

Transformasi Gelombang *Swell* dan Gelombang Angin di Perairan Selatan Bali

FITRI SUCIATY

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional
Email: suciaty.fitri@gmail.com

ABSTRAK

Gelombang swell dengan energi yang besar dan dapat menjalar hingga ratusan kilometer dari daerah pembangkitannya diketahui berpotensi merusak struktur pantai dan juga dapat mengganggu segala aktivitas yang dilakukan di pantai. Gelombang swell juga dinyatakan memberikan pengaruh yang besar pada inundasi yang terjadi di sepanjang pantai selatan Jawa dan Bali pada tanggal 4-9 Juni 2006 (Nugraheni, dkk., 2017). Studi transformasi gelombang swell dan gelombang angin di perairan selatan Bali dilakukan dengan pemodelan numerik gelombang menggunakan model gelombang generasi ketiga SWAN model. Simulasi dilakukan dengan tiga nested grid dengan resolusi grid #1, #2 dan #3; masing-masing sebesar 0.05° , 0.005° , dan 0.001° . Simulasi dilakukan untuk dua buah skema pemodelan, yaitu model gelombang swell dan model gelombang angin. Hasil model menunjukkan kesesuaian dengan data pengamatan. Hasil simulasi memperlihatkan gelombang swell yang berasal dari Samudera Hindia mendominasi kondisi gelombang di perairan selatan Bali selama periode simulasi (18 Desember 2011-6 Februari 2012). Dibandingkan dengan gelombang angin, gelombang swell menghasilkan tinggi gelombang yang lebih besar baik di lepas pantai maupun di area dekat pantai. Gelombang swell mengalami refraksi yang kuat di sekitar Bukit Peninsula.

Kata kunci: *gelombang Swell, gelombang angin, pemodelan transformasi gelombang.*

ABSTRACT

Swells with its large energy can propagate up to hundreds of kilometers from the generation location. Therefore, swells have the potential to damage the structure of the coast and also can disrupt all activities carried out on the coast. Swells were also stated to have a major influence on the inundation that occurred along the southern coast of Java and Bali on June 4 to 9, 2006 (Nugraheni, et al., 2017). The study of swells and wind waves transformations in the waters of southern Bali is carried out by numerical wave modeling using a third generation wave model SWAN model. Nested grids are used with spatial resolution of grid #1, #2 and #3; is 0.05° , 0.005° , and 0.001° , respectively. Simulations are carried out for two modeling schemes that are swell models and wind wave models. The simulation shows compliance with observation data. The result shows swells originating from the Indian Ocean mostly dominated wave conditions in the waters of southern Bali during simulation period (18 Desember 2011-6 Februari 2012). Compared to wind waves, swells produce higher wave both in offshore and coastal area. Swells experienced a strong refraction around the Bukit Peninsula.

Keywords: *swell, wind wave, wave transformation model.*

1. PENDAHULUAN

Gelombang merupakan fenomena alam yang sangat penting yang terjadi pada batas muka laut dan udara. Gelombang laut dengan periode 1 detik sampai dengan 30 detik dikenal sebagai gelombang gravitasi. Terdapat dua jenis gelombang gravitasi, yaitu gelombang angin dan gelombang *swell*. Gelombang angin sering disebut sebagai *young waves*, yaitu gelombang yang dibangkitkan dan dipengaruhi oleh angin lokal. Angin yang kencang dan mempunyai arah yang tetap menyebabkan terbentuknya gelombang angin (*windsea*) yang kemudian berkembang menjadi *fully developed sea* atau gelombang *swell* (Habibie, dkk., 2013). Gelombang *swell* kemudian menjalar pada jarak yang sangat jauh dari daerah pembentukannya dengan sedikit pembelokan arah (Young, 1999). Maka gelombang *swell* dapat dikatakan sebagai gelombang angin yang karena energinya yang sangat besar maka akan terlepas dari daerah pembentukannya (Habibie, 2013).

Kajian mengenai gelombang *swell* menjadi penting untuk dilakukan karena gelombang ini berpotensi merusak struktur pantai dan aktivitas lain yang terjadi di wilayah pantai (Mettlach et al., 1994). Simulasi gelombang *swell* yang dilakukan oleh Habibie, dkk. (2013), menunjukkan pada tanggal 17-19 Mei 2007, kecepatan angin yang mencapai 22 m/s di selatan Afrika membangkitkan gelombang *swell* yang melintasi Samudera Hindia. Gelombang *swell* ini kemudian menjalar ke utara menyusuri pantai barat Sumatra menuju Aceh dan ke timur menyusuri pantai selatan Jawa menuju Bali dan Nusa Tenggara. Gelombang tersebut akan mengalami efek pendangkalan (*shoaling*) yang berpengaruh terhadap kenaikan tinggi gelombang (*wave setup*) di pantai, sehingga dapat menimbulkan inundasi dan kerusakan infrastruktur. Analisis gelombang dan *swell* yang dilakukan oleh Nugraheni, dkk. (2017) menunjukkan bahwa gelombang *swell* memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap inundasi yang terjadi pada tanggal 4-9 Juni 2006 di sepanjang pantai selatan Jawa dan Bali. Gelombang ekstrim yang terjadi merupakan superposisi dari gelombang pasang surut, anomali tinggi muka air, dan gelombang angin dan *swell* yang tinggi. Choi, et al. (2003), menyatakan bahwa gelombang laut akan bertambah tinggi antara 0.5–1 meter di Laut Kuning ketika terjadi superposisi antara gelombang badai bersamaan dengan adanya gelombang pasang surut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi gelombang laut yang dihasilkan dari penjarangan gelombang *swell* dengan periode panjang dan gelombang angin dengan periode yang lebih pendek di perairan selatan Bali, dimana hal tersebut merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam perencanaan struktur pantai dan juga usaha perlindungan pantai.

