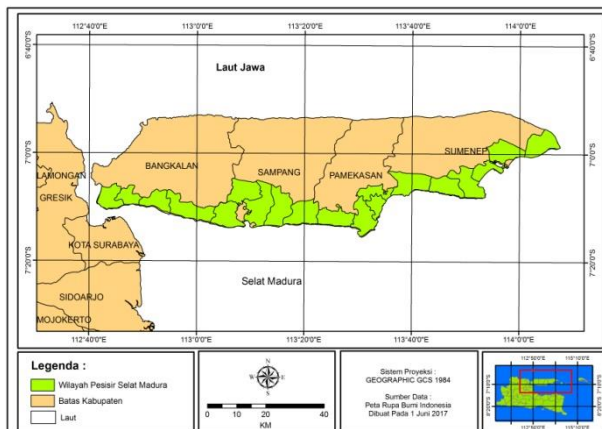
Pemanasan global (*global warming*) akan berdampak terhadap meningkatnya suhu permukaan bumi, kenaikan permukaan air laut (*sea level rise*) dan presipitasi (Jusmy, 2011). Berdasarkan laporan IPCC (*International Panel on Climate Change*) rata-rata suhu permukaan global akan meningkat 0,3 - 0,6°C sejak akhir abad 19 dan sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar 1,4 - 5,8°C (Andre, 2013). Naiknya suhu permukaan bumi menyebabkan mencairnya es di kutub utara dan selatan bumi sehingga terjadilah kenaikan muka laut (*sea level rise*). Diperkirakan dari tahun 1999 – 2100 mendatang akan terjadi kenaikan muka air laut sekitar 1,4 – 5,8 meter (Brink, 2011). Hal ini tentunya akan berdampak terhadap wilayah pesisir baik itu secara fisik, ekologis, sosio-ekonomis dan kelembagaan.

Wilayah pesisir merupakan wilayah yang sangat dinamis dan rentan terhadap dampak aktivitas manusia dan alam, salah satunya yaitu terjadinya genangan air laut akibat dari naiknya muka air laut (Prayogo, 2016). Sebagai wilayah yang rentan terhadap terjadi perubahan lingkungan, daerah-daerah di wilayah pesisir Selat Madura diduga juga akan mengalami dampak pemanasan global (*global warming*) yaitu akan mengalami genangan akibat terjadinya kenaikan muka air laut. Oleh karena itu, memahami besarnya kenaikan muka air laut yang terjadi dan juga dampaknya di wilayah pesisir Selat Madura merupakan hal yang penting untuk dilakukan.

MATERI DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir sisi selatan Pulau Madura yang berhubungan langsung dengan Selat Madura yang secara geografis berada pada koordinat 112°41'36,886"- 114°6'37,059" BT dan 7°9'1,519" - 6°57'17,493" LS. Sebagai perairan yang dangkal dan semi tertutup, hanya sisi timur Selat Madura yang berhubungan langsung dengan perairan lainnya seperti Laut Bali, Selat Bali dan Laut Jawa (Bintaro, 2005). Sedangkan sisi utara berhubungan dengan Pulau Madura, serta sisi barat dan sisi selatan berhubungan dengan Pulau Jawa.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan kabupaten-kabupaten yang ada di sekitarnya

Alat dan Bahan

Alat, software, dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Alat dan software yang digunakan.

No	Alat	Kegunaan
1.	Seperangkat Hardware laptop	Menginput, menyimpan, dan mengolah data
2.	ArcGIS 9.3	Software identifikasi dan membuat peta
3.	GPS (<i>Global Positioning System</i>)	Penentuan posisi lapang dan tracking
4.	Global Mapper	Mengkonversi tipe file pada peta
5.	Google Earth	Mengidentifikasi penampangan lokasi penelitian dengan resolusi yang tinggi
6.	Envi 4.5	Klasifikasi Penggunaan Lahan

Tabel 1. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Bahan	Kegunaan	Sumber Data
1.	Data DEM (<i>Digital Elevasi Model</i>)	Digunakan untuk mendapatkan nilai topografi/ ketinggian daratan	https://earthexplorer.usgs.gov/
2.	Citra Landsat (Resolusi 30 Meter)	Untuk identifikasi kenaikan muka air laut (<i>Sea Level Rise</i>)	https://earthexplorer.usgs.gov/
3.	Citra SRTM (Resolusi 30 Meter)	Input Data DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/

