

ANALISIS SPASIAL POTENSI BAHAYA DAERAH PANTAI TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DI PULAU BALI

SPATIAL ANALYSIS OF HAZARD POTENTIAL AT COASTAL AREA AGAINST CLIMATE CHANGE IN BALI ISLAND

Huda Bachtiar¹⁾, Franto Novico²⁾, Bagus Indrawan³⁾

¹⁾ Balai Pantai, Puslitbang-SDA, Kementerian Pekerjaan Umum

²⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), Kementerian ESDM,

³⁾ Oseanografi, Institut Teknologi Bandung

Email: huda.bachtiar@gmail.com

Diterima: 18 Juni 2012; Disetujui: 18 Oktober 2012

ABSTRAK

Pulau Bali merupakan salah satu pulau yang memiliki nilai infrastruktur dan nilai ekonomi tinggi. Namun demikian, ada potensi bahaya yang dapat mengancam infrastruktur tersebut sebagai akibat perubahan iklim. Untuk itu diperlukan informasi mengenai wilayah yang memiliki potensi bahaya cukup tinggi. Potensi bahaya dihitung berdasarkan parameter-parameter bahaya akibat perubahan iklim, diantaranya kenaikan muka air laut, kejadian ENSO, dan gelombang badai. Berdasarkan hasil simulasi pada tahun 2012, Kabupaten Buleleng merupakan wilayah yang memiliki potensi bahaya paling tinggi dengan luas area bahaya mencapai 20,67 km², sedangkan wilayah yang memiliki potensi bahaya paling rendah adalah Kabupaten Denpasar dengan luas area sekitar 3,12 km². Hasil simulasi kondisi ekstrem menunjukkan luas area potensi bahaya di Kabupaten Buleleng mencapai 32,55 km² sedangkan estimasi area yang terancam di Kabupaten Denpasar mencapai 4,51 km². Untuk simulasi jangka panjang yaitu pada tahun 2030, luas area bahaya di Kabupaten Buleleng mencapai 37,26 km². Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa luas area yang terancam bahaya tergantung pada profil topografi pantai, akumulasi parameter bahaya, dan waktu.

Kata kunci: Perubahan iklim, potensi bahaya, analisis spasial, ENSO, gelombang badai

ABSTRACT

Recently, it was indicated that climate had become one of the most important factors that may derived economic activities. Bali island is a region of high economic value with complete infrastructures, but at the same time, it is also threatened by climate change. This study aimed to analyze spatially the hazard potential in some areas. Input of this spatial simulation consisted of DEM data and ocean hazard parameters (sea level rise and temperature projection, ENSO event, and storm surge). Based on simulation results, scenario 1 showed that in 2012, Kabupaten Buleleng had indicated widest area with Hazard Potential Level (HPL) value up to 20.67 km², whereas lowest HPL was encountered in Kabupaten Denpasar of around 3.12 km². Scenario 3, as an extreme condition, showed that in 2012, HPL in Buleleng may reach up to 32.55 km². In addition, hazard potentials corresponding to time may also enhance the HPL value. Proven by the increase of HPL value in 2030 is that the HPL in Kabupaten Buleleng would increase up to 37.26 km². The extend of threat by climate change will depend on the topographic profile, accumulation of hazard parameters, as well as hazard parameters corresponding to time.

Keywords: Climate change, hazard potential, spatial analysis, ENSO, storm tide

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki jumlah pulau sekitar 17.508 buah. Dari seluruh pulau tersebut, lima pulau terbesar yaitu Pulau Jawa, Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan, Pulau Sulawesi, dan Pulau Papua merupakan

tempat tinggal sebagian besar rakyat Indonesia. Selain ke lima pulau besar tersebut, Indonesia masih memiliki Pulau Bali yang merupakan pulau yang sangat terkenal tidak hanya di Indonesia namun juga di manca negara. Hal tersebut terjadi karena Pulau Bali memiliki pantai yang sangat indah yang menjadi daya tarik wisatawan untuk

datang menikmati. Pulau Bali sebagai daerah penyumbang devisa negara terbesar di sektor pariwisata perlu dipelihara dan dijaga akan kelangsungan alamnya khususnya daerah pantai sehingga roda perekonomian masyarakat setempat akan terus berjalan dengan baik.

Isu perubahan iklim dan kenaikan muka air laut menjadi perbincangan yang hangat beberapa dekade terakhir, tidak hanya bagi negara yang memiliki pantai namun juga negara di dunia secara umum. Perubahan suhu yang terus meningkat menyebabkan pencairan es di kutub yang cukup besar sehingga mengakibatkan kenaikan muka air laut. Selain itu, peningkatan suhu telah menyebabkan kejadian cuaca ekstrem, seperti bertambahnya frekuensi kejadian gelombang badai. Hal-hal tersebut ternyata tidak hanya berdampak pada perubahan elevasi air laut secara umum namun juga berpotensi buruk terhadap kondisi pantai jika kenaikan muka air dan cuaca ekstrem terjadi pada waktu yang bersamaan.

Peningkatan muka air laut akibat cuaca ekstrem dan kenaikan muka air laut itu sendiri menjadi suatu hal yang perlu dikaji sehingga dapat diperkirakan akan kelangsungan suatu daerah pantai akibat kondisi ekstrem tersebut. Abrasi-akresi, erosi-sedimentasi, dan genangan banjir di daerah pantai akibat kondisi-kondisi ekstrem tersebut perlu dianalisis sehingga akan dihasilkan suatu informasi yang berguna bagi kelangsungan, keamanan dan keselamatan masyarakat, ekosistem, infrastruktur, dan tata guna lahan di sepanjang daerah pantai tersebut.

Pada makalah ini akan dibahas mengenai potensi bahaya di daerah pantai sepanjang Pulau Bali akibat beberapa kondisi ekstrem. Yang dimaksud dengan parameter bahaya dalam makalah ini adalah parameter yang dapat menambah tinggi muka air laut, diantaranya adalah kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim, gelombang badai, gelombang angin, dan fenomena ENSO saat kejadian La Nina (Latief dan Fitriyanto, 2009).

KAJIAN PUSTAKA

1 Proyeksi kenaikan muka air laut

Kenaikan muka air laut akibat pemanasan global merupakan salah satu parameter yang memberikan kontribusi sangat signifikan di daerah pantai (Ewing, 2009). Kenaikan muka air laut dapat mempercepat laju erosi, merubah garis pantai, dan memperluas area genangan di sepanjang daerah pantai (Latief, 2010). Selain itu, ketika kenaikan muka air laut dan kenaikan temperatur laut melebihi batas normal dari kemampuan biota laut untuk beradaptasi maka dampak dari kenaikan

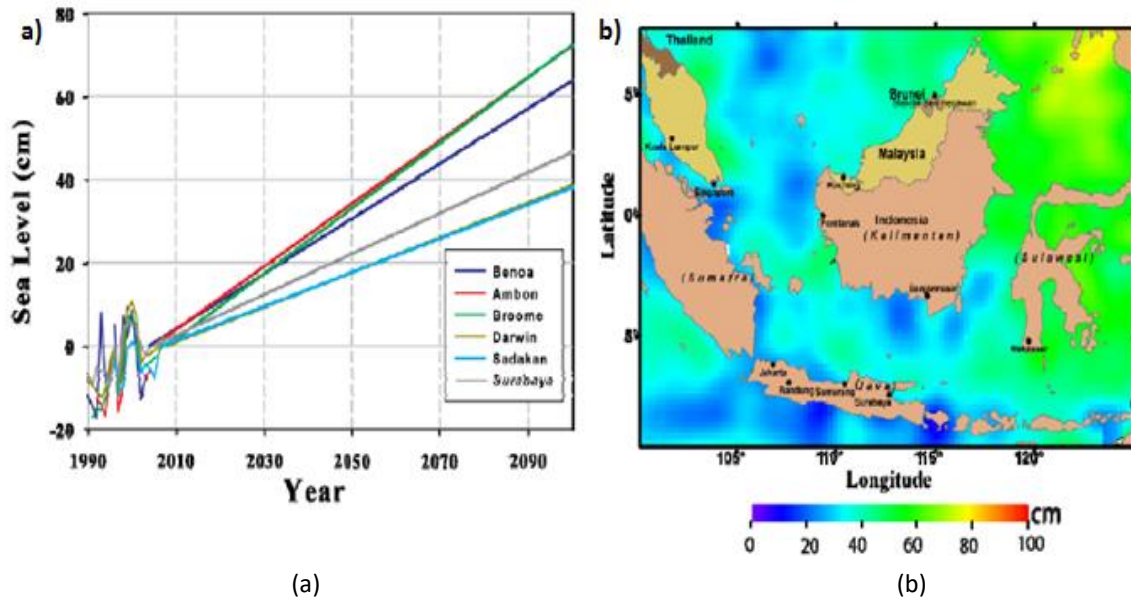
tersebut dapat merusak ekosistem laut dan ekosistem pantai (Latief, 2010).