Kajian mengenai gelombang laut yang gaya pembangkitnya angin selalu mengasumsikan kondisi ideal tanpa adanya gelombang *swell*, terutama untuk observasi di lapangan. Pada observasi di lapangan, gelombang angin dan gelombang *swell* yang memiliki dinamika yang berbeda, sulit untuk dipisahkan. Oleh karena itu, kajian transformasi gelombang *swell* dan gelombang angin pada studi ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan gelombang generasi ketiga, dimana gelombang *swell* yang merupakan gelombang nonlinier dihitung secara eksplisit, sehingga

gelombang *swell* dan gelombang angin dapat dipisahkan. Pemodelan transformasi gelombang pada studi ini dilakukan dengan menggunakan SWAN Model.

2. PEMODELAN TRANSFORMASI GELOMBANG

2.1 Persamaan Pembangun dan Perhitungan Numerik Model Gelombang SWAN

Kajian gelombang *swell* dan gelombang angin pada studi ini dilakukan dengan memodelkan transformasi gelombang dengan menggunakan Model SWAN versi 41.20 yang dikembangkan oleh Booij et al., (1999). SWAN merupakan pemodelan numerik gelombang generasi ketiga yang dapat digunakan untuk mensimulasikan gelombang di daerah pantai, danau, ataupun estuari dengan menggunakan persamaan dasar kesetimbangan aksi (*action balance*) antara *sources* dan *sink* (Booij et al., 1999). Formulasi persamaan pembangun yang digunakan pada model SWAN, yaitu persamaan kesetimbangan aksi, dapat dilihat pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**. Suku *sources* dan *sink*, S_{tot} , terdiri dari *input* angin, interaksi nonlinear gelombang, dan suku disipasi yang terdiri dari disipasi akibat *whitecapping*, gesekan dasar, dan akibat gelombang pecah, seperti terlihat pada **Persamaan 3**.

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\omega, \theta)}{\sigma} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad \dots (2)$$

dimana,

- $\frac{\partial}{\partial t} N$: perubahan densitas aksi terhadap waktu,
- $\frac{\partial}{\partial x} c_x N$: penjaralan energi gelombang dalam ruang x ,
- $\frac{\partial}{\partial y} c_y N$: penjaralan energi gelombang dalam ruang y ,
- $\frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N$: pergeseran frekuensi karena variasi kedalaman,
- $\frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N$: refraksi akibat variasi kedalaman,
- c_x, c_y : kecepatan propagasi energi di ruang geografis (spasial x dan y),
- c_σ, c_θ : kecepatan propagasi energi diruang spektral dan ruang,
- S_{tot} : suku *source* dan *sink* yang menunjukkan proses fisis pembangkitan oleh angin, disipasi energi, dan redistribusi energi.

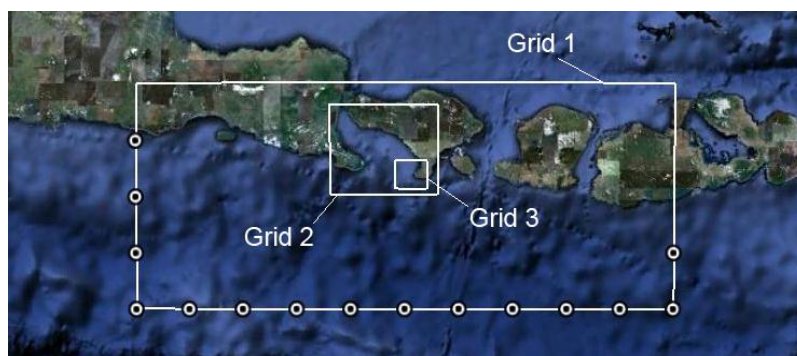
$$S_{total} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad \dots (3)$$

dimana,

- S_{in} : *input* angin,
- S_{nl} : interaksi nonlinear gelombang,
- $S_{ds,w}$: disipasi akibat *whitecapping*,
- $S_{ds,b}$: disipasi akibat gesekan dasar,
- $S_{ds,br}$: disipasi akibat gelombang pecah.