4.	Data Pasang Surut	Digunakan untuk memprediksi kenaikan muka air laut akibat pasang surut	untuk tides.big.go.id
5.	Peta Lereng/ Slope	Digunakan untuk mengetahui kemiringan lokasi penelitian	https://earthexplorer.usgs.gov/
6.	Peta RBI	Digunakan untuk analisa kenaikan muka air laut pada daerah yang diteliti yang disajikan dalam bentuk peta	http://tanahair.indonesia.go.id
7.	Garis Pantai	Digunakan untuk titik acuan terluar pada daratan	https://earthexplorer.usgs.gov/
8.	Peta Penggunaan Lahan (<i>Land Use</i>)	Digunakan Untuk Mengetahui Penggunaan Lahan di Daerah Penelitian	Sekunder

Tahapan Pengolahan Data

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan-tahapan pengolahan data diantaranya yaitu: pengolahan data pasang surut, pengolahan data citra digital, penyusunan peta tematik, penyusunan basis data dan terakhir yaitu pemodelan genangan akibat naiknya muka air laut dengan menggunakan *software* ArcGIS.

Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut diperlukan untuk mengetahui kenaikan muka air laut pada tiap periode. Data pasang surut diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) atau dari web <http://tides.big.go.id/>. Data yang digunakan adalah data pasang surut selama 5 tahun terakhir (2012 - 2016), selanjutnya data tersebut diolah menggunakan metode *Least Square*. Nilai kenaikan muka air laut ini kemudian dijadikan sebagai patokan untuk memprediksi kenaikan muka air laut pada 50.

Pengolahan Garis Pantai

Pada proses pengolahan garis pantai ini menggunakan citra satelit yang mempunyai resolusi sama dengan data DEM yaitu Landsat 8, hal ini dilakukan untuk mendapatkan kesamaan garis yang akan dibentuk. Pengolahan tersebut dilakukan dengan cara digitasi manual menggunakan *software* ArcGis sesuai kenampakannya pada citra satelit yang digunakan. Tujuan pengolahan garis pantai adalah untuk mengetahui jarak kenaikan permukaan air laut dari garis pantai sehingga dapat diketahui luasan genangan ataupun luasan daratan yang hilang akibat kenaikan permukaan air tersebut.

Pengolahan Peta DEM dan Peta Lereng

Pada proses pengolahan ini peta lereng dapat di peroleh dari data DEM (*Digital Elevation Model*) pada citra SRTM dengan resolusi 30 meter pada setiap pixelnya. Citra SRTM tersebut di ambil yang paling baru atau yang paling mendekati dengan waktu penelitian. Setelah diperoleh citra SRTM selanjutnya data diolah menjadi peta lereng. Dari hasil pengolahan data tersebut akan didapatkan data ketinggian dan kemiringan. Menurut Holil (2012) daerah yang lebih tinggi merupakan daerah yang lebih aman, sedangkan daerah yang rendah dan tergenang air saat kenaikan muka air laut (*sea level rise*), merupakan daerah yang rawan atau tidak aman.

Pengolahan Data dan Pemodelan Genangan

Dalam tahapan ini, basis data yang disusun adalah sebagai berikut:

1. Peta Administrasi.
2. Peta Lereng / *Slope* (di dapat dari peta DEM)
3. Peta DEM
4. Peta Garis Pantai
5. Peta Penggunaan Lahan (*Land Use*)

Pemodelan genangan kenaikan muka air laut (*sea level rise*) mengacu pada model yang dikembangkan oleh Mc.Saveney dan Rettenbury (2000) dalam Prayogo (2016) dengan *variable* penyusun yaitu skenario ketinggian genangan kenaikan muka air laut (*sea level rise*), koefisien kekasaran dan data lereng. Untuk mengetahui daerah yang akan tergenang dilakukan analisa DEM. Berdasarkan pada nilai ketinggian yang dimiliki oleh DEM tersebut jika nilai pada DEM lebih kecil dari nilai ketinggian kenaikan air maka daerah tersebut akan tergenang (Suhelmi 2009). Untuk mengetahui daerah yang tergenang digunakan model atau persamaan yang diperkenalkan oleh Ridho (2009):

$$DEM_i = DEM(Tahun) - (SLR \times (t_i - t_o))$$

Dimana:

DEM_i : DEM daerah tergenang pada tahun i

DEM (Tahun) : DEM pada tahun yang digunakan

SLR : Kenaikan muka air laut

t_i : Tahun yang akan diamati

t_o : Tahun awal pengamatan

Penggunaan Lahan

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan penggunaan lahan atau penutupan lahan yaitu *maximum likelihood*. Menurut Isfandiary (2012), Sistem klasifikasi ini pada dasarnya merupakan pengelompokan pixel berdasarkan nilai pantulannya sesuai dengan daerah contoh yang dipilih, klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi terkontrol (*maximum likelihood*) yang didasari oleh pemasukan contoh nilai spektral objek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Peta Digital dan Citra Satelit Penggunaan Lahan (*Land Use*)

Tutupan lahan adalah kenampakan material fisik permukaan bumi. Tutupan lahan dapat menggambarkan keterkaitan antara proses alami dan proses sosial. Tutupan lahan dapat menyediakan informasi yang sangat penting untuk keperluan pemodelan serta untuk memahami fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi (Liang, 2008). Sedangkan penggunaan lahan termasuk dalam komponen sosial budaya karena penggunaan lahan mencerminkan hasil kegiatan manusia atas lahan serta statusnya (Bakosurtanal, 2007).

Untuk mendapatkan peta penggunaan atau penutupan lahan terlebih dahulu perlu dilakukan pengkelasan atau klasifikasi lahan. Menurut Prayogo (2016) klasifikasi ialah menetapkan objek-objek kenampakan atau unit menjadi kumpulan di dalam suatu sistem pengelompokan yang dilakukan berdasarkan kandungan isinya. Fungsi utama dari kumpulan yang kompleks menjadi kelompok-kelompok (disebut kelas, kategori) yang dapat diperlukan sebagai unit yang seragam untuk keperluan khusus. Tahapan klasifikasi

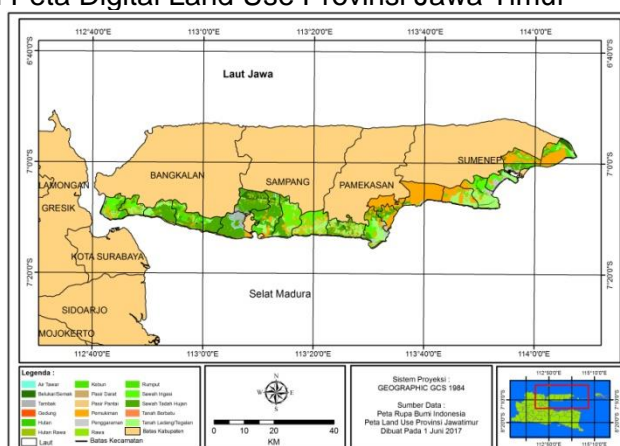
adalah mengenali, menentukan letak, dan melakukan pengelompokan obyek menjadi kelas-kelas tertentu yang didasarkan pada kesamaan nilai spektral setiap pixel (Prayogo, 2016).

Luasan tutupan lahan pada tiap *land use* yang ada di Selat Madura disajikan dalam Tabel 3. Secara keseluruhan daerah pemukiman (30%) dan sawah irigasi merupakan daerah terluas kedua dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya dengan persen tutupan 26%. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan peta penggunaan lahan (*land use*) di pesisir Selat Madura.

Tabel 3. Luas Tutupan Lahan

No	Keterangan	Luas Ha
1	Air Tawar	1,848.51
2	Belukar/Semak	3,348.52
3	Tambak	2,449.67
4	Gedung	33.67
5	Hutan	347.26
6	Hutan Rawa	550.66
7	Kebun	6,963.41
8	Pasir Darat	25.05
9	Pasir Pantai	192.85
10	Pemukiman	34,977.66
11	Penggaraman	2,594.82
12	Rawa	648.44
13	Rumput	1,310.20
14	Sawah Irigasi	12,469.78
15	Sawah Tadah Hujan	30,629.32
16	Tanah Berbatu	5.54
17	Tanah Ladang/Tegalan	19,869.50