Trend dan laju kenaikan muka air laut di Pulau Bali dihitung berdasarkan data pengamatan, pasang surut di Benoa dan data altimetri (lihat Gambar 1). Analisis hasil perhitungan berdasarkan data historis menunjukkan laju kenaikan muka air laut bervariasi antara 3,5 mm/tahun sampai 8,0 mm/tahun. Trend tersebut sesuai dengan output model IPCC grup A1 (SRESA1) yang menggunakan asumsi bahwa pada masa datang pertumbuhan ekonomi berlangsung cepat, populasi global meningkat sampai pertengahan abad 21 dan kemudian menurun dan cepatnya introduksi teknologi baru yang lebih efisien. Skenario emisi grup A1B merupakan skenario yang menekankan pada pemanfaatan teknologi energi non-fosil secara intensif (IPCC, 2007). Data muka air berdasarkan hasil skenario model IPCC-SRESa1b menunjukkan kenaikan muka air laut sampai tahun 2100 bervariasi dari 4 mm/tahun sampai 8 mm/tahun.

2 Kenaikan intensitas gelombang badai

Gelombang badai adalah gelombang tinggi yang disebabkan oleh kejadian badai, terutama badai tropis. Kejadian tersebut merupakan bencana serius di daerah pantai khususnya di zona tropis dan sub tropis, dimana salah satu dampak dari badai tropis adalah naiknya muka air ekstrem akibat angin dan tekanan dari siklon tersebut (Riandini, F. dan Bachtiar H., 2011). Gelombang badai yang dibangkitkan oleh siklon tropis di Samudera Hindia sering menghantam perairan pantai Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara Barat sehingga dapat menyebabkan potensi bahaya, seperti tergenangnya infrastruktur bangunan pantai dan rumah, relokasi masyarakat ke daerah pengungsian, terganggunya aktivitas pariwisata, dan terganggunya aktivitas ekonomi di pelabuhan (Nining, et al., 2010).

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, simulasi kerentanan terhadap kejadian *storm tide* akibat badai (Nining et al., 2010) menunjukkan tinggi maksimum di sepanjang pantai selatan Jawa, Bali, dan NTB terdapat di Nusa Kambangan (Jawa; 19,0 cm), Tuban (Bali; 14,7 cm), Teluk Gumbang (Lombok; 12,2 cm), dan Tanjung Labulawah (Sumbawa; 12,5 cm). Jarak maksimum area tergenang (R_{max}) dan tinggi run up (H) terjadi di Teluk Penanjung (Jawa; $R_{max} = 835,2$ m, $H = 0,73$ m), Tuban (Bali; $R_{max} = 623$ m, $H = 1,02$ m), Tanjung Ringgit (Lombok; $R_{max} = 1112,3$ m, $H = 1,03$ m), and Teluk Cempi (Sumbawa; $R_{max} = 4136,5$ m, $H = 1,0$ m).



(sumber: Latief, 2010)

Gambar 1 Proyeksi SLR sampai 2100 (a) data pengamatan pasang surut Benoa, (b) Distribusi SLR data altimetri

METODOLOGI

Analisis spasial dalam kajian ini dilakukan dengan cara menetapkan zona potensi bahaya. Diagram alir proses pengolahan data diperlihatkan pada Gambar 2, yang meliputi:

- 1) Penggunaan peta dasar dengan skala 1: 200.000 yang selanjutnya akan dibuat sebagai peta tematik berupa peta spasial potensi bahaya akibat kondisi ekstrem.
- 2) Analisis data akan kondisi hidro-oseanografi yang meliputi pasang surut, angin dan gelombang yang merupakan rekaman data dari beberapa instansi terkait.
- 3) Analisis data kondisi ekstrem yang berpotensi terjadi di Pulau Bali yang meliputi kenaikan muka air (*sea level rise*), *storm surge* dan *el Niño southern oscillation* (ENSO).

Seluruh data yang digunakan sebagai input pengolahan data selanjutnya dimasukkan ke dalam peta eksisting dan mulai dibuat skenario akan potensi bahaya yang mungkin terjadi. Pembuatan peta potensi bahaya pada intinya adalah menentukan kondisi berdasarkan rayapan elevasi muka air ke darat akibat skenario yang dibuat . Selanjutnya perhitungan luas area rayapan tersebut ditumpang tindihkan (*overlay*) dengan kondisi topografi daerah pantai penelitian. Hasil dari *overlay* tersebut akan dijadikan penilaian serta klasifikasi tingkat potensi bahaya yang akan

terjadi. Penilaian atau *scoring* yang dihasilkan untuk masing-masing daerah pantai akan memberikan informasi tentang tingkat kerentanan suatu daerah pantai di Pulau Bali terhadap kondisi ekstrem yang dimodelkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

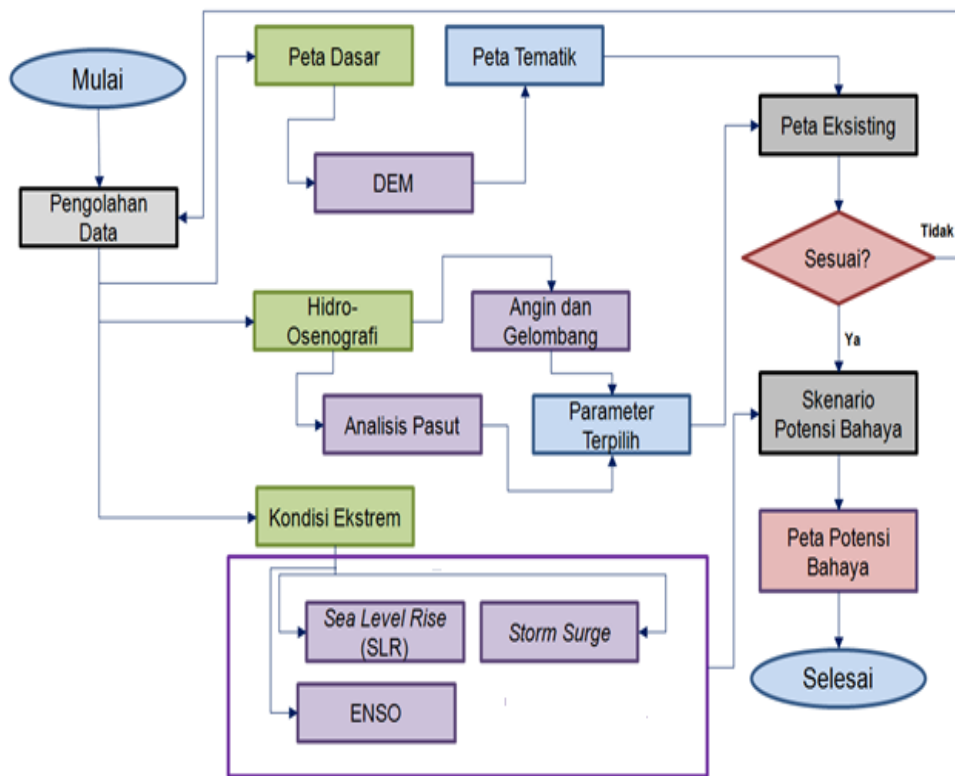
Peta dasar

Peta dasar yang digunakan dalam kajian ini adalah data elevasi spasial Pulau Bali atau dikenal sebagai data DEM (*Digital Elevation Model*). Data tersebut didapat dari GLCF (*the Global Land Cover Facility*) dengan tingkat akurasi 90 meter (lihat Gambar 3).