2.2 Desain Model

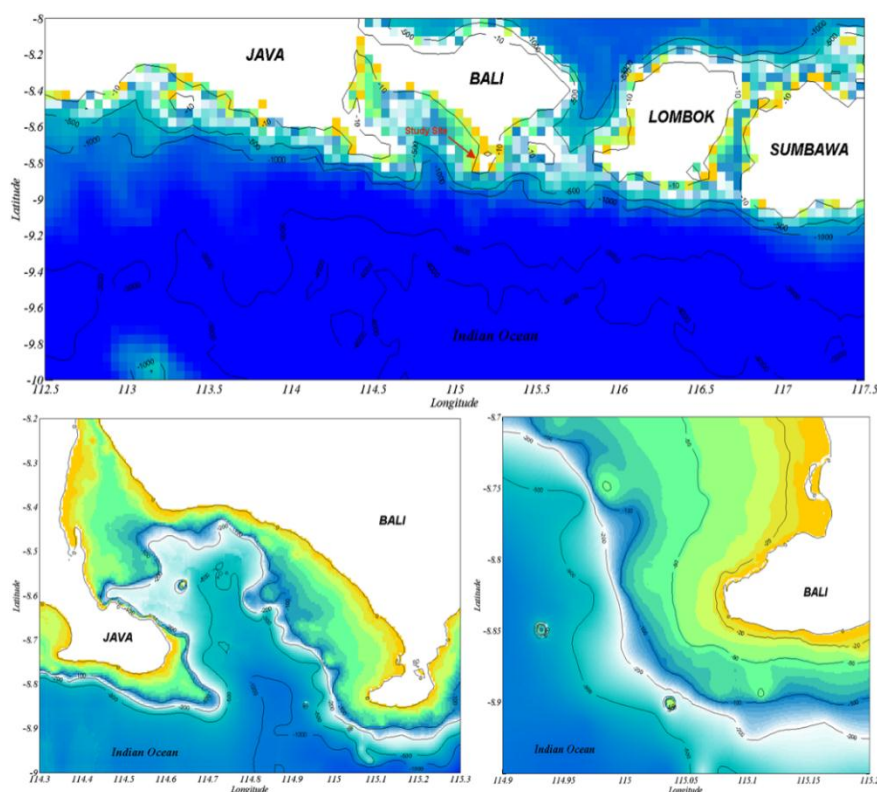
Simulasi dilakukan dengan metode *nested* grid untuk efisiensi hasil model serta untuk mendapatkan hasil model yang akurat dengan resolusi tinggi. Area *nested* grid ditunjukkan oleh **Gambar 1** dan **Gambar 2**. **Tabel 1** menunjukkan rincian untuk masing-masing *nested* grid.



Gambar 1. Struktur *nested* grid dari tiga grid model transformasi gelombang. Lingkaran pada grid luar menunjukkan lokasi dimana data gelombang lepas pantai dimasukkan pada batas model.

Tabel 1. Spesifikasi Grid Model SWAN.

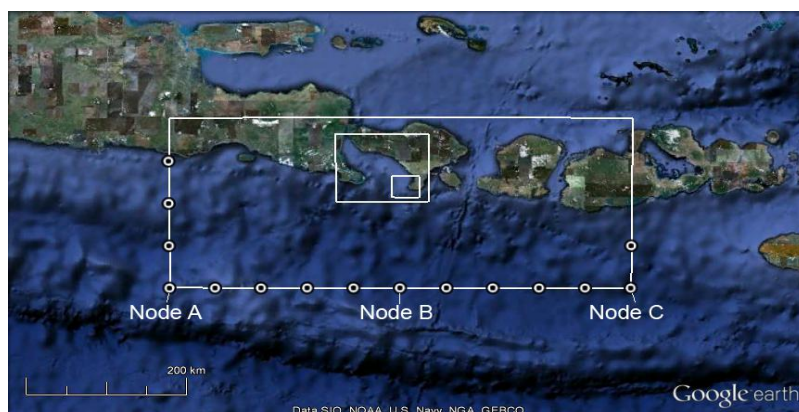
Grid	Garis Bujur	Lintang	Resolusi	Ukuran
#1	112.5BT-117.5BT	10LS-8LS	0.05°	101 x 41 <i>cells</i>
#2	114.3BT-115.3BT	9LS-8.2LS	0.005°	201 x 161 <i>cells</i>
#3	114.9BT-115.2BT	8.95LS-8.7LS	0.001°	301 x 251 <i>cells</i>



Gambar 2. Grid model SWAN, grid luar #1 (atas), tengah #2 (kiri bawah) dan lokasi #3 (kanan bawah).

Daerah studi diketahui dipengaruhi oleh gelombang *swell* dengan periode panjang yang berasal dari belahan bumi selatan dan juga gelombang lokal yang terbentuk oleh angin. Model dirancang dengan mempertimbangkan kedua kondisi tersebut. Simulasi dilakukan untuk dua buah skema pemodelan yang berbeda, yaitu: (1) model gelombang *swell* saat musim tenggara/musim kering dan (2) model gelombang angin saat musim hujan.