Sumber : Pengolahan Peta Digital Land Use Provinsi Jawa Timur

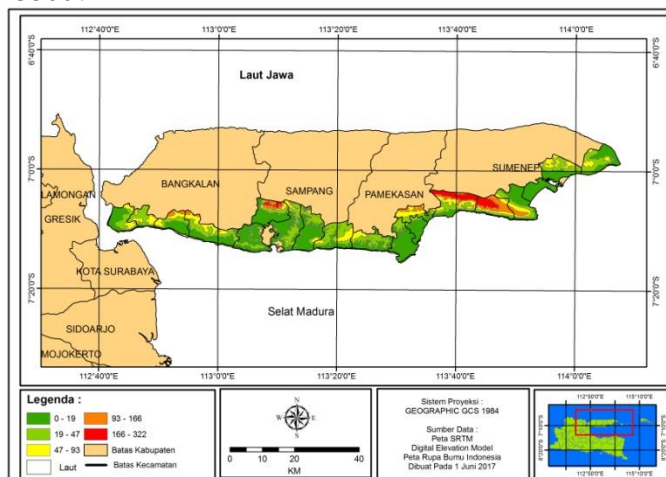


Gambar 2. Peta Penutupan atau Penggunaan Lahan (*Land Use*)

Digital Elevation Model (DEM)

Digital elevation model (DEM) merupakan suatu sistem, model, metode, dan alat dalam mengumpulkan, processing, dan penyajian informasi medan. Susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan, distribusi spasial diwakili oleh nilai-nilai pada sistem koordinat horisontal X Y dan karakteristik medan diwakili oleh ketinggian medan dalam sistem koordinat Z (Doyle, 1991). DEM digunakan untuk menggambarkan relief suatu

wilayah. Gambaran model relief rupa bumi tiga dimensi (3-Dimensi) yang menyerupai keadaan sebenarnya di dunia nyata (*real world*) divisualisaikan dengan bantuan teknologi komputer grafis dan teknologi virtual reality (Mogal, 1993). Data ketinggian didapatkan dari Citra SRTM tahun 2013 (Gambar 4). Secara umum, wilayah di pesisir Selat Madura mempunyai ketinggian 0 – 19 meter. Tabel 4 menunjukkan ketinggian dan luas dari tiap selang ketinggian tersebut.



Gambar 3. Peta DEM wilayah Jawa Timur dan Pesisir Selat Madura.

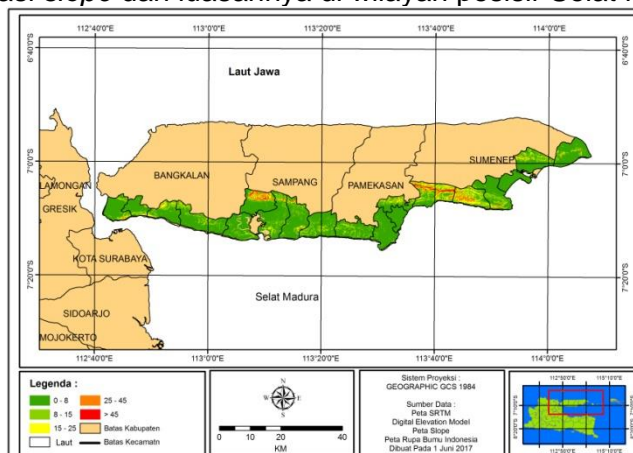
Tabel 4. Tabel Luas Daerah Berdasarkan Ketinggian di Wilayah Pesisir Selat Madura.

No	Ketinggian (m)	Luas Ha
1	0 – 19	53,433.79
2	20 – 47	34,997.83
3	48 – 93	17,509.88
4	94 – 166	6,329.67
5	167 – 322	4,222.35

Sumber : Pengolahan Peta DEM Wilayah Provinsi Jawa Timur.

Kelerengan (*Slope*)

Peta lereng/ *slope* didapatkan dari penurunan peta DEM. Peta lereng atau *slope* merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam input model genangan (Holli 2012). Dalam penelitian ini peta *slope* wilayah pesisir Selat Madura dikelaskan menjadi 5 kelas (mengacu pada Undang-Undang Tata Ruang Tahun 2013). Gambar 5 dan Tabel 5 menunjukkan klasifikasi *slope* dan luasannya di wilayah pesisir Selat Madura.



Gambar 4. Peta Slope Wilayah Pesisir Selat Madura.