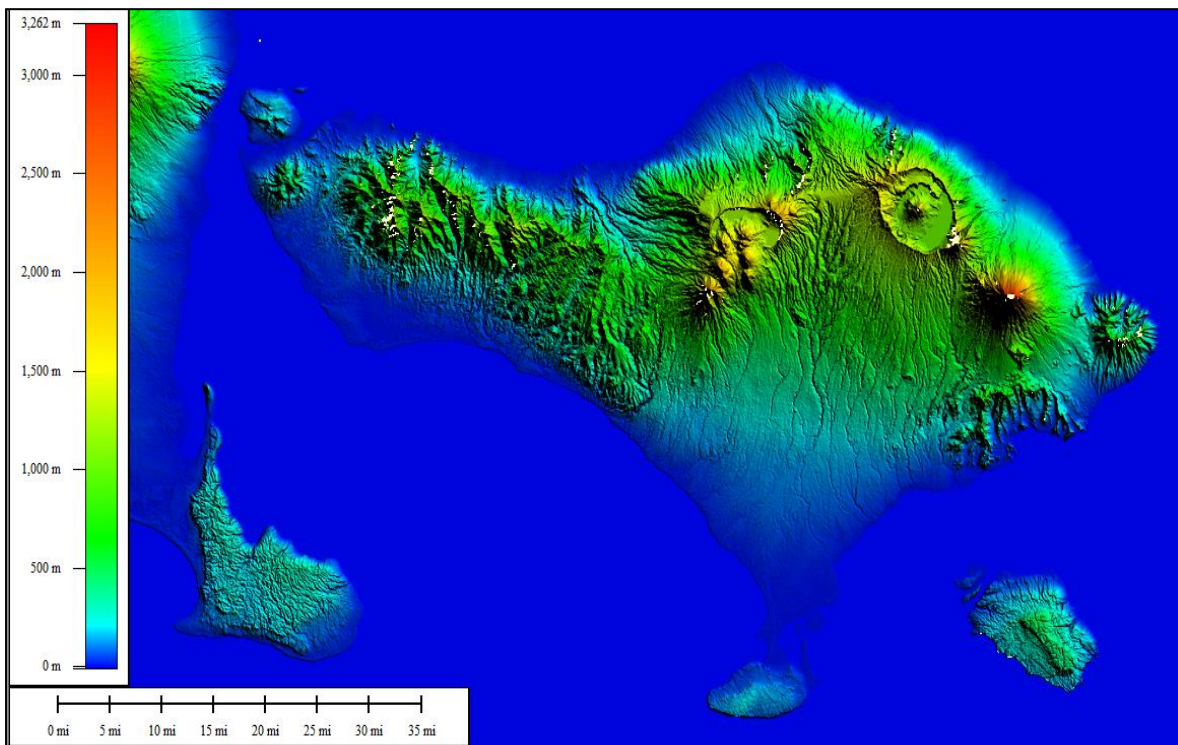
Proyeksi kenaikan temperatur

Perhitungan analisis SST (*Sea Surface Temperature*) dilakukan berdasarkan perhitungan data bulanan dari NOAA (*National Oceanography and Atmospheric Agency*) *Optimum Interpolation* (OI) version 2 (Reynolds and Smith, 1994) sebagai referensi data dari hasil simulasi model IPCC. Dari perhitungan tersebut didapat nilai SST tahun 1981-2012 sekitar 0,0272°C.

Berdasarkan hasil simulasi, kenaikan temperatur di Bali Utara dan Bali Selatan masing-masing bervariasi antara 0,0159 - 0,029 °C dan 0,0169-0,0338°C. Nilai tersebut sesuai dengan skenario IPCC SRESa1b.



Gambar 2 Diagram alir pembuatan peta potensi bahaya



(sumber: GLCF, 2012)

Gambar 3 Peta dasar Pulau Bali

Analisis anomali muka air terkait ENSO

ENSO merupakan salah satu fenomena akibat adanya interaksi atmosfer-laut di daerah tropikal pasifik (Philander 1983; Suarez dan Schopf, 1988). Variabilitas ENSO ini merupakan salah satu sumber variabilitas terbesar terhadap perubahan sistem iklim global (Rasmusson dan Carpenter, 1982; Ropelewski dan Harpelt, 1987).

Analisis anomali muka air terkait fenomena ENSO dilakukan dengan mengorelasikan anomali muka air laut dengan periode kejadian La Niña (lihat Tabel 2). Pada periode tersebut, massa kolom air panas terbawa menuju Indonesia bagian Timur akibat menguatnya Angin Timuran. Hal ini berdampak pada terjadinya penumpukkan massa air di daerah Indonesia yang kemudian dapat menaikkan level muka air laut di perairan Indonesia. Selain itu, adanya massa air bertemperatur lebih tinggi dari Pasifik Timur yang berasosiasi dengan massa air di perairan Indonesia menyebabkan massa air memuai dan meningkatkan level permukaan air pada tahun La Niña (Indrawan, 2011).

Kejadian ENSO ini dapat dideteksi dengan melihat anomali temperatur di Pasifik Tengah dan di perairan Indonesia. Pada tahun La Niña suhu permukaan laut di Pasifik mengalami penurunan dan sebaliknya di Indonesia mengalami kenaikan. Sebaliknya, ketika kondisi El Niño suhu permukaan laut di Pasifik Tengah mengalami kenaikan dan sebaliknya di Indonesia mengalami penurunan (Indrawan, 2011). Hasil perhitungan data UHSC (The University of Hawaii Sea Level Centre), anomali elevasi muka air perairan Bali pada periode La Niña menunjukkan kenaikan muka air sebesar 25 cm (lihat Gambar 4).

Gelombang angin

Analisis gelombang angin dilakukan berdasarkan hasil simulasi iklim gelombang setiap musim, yaitu pada saat Monsun Timur dan Monsun Barat. Perhitungan iklim gelombang mencakup kondisi gelombang dominan/gelombang rata-rata selama 20 tahun (1991-2011) dan kondisi gelombang ekstrem selama 28 tahun (1984-2011). Hasil simulasi menunjukkan gelombang rata-rata di Bali sekitar 0,8 meter sampai 1 meter untuk di beberapa lokasi baik Bali Selatan maupun Bali

Utara pada Monsun Barat dan Monsun Timur (lihat Gambar 5). Pada saat kondisi ekstrem, hasil simulasi menunjukkan dalam 28 tahun tinggi maksimum gelombang angin dapat mencapai 2 meter di daerah Bali Selatan dan Bali Utara (lihat Gambar 6).

Analisis pasang surut

Pasang surut merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam analisis potensi bahaya, karena besarnya suatu elevasi pasang surut di perairan dengan level tertentu akan memberikan elevasi yang signifikan ketika pasang air tertinggi diakumulasikan dengan fenomena lain di laut. Analisis pasang surut dilakukan dengan melakukan pengukuran muka air selama 17 hari, yaitu pada tanggal 20 Januari-5 Februari 2011 (lihat Gambar 7). Pengukuran tersebut dilakukan untuk memperoleh karakteristik pasang surut pada saat kondisi pasut purnama dan pasut perbani di Tanjung Bena, Bali. Hasil pengukuran tersebut dijadikan sebagai referensi dalam analisis pasang surut dalam kajian analisis spasial ini.

Hasil analisis pasang surut menunjukkan karakteristik pasang surut di Tanjung Bena cenderung semidiurnal hal ini berdasarkan perhitungan nilai Formzal sebesar 0,54, terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari. Nilai pasang air tertinggi (HHWL) sebesar 3,796 m dan nilai rata-rata muka air (MHWL) sebesar 2,047 m.