Untuk simulasi gelombang *swell*, data hindcast gelombang model WAVEWATCH III (Tolman, 2009) yang diekstrak di lokasi di sepanjang tepi grid terluar digunakan sebagai *input* kondisi batas untuk model SWAN. Data yang digunakan yaitu data pada tahun 2010, karena data pada tahun tersebut dianggap dapat mewakili kondisi gelombang yang diamati selama 14 tahun dari data hindcast. Statistik *joint probability* untuk tiga titik di sepanjang batas (**Gambar 3**) ditunjukkan oleh **Tabel 2**. Terlihat jelas dari tabel tersebut bahwa kondisi gelombang lepas pantai didominasi oleh *swell* dari barat dan barat daya (~ 190 - 230 derajat) dengan periode 12-14 detik.



Gambar 3. *Node* yang digunakan untuk kondisi gelombang pada grid model #1, statistik gelombang untuk *node A*, *node B* dan *node C* disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 2. *Joint Probability* dari Tinggi Gelombang Signifikan, Periode Puncak Gelombang dan Arahnya yang Terjadi Selama 14 Tahun untuk *Node A*, *Node B* dan *Node C*.

<i>Node A: 10S, 112.5E</i>				<i>Node B: 10S, 115E</i>				<i>Node C: 10S, 117.5E</i>			
Occur. %	H_S [m]	T_p [s]	D_p [deg]	Occur. %	H_S [m]	T_p [s]	D_p [deg]	Occur. %	H_S [m]	T_p [s]	D_p [deg]
22.8	2.25	13.3	210	24.5	2.25	13.4	210	25.6	1.75	13.0	210
19.5	1.75	12.8	210	22.3	1.75	12.8	210	21.3	2.25	13.8	210
15.2	2.75	14.1	210	14.8	2.75	14.2	210	13.9	1.25	12.3	210
6.3	1.25	12.1	210	8.5	1.25	12.1	210	9.1	2.75	14.6	210
6.2	3.25	14.7	210	5.9	1.75	13.9	230	8.2	1.75	13.8	230
5.1	2.25	14.3	230	5.3	3.25	14.9	210	5.7	2.25	14.6	230
5.1	1.75	13.9	230	5.1	2.25	14.3	230	4.7	1.25	13.5	230
3.0	2.25	12.9	190	2.7	2.75	15.1	230	2.7	3.25	15.2	210
2.5	3.75	15.4	210	2.1	1.25	13.3	230	2.3	2.75	14.9	230

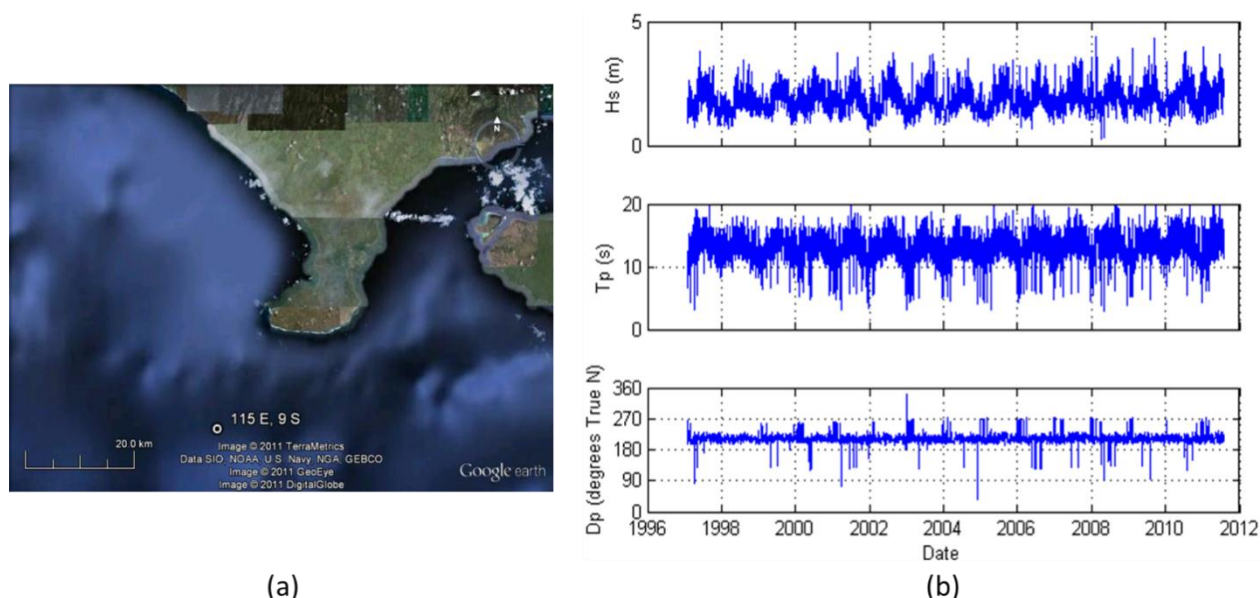
Untuk simulasi gelombang angin, data angin dari empat titik di bagian barat dan timur sepanjang grid terluar diinterpolasi untuk grid daerah angin pemodelan SWAN selama tahun 2010.