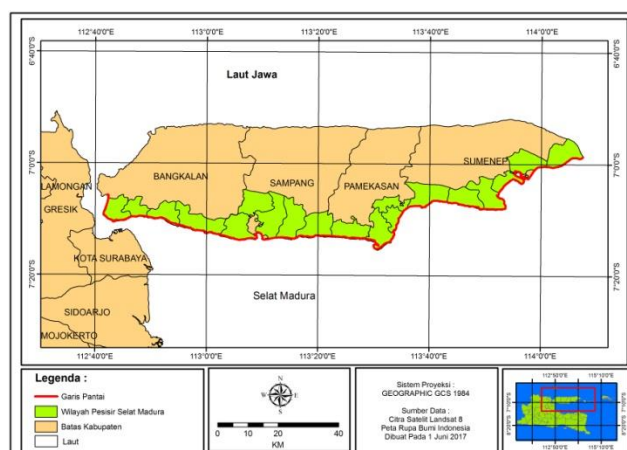
Tabel 5. Tabel klasifikasi *slope*/lereng dan luasannya di wilayah pesisir Selat Madura.

No	Lereng (%)	Relief	Luas (Ha)
1	0 - 8	Datar	84,973.13
2	8 - 15	Landai	20,926.56
3	15 - 25	Agak Curam	6,808.17
4	25 - 45	Curam	3,269.69
5	>45	Sangat Curam	845.73

Sumber : Pengolahan Data DEM.

Garis Pantai (*Beach Line*)

Hasil pengolahan garis pantai menunjukkan, bahwa pesisir Selat Madura mempunyai garis pantai sepanjang 495.64 km (Gambar 6). Data garis pantai dibutuhkan untuk menghitung jarak genangan akibat *sea level rise*. Selain garis pantai, data lain yang dibutuhkan untuk adalah data ketinggian DEM, data administrasi Wilayah, data lereng (*slope*), data penutupan lahan atau penggunaan lahan (*Land Use*)



Gambar 5. Peta Garis Pantai Wilayah Pesisir Selat Madura.

Kondisi Pasang Surut

Istilah pasang surut atau lebih dikenal dengan sebutan pasut merupakan fenomena alam mengenai permukaan perairan seperti lautan, yang berubah-ubah tunggang (*range*) dan ketinggiannya sesuai dengan perubahan posisi bulan dan matahari terhadap bumi menurut fungsi waktu (Baskoro, 2013). Pariwono (1985) mengelompokkan dua karakteristik pasang surut laut di Indonesia yaitu pasang surut tunggal mendominasi perairan Indonesia sebelah barat dan pasang surut ganda mendominasi perairan Indonesia sebelah timur.

Namun secara umum tipe pasang surut terdiri dari empat tipe yaitu ganda (*Semidiurnal*) dimana pada tipe ini terdapat dua kali pasang sehari dengan tinggi pasang dan surut yang relatif sama, campuran ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) yaitu dua kali pasang sehari dengan perbedaan tinggi dan interval yang berbeda, campuran tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*) yaitu satu atau dua kali pasang sehari dengan interval yang berbeda, dan tipe tunggal (*Diurnal*) satu kali pasang sehari saat *spring* dapat terjadi dua kali pasang sehari.

Pada penelitian ini tipe pasang surut ditentukan berdasarkan nilai *Formzahl*. Hasil menunjukkan bahwa nilai *formzahl* di wilayah Selat Madura sebesar 1.11 ($0,25 < F < 1,5$), yang berarti bahwa tipe pasang surut di lokasi penelitian semidiurnal (harian ganda) yang

artinya terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut yang terjadi secara berurutan dan teratur. Sedangkan nilai *mean sea level* yang diperoleh sebesar 1.2 cm/tahun. Nilai rata-rata *sea level rise* ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk memprediksi *sea level rise* untuk 50 dan 100 tahun ke depan.

Tabel 6. Tabel Perhitungan *Least Square*.

Symbol	Elev.	HHWL	MHWL	MSL	MLWL	CDL	LLWL	LAT
HHWL	1,2	0	0,3	1,2	2,1	2,2	2,4	2,5
MHWL	0,9	-0,3	0	0,9	1,8	1,9	2,1	2,2
MSL	0	-1,2	-0,9	0	0,9	1	1,2	1,3
MLWL	-0,9	-2,1	-1,8	-0,9	0	0,1	0,3	0,4
CDL	-1	-2,2	-1,9	-1	-0,1	0	0,2	0,3
LLWL	-1,2	-2,4	-2,1	-1,2	-0,3	-0,2	0	0,1
LAT	-1,3	-2,5	-2,2	-1,3	-0,4	-0,3	-0,1	0