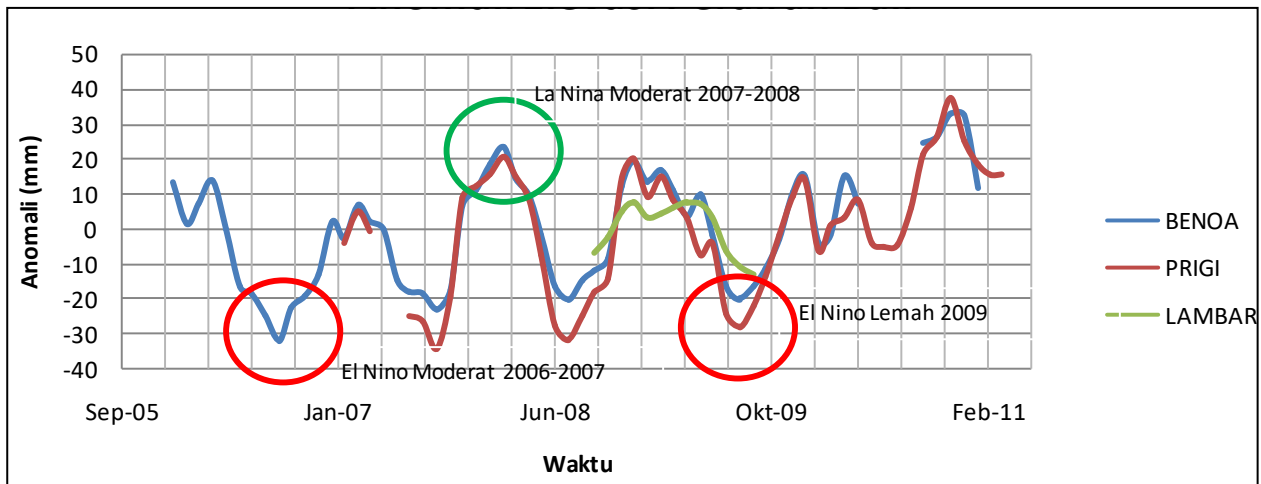
Skematisasi skenario potensi bahaya

Skematisasi model dilakukan dengan membagi model menjadi tiga skenario pada tahun 2012 dan pada tahun 2030 (lihat Tabel 3). Pembagian skenario tersebut berdasarkan akumulasi setiap potensi bahaya yang digabungkan terhadap peta dasar. Skenario pertama merupakan simulasi spasial kondisi eksisting, dimana parameter input berupa kenaikan muka air laut, tinggi rata-rata muka air laut (*Mean High Water Level*, MHWL), dan gelombang angin dalam kondisi normal. Sedangkan skenario kedua dan skenario ketiga merupakan akumulasi parameter pada kondisi ekstrem.

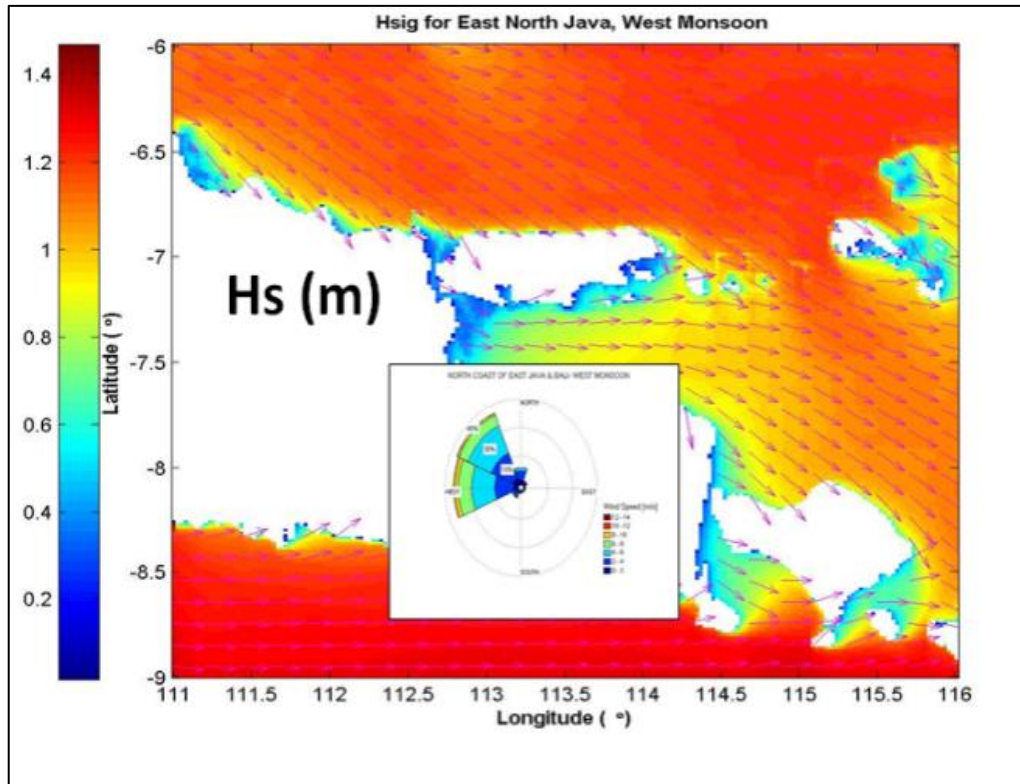
Tabel 2 Periode Kejadian La nina

Waktu	Anomali suhu muka laut (°C)		
	Pasifik Tengah (El Nino/La nina)	Perairan Indonesia	Samudera Hindia (Dipole Mode)
MAM 1954-DJF 1957	-2,0	-0,4	-0,1
ASO 1962-DJF 1963	-0,7	0,1	0
MAM 1964-DJF 1965	-1,2	-0,5	0,8
JJA 1970-DJF 1972	-1,3	0,1	0,4
AMJ 1973-AMJ 1976	-2,1	0,5	0,5
SON 1984-ASO 1985	-1,1	0	-0,4
AMJ 1988-AMJ1989	-1,9	0,1	-0,1
ASO 1995-FMA 1996	-0,7	0,2	0
JJA 1998-MJJ 2000	-1,6	0,4	-0,5
ASO 2007-AMJ2008	-1,4	0,2	-0,1
April 2011-28 Mei 2011	-0,6 -0,3	0,04 -0,1	0,13 -0,13