3. DATA DAN VALIDASI

3.1. Data Hindcast Gelombang

Untuk mengetahui transformasi gelombang dari lepas pantai menuju pantai, dilakukan hindcast gelombang jangka panjang. Data hindcast gelombang didapatkan dari *output* model WAVEWATCH III. Model WAVEWATCH III merupakan model global gelombang yang dikembangkan oleh *Marine Modelling and Analysis Branch* (MMAB) pada *Environmental Modelling Center* (EMC) *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) dan dapat diakses secara *online* melalui <http://polar.ncep.noaa.gov/waves>. Input angin pada model ini berasal dari *Global Forecast System* (GFS) NCEP, yaitu kecepatan angin pada ketinggian 10 m, dengan resolusi $\frac{1}{2}$ derajat, dan interval waktu 1 jam.

Data gelombang diekstrak pada *node* yang terletak di 9°S 115°E dengan kedalaman 1.500 m (**Gambar 5.a**) pada bulan Februari 1997 sampai dengan bulan Juli 2011 sebagai kuantifikasi awal statistik gelombang di lepas pantai. Selain itu, data gelombang dari beberapa *node output* model juga diekstrak untuk kemudian digunakan sebagai kondisi batas (*boundary conditions*) pada pemodelan transformasi gelombang dengan SWAN model. *Time-series* dari tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang dan arah gelombang ditunjukkan pada **Gambar 5.b**, sedangkan hasil statistik gelombang untuk jangka waktu 14 tahun 5 bulan ditunjukkan pada **Tabel 3**. Variasi musiman untuk kondisi gelombang dapat terlihat pada hasil dekomposisi bulannya (**Tabel 4**).



Gambar 5. (a) Lokasi *node output* model WW3; (b) *Time-series* dari tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang dan arah gelombang di *node output* WW3.

Tabel 3. Statistik Gelombang *Output* Model WW3 selama 14 Tahun 5 Bulan (Feb 1997 hingga Jul 2011) untuk *Node* di 9°LS 115°BT.

<i>Node</i>	<i>H_s Mean</i> [m]	<i>H_s Max</i> [m]	<i>T_p Mean</i> [s]	<i>Dir Mean</i> [°]
9°S 115°E	1.84	4.37	12.8	213

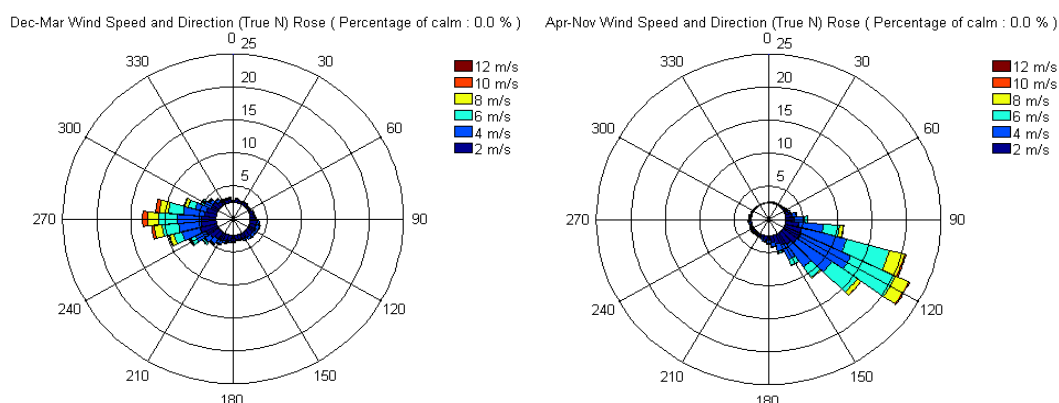
Tabel 4. Dekomposisi Bulanan Statistik Gelombang (Feb 1997 sampai Juli 2011) untuk *Node* di 9°LS 115°BT.

<i>Month</i>	<i>H_s Mean</i> [m]	<i>H_s Max</i> [m]	<i>T_p Mean</i> [s]	<i>Dir Mean</i> [°]
Jan	1.70	4.00	11.4	216
Feb	1.72	4.37	11.3	218
Mar	1.57	2.87	12.3	213
Apr	1.59	3.12	12.9	210
May	1.86	3.26	13.4	210
Jun	2.08	3.77	13.7	213
Jul	2.23	3.79	13.8	213
Aug	2.16	3.72	13.7	212
Sep	2.17	4.30	13.7	212
Oct	1.85	3.29	12.9	212
Nov	1.57	3.43	12.4	213
Dec	1.54	3.03	11.4	215

Terlihat jelas dari **Tabel 4** di atas bahwa kondisi gelombang lepas pantai didominasi oleh gelombang dengan periode 11.4–13.8 detik yang berasal dari barat daya (~ 210–218 derajat).

3.2. Data Angin Jangka Panjang

Data angin pada bulan Februari 1997 sampai dengan Juli 2011 diekstrak pada lokasi yang sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya.