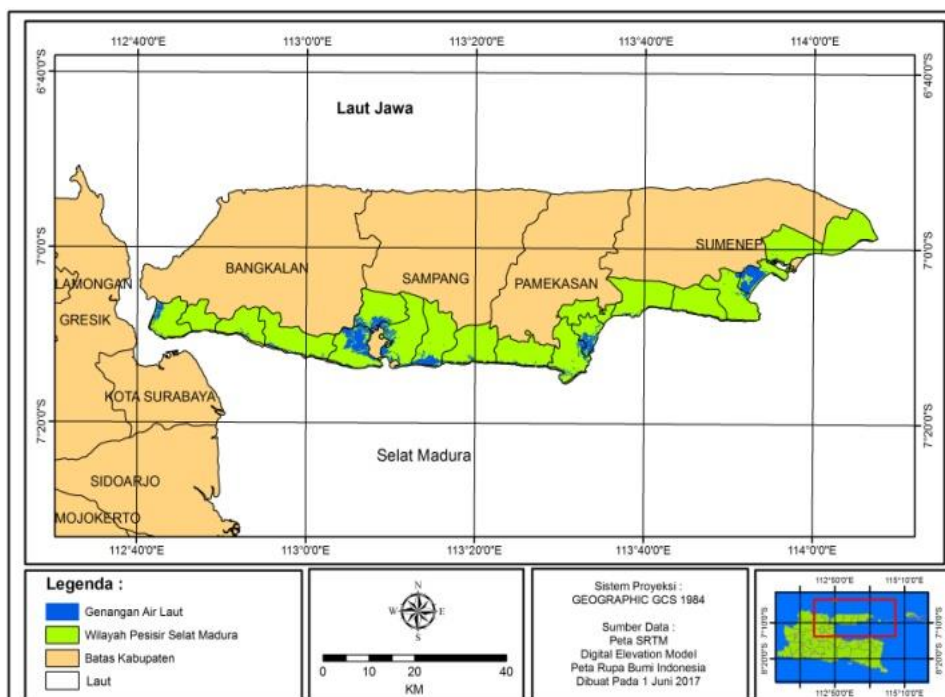
Sumber : Data Pasang Surut Bulan Mare 2015 (Diolah 2017).

Pemodelan Genangan

Berdasarkan skenario yang telah ditentukan didapatkan hasil luas genangan akibat *sea level rise* dan unsur yang tergenang tiap scenario sebagai berikut :

Model Genangan Skenario 1 (50 Tahun 0.6 m)

Hasil pengolahan pemodelan genangan (skenario 1) akibat kenaikan muka air laut menunjukkan bahwa seluruh kabupaten di Madura akan mengalami genangan dengan tingkat genangan paling besar terjadi di Kabupaten Sampang (Gambar 6). Tabel 7 dan tabel 8 menunjukkan lebih detail tentang luasan genangan yang terjadi di seluruh kabupaten yang ada di Madura.



Gambar 6. Model Genangan Akibat *Sea Level Rise* di Pesisir Selat Madura (skenario 1)

Tabel 7. Luas genangan tiap Kabupaten pada skenario 1

No	Kabupaten	Luas (Ha)
1	Bangkalan	401.96
2	Pamekasan	781.95
3	Sampang	3,472.82
4	Sumenep	1,739.35

Sumber : Hasil Pengolahan data Genangan 50 Tahun.

Tabel 8. Luas Genangan Tiap Penggunaan Lahan

No	Unsur	Luas (Ha)
1	Air Tawar	241.26
2	Belukar/Semak	28.01
3	Tambak	1,073.03
4	Gedung	2.08
5	Hutan	0
6	Hutan Rawa	55.13
7	Kebun	10.87
8	Pasir Darat	3.81
9	Pasir Pantai	5.24
10	Pemukiman	594.06
11	Penggaraman	842.95
12	Rawa	161.52
13	Rumput	273.94
14	Sawah Irigasi	1,280.66
15	Sawah Tadah Hujan	1,574.89
16	Tanah Berbatu	0
17	Tanah Ladang/Tegalan	248.63

Sumber : Hasil Pengolahan data Genangan 50 Tahun.