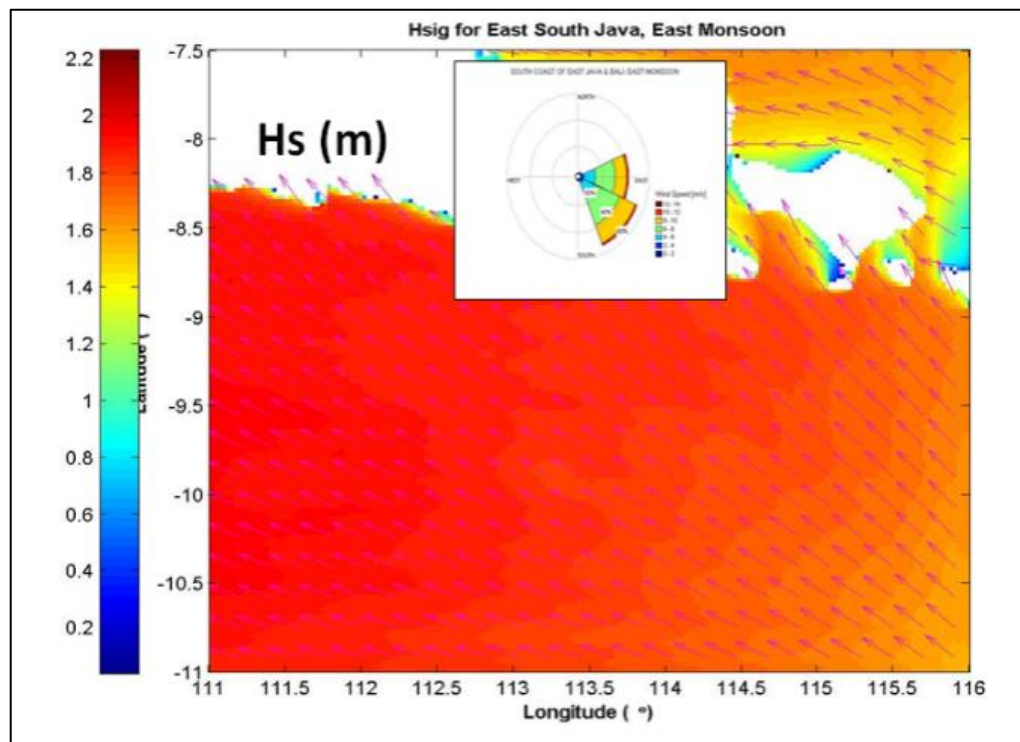
Sumber: BMKG, 2010



Gambar 4 Hasil pengolahan anomali elevasi perairan Bali

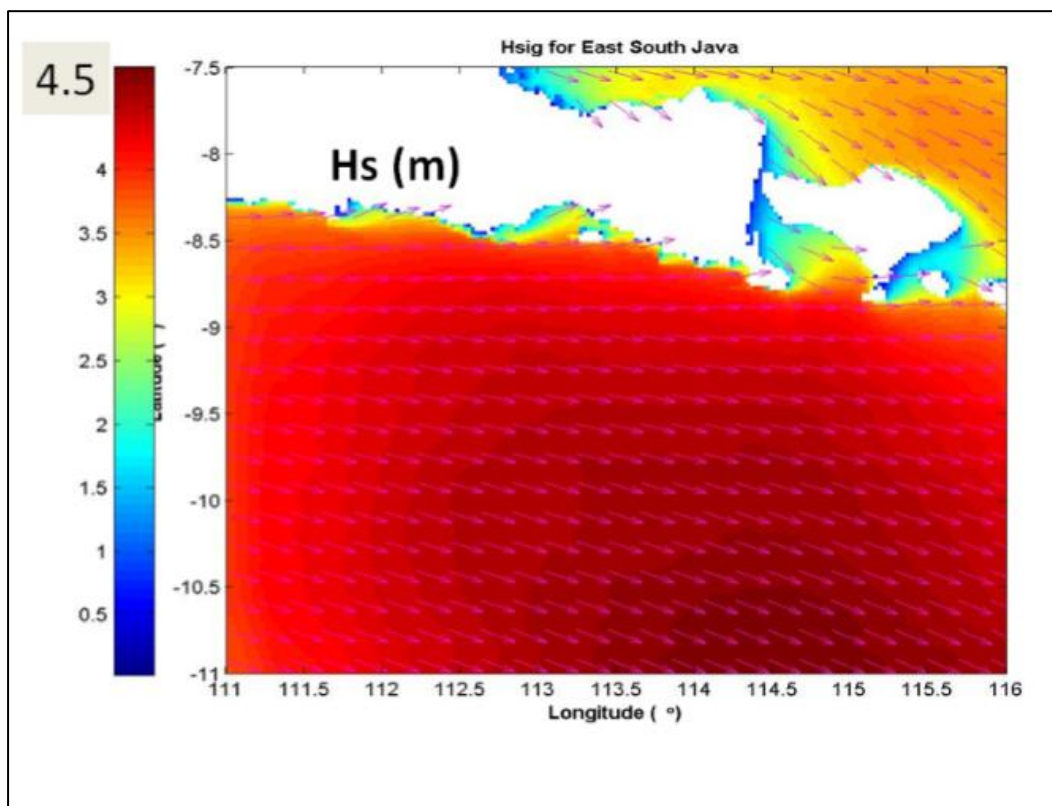
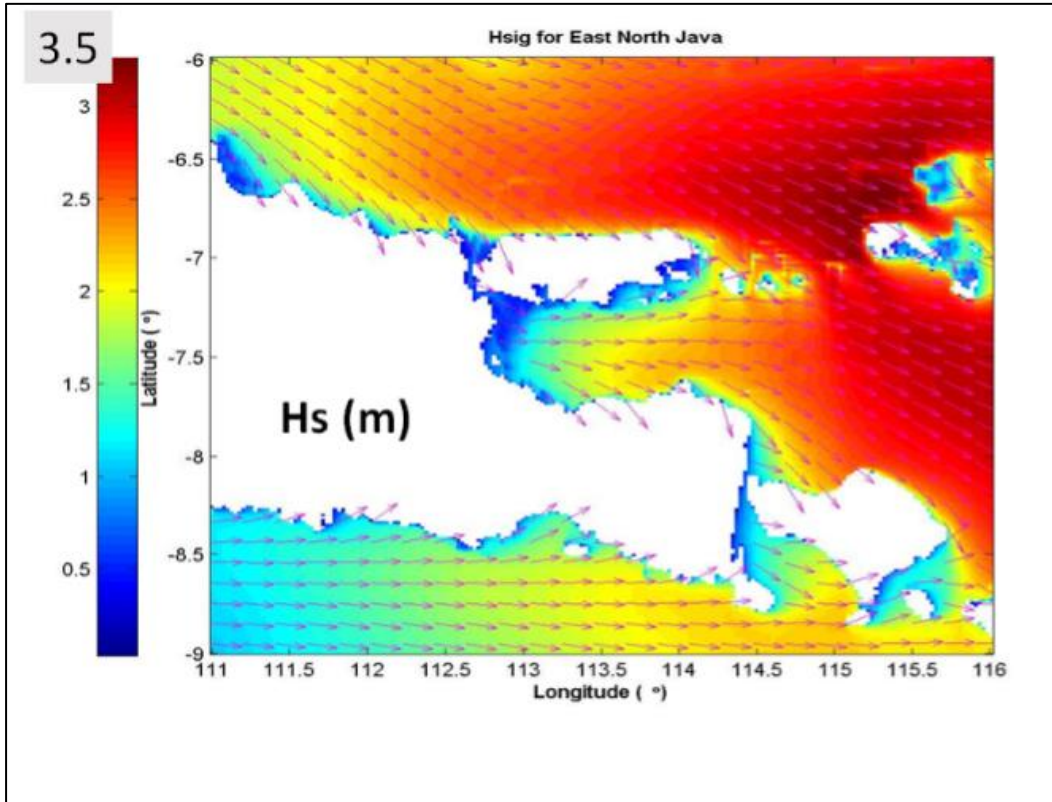


(a)

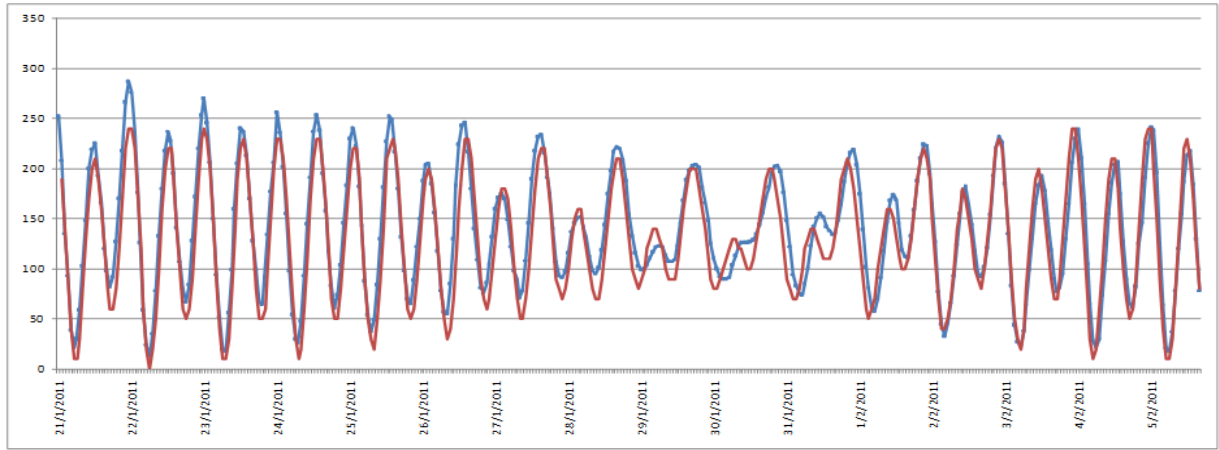


(b)

Gambar 5 Hasil simulasi gelombang rata-rata di Perairan Utara Jawa (kiri) dan di Perairan Selatan Jawa



Gambar 6 Hasil simulasi gelombang ekstrem di Perairan Utara Jawa (kiri) dan di Perairan Selatan Jawa



Keterangan : — Hasil Pembacaan ATR
: Hasil Peramalan

Gambar 7 Data hasil pengukuran muka air Tanjung Benoa, Bali

Tabel 3 Skematisasi skenario model

Nomor	Potensi Bahaya
1	Kenaikan muka air laut
2	MHWL (<i>Mean High Water Level</i>)
3	HHWL (<i>Highest High Water Level</i>)
4	Gelombang Angin
5	Gelombang Angin (ekstrem)
6	La Nina
7	Gelombang Badai
Akumulasi	Skenario
1+2+4	1 (eksisting)
1+3+5	2
1+3+5+6+7	3(ekstrem)

Analisis spasial potensi bahaya

Peta potensi bahaya berupa pemberian informasi secara spasial area yang berpotensi tergenang akibat parameter-parameter bahaya yang diperhitungkan di kawasan pantai. Analisis dilakukan dengan mengestimasi luas area genangan per kabupaten di Provinsi Bali. Selain itu, dilakukan *zoom in* peta potensi genangan di Kota Denpasar & Kabupaten Badung yang dianggap sebagai area dengan potensi wisata yang luar biasa dan memiliki infrastruktur yang paling lengkap. Periode simulasi potensi genangan dilakukan pada tahun 2012 dan tahun 2030.