Gambar 6. *Windrose* untuk *node* di 9°LS 115°BT (Feb 1997 - Jul 2011) saat musim basah (Desember-Maret) dan musim kering (April-November).

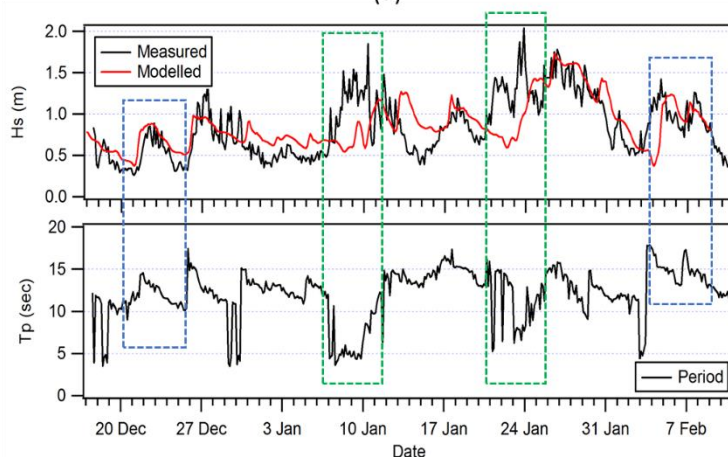
Hasil dekomposisi bulanan untuk kecepatan dan arah angin menunjukkan adanya variasi musiman. Variasi musiman tersebut dapat dilihat pada windrose musiman (**Gambar 6**) dimana data pada bulan Desember hingga Maret termasuk ke dalam musim barat dan untuk musim tenggara direpresentasikan oleh data pada bulan April hingga November. Angin musim barat memiliki periode waktu yang lebih pendek dibandingkan saat angin musim tenggara (4 bulan banding 8 bulan). Kecepatan angin saat musim barat lebih tinggi, yaitu mencapai lebih dari 10 m/s atau 36 km/jam, dibandingkan kecepatan angin saat musim tenggara, yang umumnya tidak melebihi 8 m/s (29 km/jam).

4. VALIDASI HASIL MODEL

Hasil model gelombang *swell*, dikalibrasi dengan data pengukuran di lapangan yang berlokasi 800 m dari Pantai Dreamland, pada kedalaman 12.5 m, seperti pada **Gambar 7.a**. Data pengukuran gelombang diperoleh dari PT. ASR (2012). Pengukuran dan perekaman data dilakukan pada 18 Desember 2011 sampai dengan 11 Februari 2012. Grafik perbandingan hasil model dengan data pengukuran terlihat pada **Gambar 7.b**.



(a)



(b)

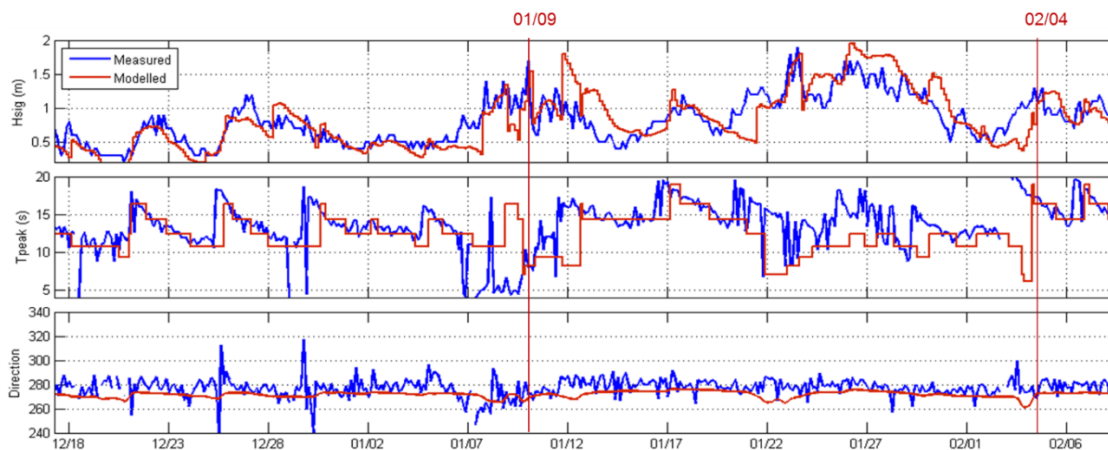
Gambar 7. (a) Lokasi pengambilan data lapangan; (b) Perbandingan tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang hasil model gelombang *swell* dengan data pengamatan.

Dari grafik pada **Gambar 7** tersebut terlihat ketika periode gelombangnya kecil (mengindikasikan gelombang angin terbentuk oleh sistem iklim lokal) model secara umum memperlihatkan ketidaksesuaian dengan data hasil pengukuran (ditandai dengan garis putus-putus berwarna hijau). Namun ketika periode gelombangnya besar (12–15 detik) dan angin lokal bertiup dengan kecepatan kecil, hasil model dan data pengukuran menunjukkan kesesuaian yang cukup baik (ditandai dengan garis putus-putus berwarna biru).