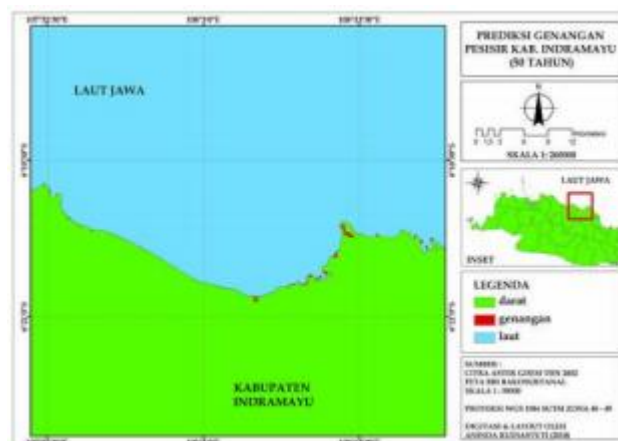
Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa wilayah yang paling besar terkena dampak dari kenaikan muka air laut adalah Kabupaten Sampang, sedangkan untuk *Land Use* yang paling banyak tergenang adalah Sawah Tadah Hujan. Hal ini dikarenakan Kabupaten sampang merupakan kabupaten dengan dataran rendah dan sering terjadi banjir ROB di Wilayah Pesisir tepatnya di Kecamatan Sereseh dan Torjun.

Syah (2013), menjelaskan bahwa ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan suatu daerah itu mudah untuk mengalami genangan akibat *sea level rise* diantaranya seperti pertambahan, tanah yang landai, substrat pasir yang dapat mudah tergerus dan cepat membentuk genangan serta tipisnya mangrove sebagai pelindung pantai alami yang ada di wilayah tersebut. Gambar 7 Menunjukkan contoh lokasi-lokasi yang rawan untuk mengalami genangan



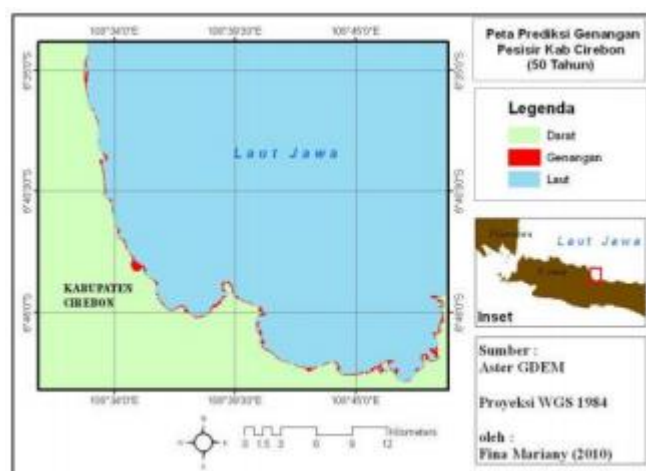
Gambar 7. Lokasi yang rawan mengalami genangan akibat *sea level rise*.

Genangan akibat naiknya muka air laut di wilayah pesisir, bukan hanya terjadi di wilayah pesisir Bangkalan. Hampir di seluruh wilayah pesisir akan mengalami genangan seperti yang terjadi di Indramayu dan Cirebon. Di wilayah Indramayu, seperti yang di laporkan oleh Rudiastuti *et al.*, (2011) akan terjadi peningkatan genangan di beberapa kecamatan seperti Cantigi, Indramayu dan Sukra. Trend kenaikan muka air laut di wilayah ini sekitar 3.8 mm/tahun. Dengan trend kenaikan muka air laut sebesar itu maka diduga akan menyebabkan genangan sebesar 44.7 ha untuk prediksi 50 tahun ke depan.



Gambar 8. Prediksi daerah genangan di Indramayu pada 50 tahun kedepan

Sedangkan di daerah Cirebon, menurut Mariany *et al.*, (2011), dengan tren kenaikan muka air laut sebesar 3.8 mm/tahun maka akan menyebabkan genangan sebesar 43.2 ha untuk 50 tahun yang akan datang. Abrasi di Pantai Grogol, sebelah utara Cirebon dapat memberikan efek atau dampak terhadap pengembangan aktivitas budidaya. Proses genangan akibat naiknya muka air laut dan abrasi dapat mengakibatkan efek pada rusaknya infrastruktur dan merugikan masyarakat yang hidup di wilayah pesisir tersebut.