Hasil simulasi skenario 1 pada tahun 2012 di Provinsi Bali menunjukkan beberapa lokasi dengan potensi genangan cukup tinggi (lihat Gambar 8), yaitu di kawasan pantai dengan karakteristik topografi yang relatif landai. Peta

potensi genangan skenario 1 cenderung lebih sempit dibandingkan hasil simulasi dalam skenario 3. Potensi genangan diprediksi meluas pada tahun 2030 untuk setiap skenario karena adanya akumulasi proyeksi kenaikan muka air laut.

Kuantifikasi data dilakukan untuk menunjukkan luasan daerah bahaya dengan klasifikasi bahaya dari level sangat bahaya sampai level sangat rendah di setiap cluster (lihat Tabel 4). Hasil kuantifikasi data skenario 1 dengan level potensi bahaya sangat tinggi berada di daerah Buleleng (Bali Utara) dengan estimasi area 20,67 km², sedangkan daerah terluas ke dua dengan potensi bahaya yang sangat tinggi berada di daerah Jembrana (Bali Barat) dengan estimasi area 15,60 km².

Hasil identifikasi lapangan menunjukkan bahwa daerah Buleleng merupakan salah satu

kabupaten yang memiliki garis pantai terpanjang di Provinsi Bali dengan karakter topografi di kawasan pantai yang cenderung landai. Panjang garis pantai Kabupaten Buleleng mencapai 158,89 km dibandingkan Kota Denpasar yang memiliki garis pantai hanya 20,93 km. Data historikal bencana di Pulau Bali pada tahun 2010 sampai tahun 2012 menunjukkan setiap tahun terjadi kerusakan akibat gelombang pasang di Pulau Bali. Pada tahun 2010, frekuensi kejadian gelombang pasang di Kabupaten Buleleng mencapai empat kali pada bulan Januari (BKBPPM Provinsi Bali, 2010). Pada tahun 2011 telah terjadi kerusakan akibat gelombang pasang dengan frekuensi kejadian enam kali di Kabupaten Buleleng pada bulan Januari dan Februari dan di Kabupaten Jembrana satu kali di Bulan Juni (BKBPPM Provinsi Bali, 2011). Serta, pada bulan Maret 2012 telah terjadi akibat gelombang pasang (BPBD-Kabupaten Buleleng, 2012). Sedangkan, area dengan potensi bahaya sangat tinggi yang memiliki nilai terendah berada di Kabupaten Denpasar, karena karakteristik kabupaten tersebut cenderung memiliki karakter topografi yang tinggi.

Estimasi luas area akan bertambah secara signifikan ketika parameter potensi bahaya pada kondisi ekstrem berakumulasi dan penambahan akumulasi waktu akibat proyeksi kenaikan muka air laut.

Hasil simulasi lebih detail pada tahun 2012 di Bali Selatan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Secara umum area potensi bahaya pada tahun 2030 cenderung lebih luas dibandingkan peta potensi bahaya pada tahun 2012.

Hasil simulasi lebih detail pada tahun 2030 di Bali Selatan ditunjukkan oleh Gambar 11 dan Gambar 12. Hasil simulasi menunjukkan meluasnya level potensi bahaya pada skenario 3 dibandingkan skenario 1. Untuk skenario 3, terjadi perubahan level bahaya dari rendah pada tahun 2012 menjadi moderat dalam skenario 3 di kota Denpasar (lihat Gambar 11). Hasil simulasi area detail di Bali Utara ditunjukkan oleh Gambar 16 dan Gambar 17, dimana level bahaya untuk skenario 3 memiliki luas area yang lebih besar dibandingkan dengan skenario 1 pada tahun 2030.