Namun perlu dicatat, tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan, merupakan nilai rata-rata hasil statistik gelombang. Dengan demikian, nilai tersebut merupakan gabungan dari berbagai sumber energi gelombang. Maka, pengaruh gelombang angin perlu ditambahkan pada komponen gelombang *swell* hasil model ketika arah gelombang kurang dari 265° seperti pada **Persamaan 4**. Pemilihan bobot gelombang angin yang kurang dari 265° tersebut dilakukan dengan alasan karena umumnya arah dominan gelombang angin pada lokasi pengamatan lebih banyak dari barat dan barat daya.

$$H_S = H_{S<swell>} + H_{S<wind>} \text{ if } Dir < 265^\circ \quad \dots (4)$$

Gambar 8 menunjukkan perbandingan tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang dan arah gelombang, antara data pengamatan dan hasil model. Kesesuaian antara data pengamatan dan hasil model dapat terlihat setelah dilakukan pengolahan data dengan mempertimbangkan pengaruh angin lokal.

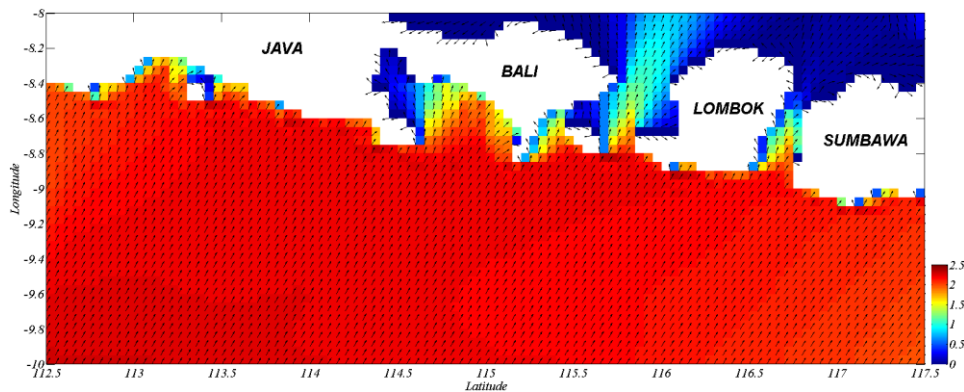


Gambar 8. Perbandingan tinggi gelombang signifikan, periode puncak dan arah gelombang hasil model gelombang *swell* yang telah mendapat pengaruh angin lokal dengan data pengamatan.

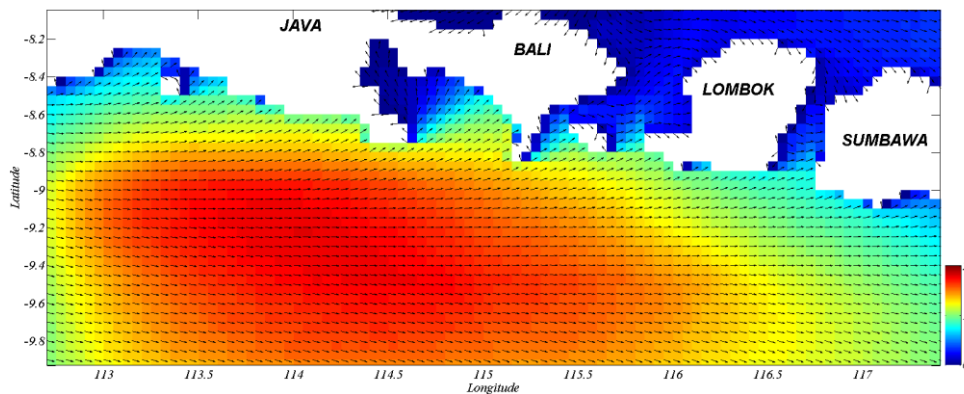
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 9 dan **Gambar 10** merupakan hasil simulasi skema awal pemodelan pada *nested* grid #1, yaitu simulasi gelombang *swell* saat musim kering, dan simulasi gelombang angin saat musim basah; dimana musim kering diwakili oleh simulasi pada bulan Mei, sedangkan musim basah diwakili oleh bulan Desember. Terlihat bahwa gelombang mengalami transformasi, baik tinggi maupun arahnya saat

menjalar dari lepas pantai menuju ke pantai. Tinggi gelombang semakin berkurang dan arah gelombang mengalami pembelokan.