Gambar 9. Prediksi daerah genangan di Cirebon pada 50 tahun kedepan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan *sea level rise* yang terjadi di Selat Madura, diprediksi semua kabupaten yang ada di Pulau Madura akan mengalami genangan dengan nilai genangan terbesar terjadi di Kabupaten Sampang. Oleh karenanya, manajemen yang baik tentang wilayah pesisir sangat diperlukan untuk mencegah dan mengurangi akibat *sea level riise*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Nanin. (2012). Pemanfaatan Data Satelit Untuk Analisis Potensi Genangan Dan Dampak Kerusakan Akibat Kenaikan Muka Air Laut. *Jurnal Penginderaan Jauh universitas Indonesia*, 9(2).
- Arini Dwi Puspa, dkk. (2014). Kajian Kerentanan Pantai Di Pesisir Kabupaten Rembang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Marine Research* Vol. 3 No. 4
- Chandra R.K dan Rima D.S. 2013. Mitigasi Bencana Banjir Rob di Jakarta Utara. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1)
- Frederic J. Doyle. (1978). Digital Terrain Model: An Overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(22) Dec. 1978, p 1481-1485
- Hamdani Hendi dkk. (2014). Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka). *Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*, 12(1)
- Haryani Nanik Suryo dkk. (2012). Model Bahaya Banjir Menggunakan Data Penginderaan Jauh Di Kabupaten Sampang. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9(1)
- Haryono dan Sri narni. (2004). Karakteristik pasang surut laut di pulau jawa. *Jurnal Teknik UGM*, 28(1)
- Ismunarti, Dwi Haryo. Dkk. (2014). Pepomodelan ARIMA Untuk Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut dan Dampaknya Terhadap Luas Sebaran ROB Tahun 2020 di Semarang. *Jurnal Statistika*, 2(2)
- Holil, Moh. (2012). Pemodelan Genangan Banjir Pasang Air Laut Di Kabupaten Sampang Menggunakan Citra Alos Dan Sitem Informasi Geografi. Seminar Nasional Kedaulatan Pangan Dan Energi. Fakultas Pertanian. Universitas Trunojoyo Madura
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., dkk. (2005). *Geographical Information Systems and Science* : 2nd Edition. West Sussex : John Wiley & Sons
- Mertens, Benoit. (1997). Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. Elsevier
- Mogal, J., (1993). "VR Technologies: Full immersion". *Iris Universe*, 25, 29-32.
- N Muhammad Dimas Aji, dkk. (2014). Identifikasi Zona Rawan Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 3(1)

- Nugraha , Arief L dan Hani'ah. (2013). Kajian Pemanfaatan DEM SRTM & GOOGLE EARTH Untuk Parameter Penilaian Potensi Kerugian Ekonomi Akibat Banjir ROB. *Jurnal Teknik*, 34(3)
- Nugroho, Septriono Hari. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut (rob) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang, Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(1)
- Nurlina, dkk. (2014). Analisis Tingkat Kerawanan Dan Mitigasi Bencana Banjir Di Kecamatan Astambul Kabupaten Banjar. *Jurnal Fisika FLUX*, 11(2)
- Oktiari Dian dan Sudomo Manurung. (2010). Model Geospasial Potensi Kerentanan Tsunami Kota Padang. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 11(2)
- Panggabean Grace Julianti dkk. (2015). Analisa Kerentanan Pantai Pulau Bengkalis Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal JOM FTEKNIK*, 2(2)
- Putuhena , Jusmy D. (2011). Perubahan Iklim dan Resiko Bencana Pada Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Seminar Nasional Pengembangan Pulau-Pulau Kecil
- Rauf M.I.A dkk. (2015). Kenaikan Muka Laut Dan Kerentanan Lingkungan Wilayah Pesisir Kabupaten Garut. *Jurnal Lingkungan*. Universitas Padjadjaran
- Ristianto. (2011). Kerentanan Wilayah Pesisir Terhadap Kenaikan Muka Air Laut. (Studi Kasus Wilayah Pesisir Utara Jawa Barat). *Tesis*. Magister Geografi Universitas Indonesia.
- Sihombing , Weny H. dkk. (2012). Kajian Kenaikan Muka Air Laut di Kawasan Pesisir Kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 1
- Sobatnu, Ferry. (2014). Pemodelan Elevasi Digital Pada Lahan Rawa. *Jurnal linteknia*, (2)
- Subiyanto Sawitri. Dkk. (2015). Analisis Ketelitian DEM ASTER GDEM, SRTM, dan LIDAR Untuk Identifikasi Area Pertanian Tebu Berdasarkan Parameter Kelerengan. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(1)
- Suhelmi, Ifan Ridlo. (2009). Pemanfaatan Digital Elevation Model dan GIS Untuk Pemodelan Kerentanan ROB di Semarang. Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IPB
- Suprpto Octavian, dkk. (2016). Analisis Kerentanan Fisik Pantai Di Pesisir Garut Selatan Jawa Barat. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 7(2).