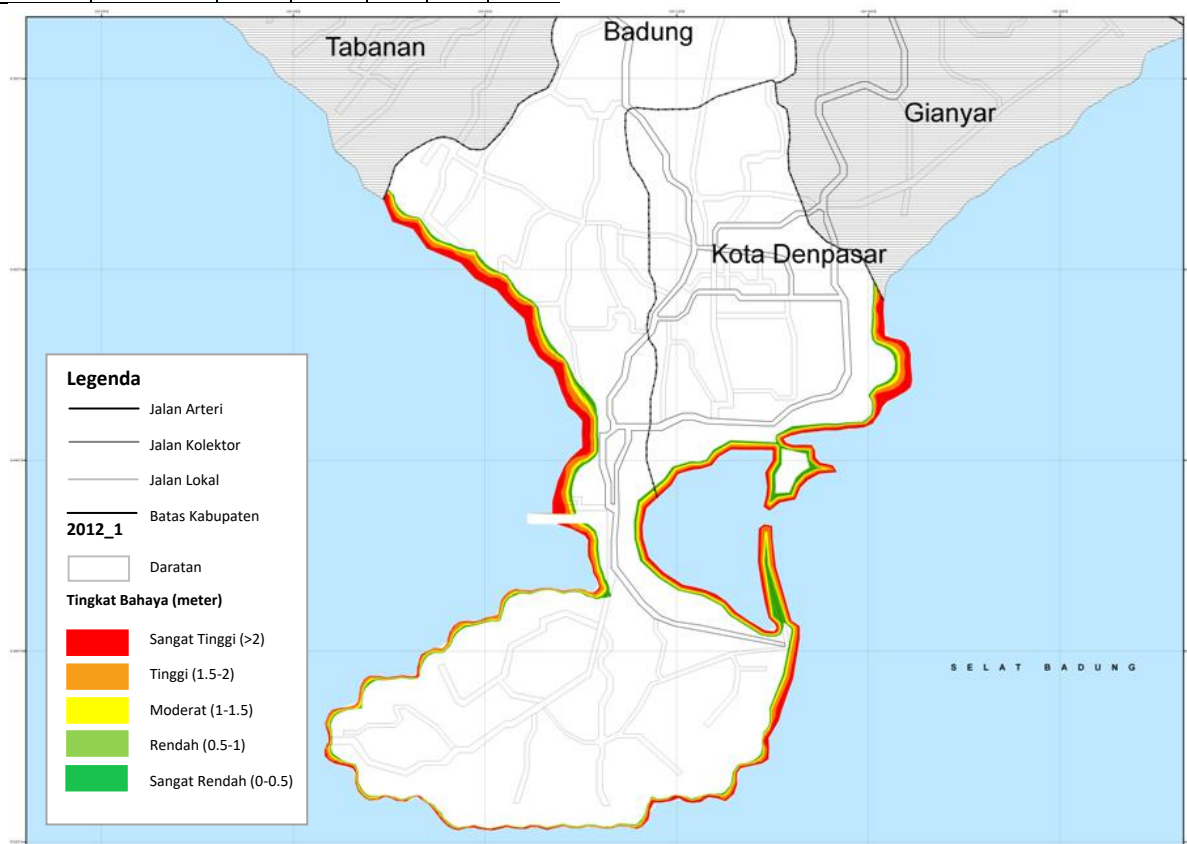


Gambar 8 Peta potensi bahaya skenario 1 tahun 2012

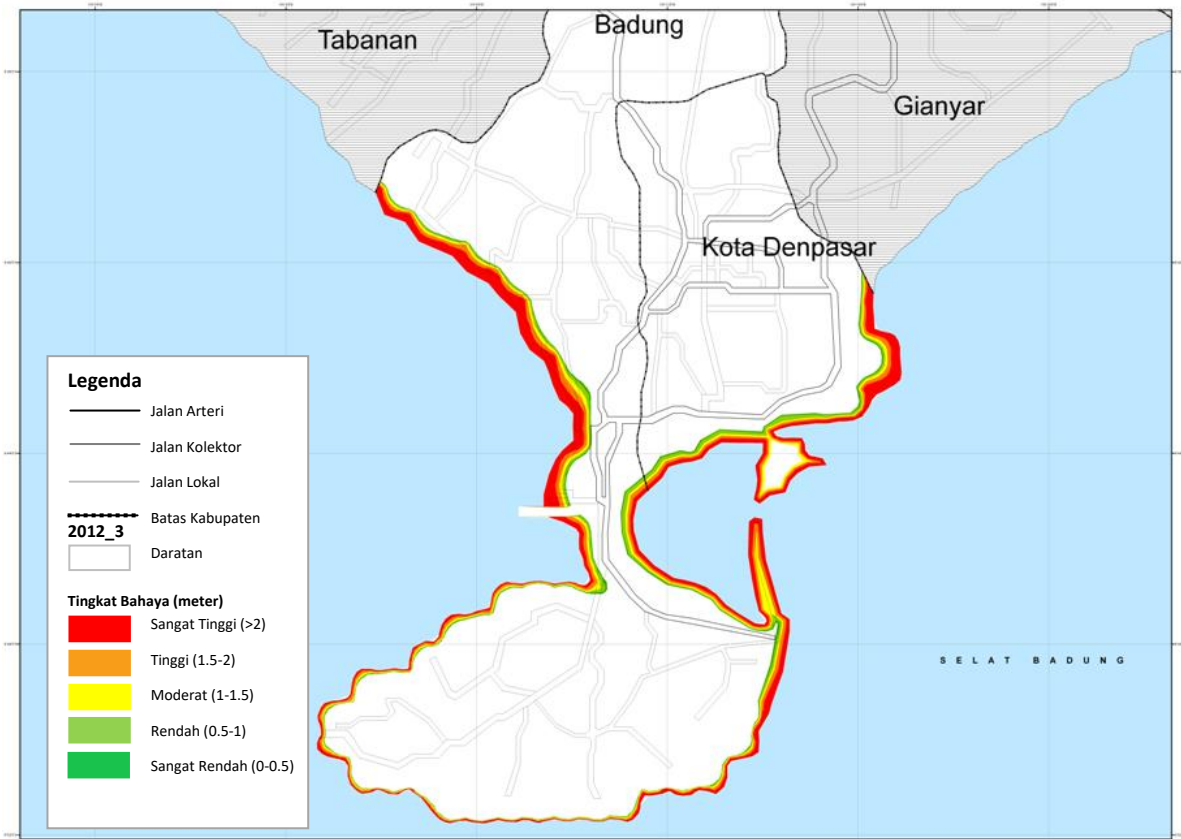
Tabel 4 Kuantifikasi luas area potensi bahaya

Tahun	Skenario	LUAS AREA BAHAYA (km ²)														
		Denpasar					Jembrana					Buleleng				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2012	1	3.12	2.12	1.26	0.42	1.76	15.60	10.60	5.85	2.68	5.49	20.67	18.79	9.77	4.43	8.32
	2	4.51	1.99	1.57	1.52	0.65	19.47	10.94	7.04	5.45	1.33	27.23	18.66	11.41	7.98	2.70
	3	4.03	2.05	1.32	2.80	0.24	22.21	9.85	6.57	1.16	8.10	32.55	16.66	10.37	7.96	4.68
2030	1	3.12	2.12	1.26	0.42	2.52	15.60	10.60	5.85	2.68	7.45	27.23	18.79	9.77	4.43	11.36
	2	4.03	2.05	1.32	2.80	0.51	19.47	10.94	7.04	5.45	1.67	27.23	18.66	11.41	7.98	2.60
	3	4.87	2.01	3.69	1.46	0.84	24.84	10.25	7.80	6.26	2.48	37.26	15.81	12.56	4.54	6.95

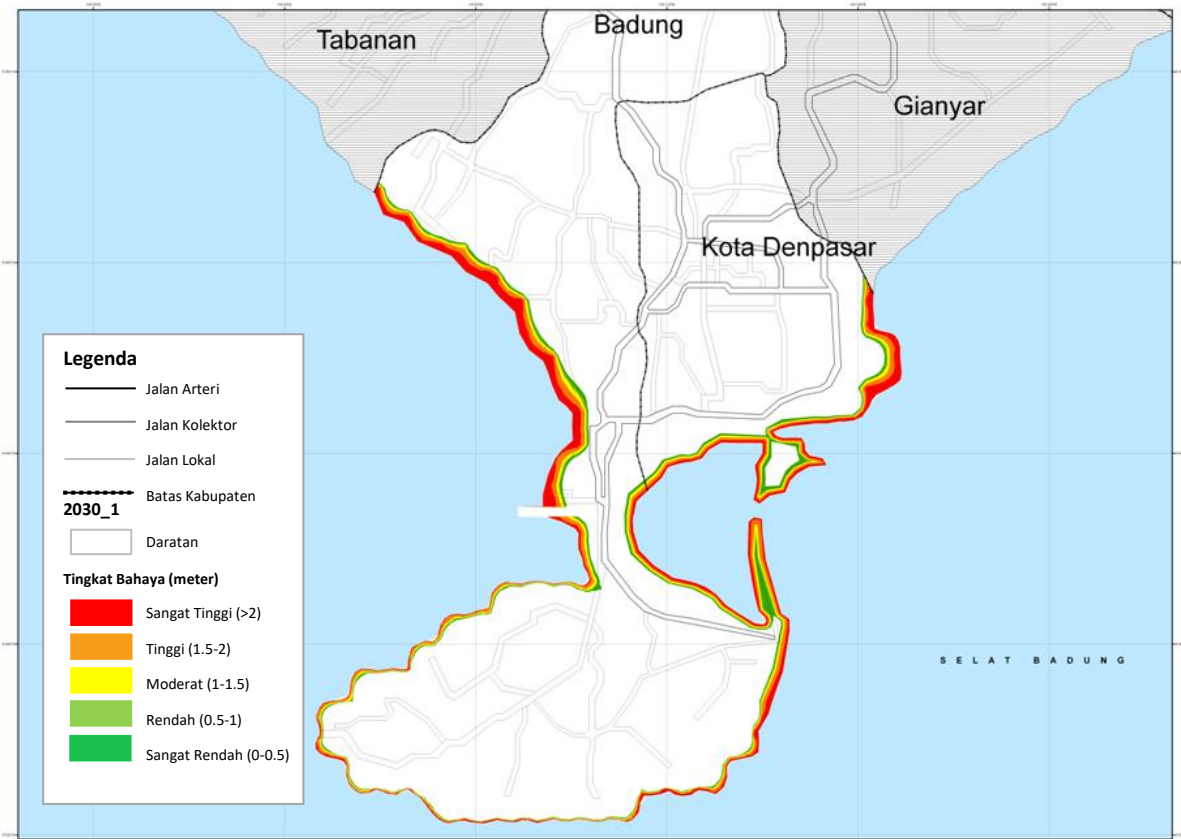
Tahun	Skenario	LUAS AREA BAHAYA (km ²)					Keterangan :
		Karangasem					
		1	2	3	4	5	
2012	1	11.78	5.41	2.99	1.36	2.52	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: red; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> 1 Sangat tinggi <div style="background-color: orange; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> 2 Tinggi <div style="background-color: yellow; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> 3 Moderat <div style="background-color: lightgreen; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> 4 Rendah <div style="background-color: green; width: 15px; height: 15px;"></div> 5 Sangat rendah </div>
	2	13.77	5.55	3.51	2.41	0.25	
	3	15.21	4.98	3.14	2.18	1.75	
2030	1	11.78	5.41	2.99	1.36	3.46	
	2	13.77	5.55	3.51	2.41	0.56	
	3	16.55	4.64	4.04	1.84	1.65	



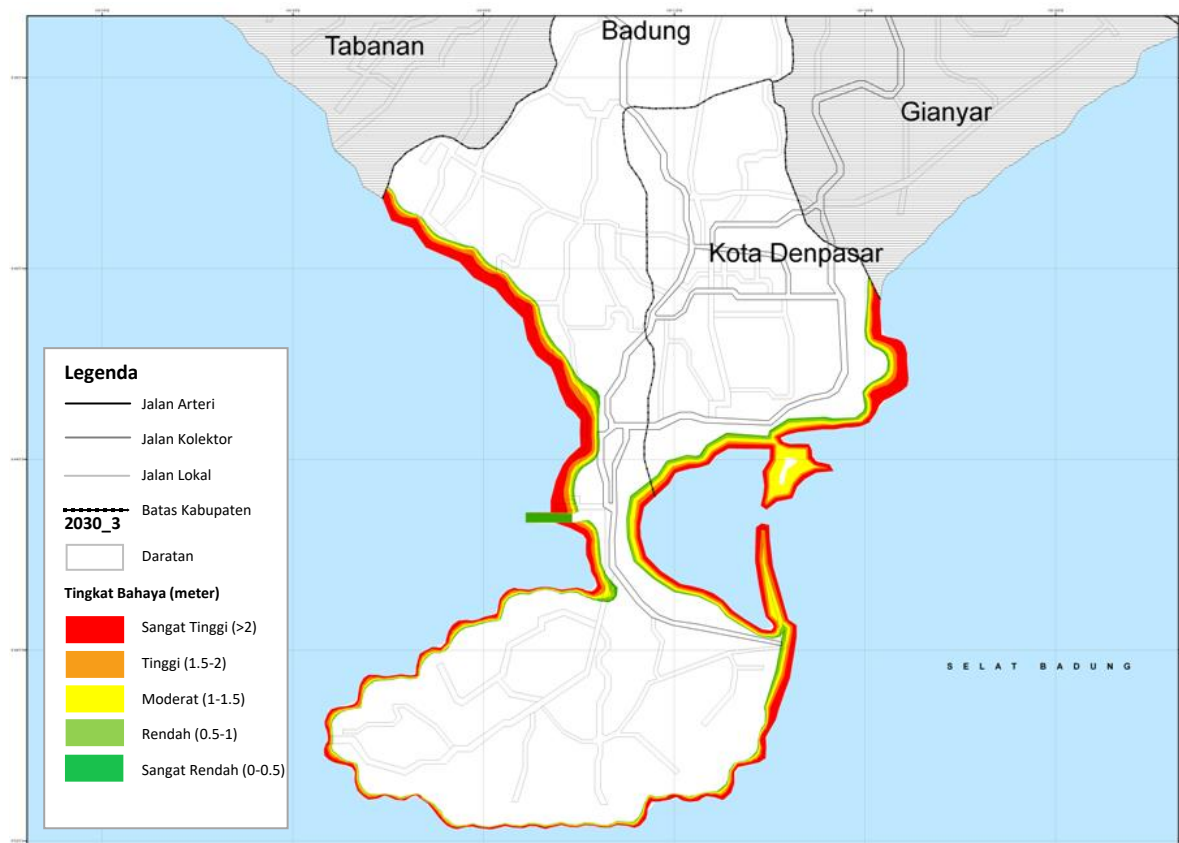
Gambar 9 Peta potensi bahaya Bali Selatan skenario 1 tahun 2012



Gambar 10 Peta potensi bahaya Bali Selatan skenario 3 tahun 2012



Gambar 11 Peta potensi bahaya Bali Selatan skenario 1 tahun 2030



Gambar 12 Peta potensi bahaya Bali Selatan skenario 3 tahun 2030

KESIMPULAN

Parameter bahaya yang diperhitungkan dalam simulasi meliputi kenaikan muka air laut, *storm tide*, pasang surut air laut, gelombang, serta variabilitas iklim (La Nina). Faktor yang memengaruhi kuantifikasi luas level bahaya adalah profil topografi, waktu, dan akumulasi parameter bahaya.

Hasil simulasi skenario 1 pada tahun 2012 menunjukkan Kabupaten Buleleng adalah kabupaten terluas dengan potensi level bahaya sangat tinggi yang mencapai 20,67 km², sedangkan area terkecil di Kabupaten Denpasar memiliki luas area 3,12 km². Skenario 3 menunjukkan kondisi ekstrem, dimana dalam skenario tersebut menghasilkan penambahan luas area bahaya di Kabupaten Buleleng 32,55 km² dan di Kabupaten Denpasar 4,51 km².

Area potensi bahaya cenderung bertambah pada tahun 2030. Hal ini diperlihatkan dari hasil simulasi skenario 1, dimana Kabupaten Buleleng memiliki luas area bahaya level sangat tinggi sekitar 20,67 km², sedangkan Kabupaten Denpasar 3,12 km². Hasil simulasi skenario 3 Kabupaten

Buleleng memiliki luas area sangat tinggi sekitar 37,26 km², sedangkan Kabupaten Denpasar dapat mencapai 4,87 km².

DAFTAR PUSTAKA

- BKBPPM Provinsi Bali (Badan Kesatuan Bangsa, Politik, dan Perlindungan Masyarakat Provinsi Bali). 2010. *Data Kejadian Bencana Provinsi Bali 2010*. Pusdalops PB Provinsi Bali.
- BKBPPM Provinsi Bali (Badan Kesatuan Bangsa, Politik, dan Perlindungan Masyarakat Provinsi Bali). 2011. *Data Kejadian Bencana Provinsi Bali 2011*. Pusdalops PB Provinsi Bali.
- BMKG. 2010. *Prediksi La Nina Oleh Institusi Internasional Dan BMKG*. Indonesia. http://www.bmg.go.id/share/dokumen/upd_ate_nino_011110.pdf (diakses 1 Nopember 2010).
- BPBD Kabupaten Buleleng. 2012. *Laporan Data Bencana*. Pemerintah Daerah, Bali.

- Ewing, L. 2010. *Sea Level Rise: Major Implications to Coastal Engineering and Coastal Management*. "In Hand book of Coastal Engineering".World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., USA.
- Indrawan, B. 2011. *Kajian Risiko Kenaikan Muka Laut Di Pulau Tarakan*. Tugas Akhir Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Jin, F.-F. 1997. An equatorial recharge paradigm for ENSO. Part I: conceptual model. *J. Atmos. Sci.* 54, 811–829.
- Latief, H. et al. 2010. *Synthesis Report Risk and Adaptation Assessment to Climate Change in Lombok Island, West Nusa Tenggara Province*. Ministry of Environment, Indonesia.
- Latief,H., et al. 2007. *Current Tsunami Research Activities in Indonesia Current Indonesia "On Going Tsunami Research in TRGOn TRG, ITB"*. ITB, Indonesia.
- Ningsih., et al. 2010. *Simulation Of Vulnerable Areas To The Impact Of Storm Tide Along Southern Coasts Of Java, Bali, And West Nusa Tenggara*. International Conference on Sustainable Built Environment, 1st, Yogyakarta, May 27-29, 2010 Hal. 497-505.
- Philander, S. G. H. 1983. El Nino-Southern Oscillation phenomena. *Nature* 302, 295-301.
- Philander, S. G. H. 1990. *El Nino, La Nina and the Southern Oscillation*. Academic Press, San Diego, USA, pp.293.
- Rasmusson, E. M. and Carpenter, T. H. 1982. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/ El Niño. *Mon. Wea. Rev.* 110, 354–384.
- Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, dan D. P. Rowell. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century, *J. Geph. Res.*, VOL. 108, NO.D14, 4407.
- Reynolds, R.W.and T.M. Smith. 1994. Improved Global Sea Temperature Analyses. *J. Climate*, 7,929-948.
- Riandini, F. dan Bachtiar, H. 2011. Prediksi Tinggi Muka Air Ekstrem di Pantai Semarang Akibat Pasang Tinggi dan Badai Tropis. *Jurnal Teknik Sumberdaya Air-vol.7 No.2*, ISSN 1907-0276
- Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. 1987. Global and Regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 115, 1606–1626.
- Shore Protection Manual. 1984. 4th ed., 2 Vol., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1,088 p.
- Suarez, M. J. and Schopf, P. S. 1988. A delayed action oscillator for ENSO. *J. Atmos. Sci.* 45, 549–566.
- UHSLC. 2011. *Sea Level Center of Data. Hawaii, USA*. <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/fdd>.