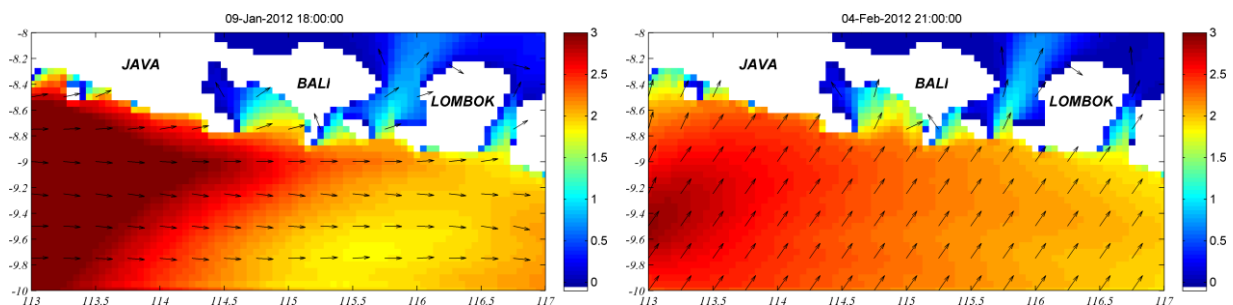


Gambar 9. Tinggi gelombang signifikan (dalam m) dan arah gelombang pada tanggal 20 Mei 2010 untuk grid #1.



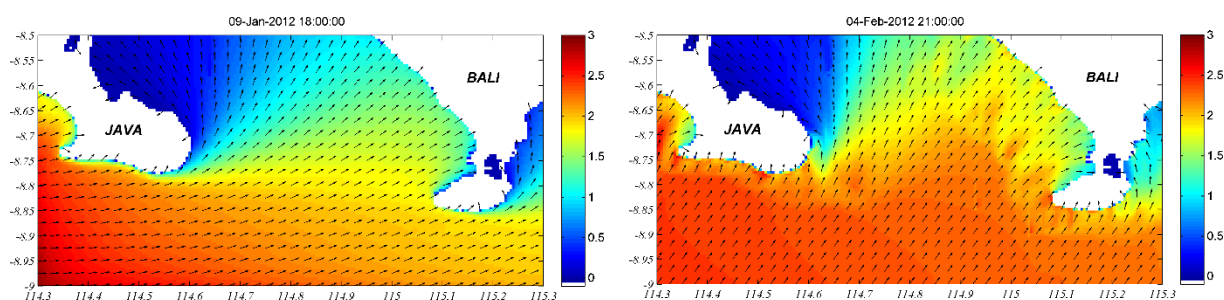
Gambar 10. Tinggi gelombang signifikan (dalam m) dan arah gelombang pada tanggal 18 Desember 2010 untuk grid #1.

Simulasi kemudian difokuskan pada dua kejadian gelombang saat pengukuran lapangan dilakukan. Pada **Gambar 8**, dapat diketahui bahwa pada tanggal 9 Januari 2012 terlihat adanya gelombang tinggi namun periode gelombangnya pendek. Hal ini mengindikasikan bahwa saat itu terjadi gelombang badai atau gelombang angin. Gelombang *swell* dengan periode panjang terjadi pada tanggal 4 Februari 2012. Hasil model *nested* grid untuk dua kejadian tersebut dapat dilihat pada **Gambar 11**, **Gambar 12**, dan **Gambar 13** berikut:

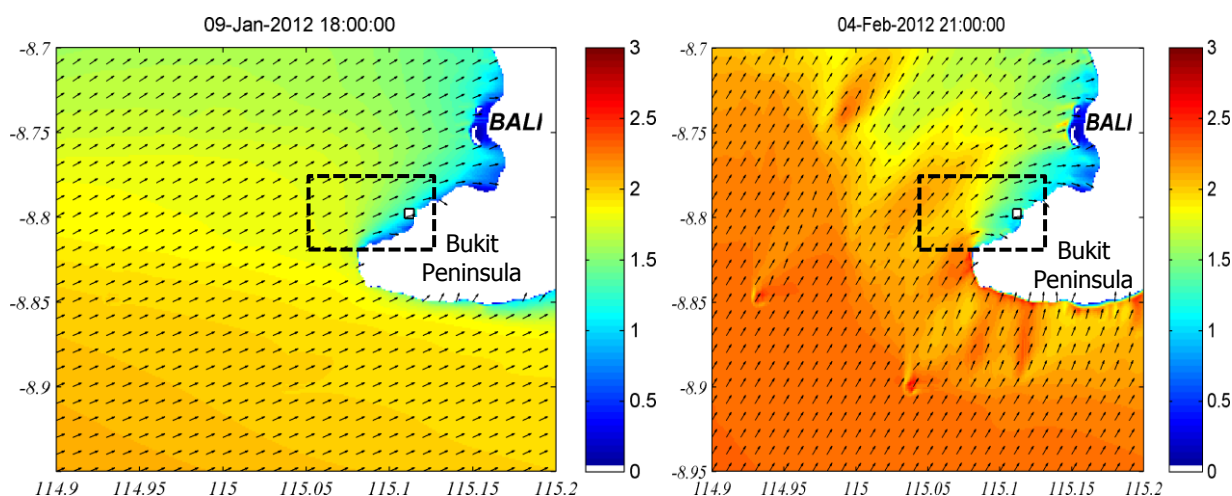


Gambar 11. Kejadian saat terjadinya gelombang angin pada 9 Januari (kiri) dan kejadian saat terjadinya gelombang *swell* pada 4 Februari (kanan) pada grid #1.

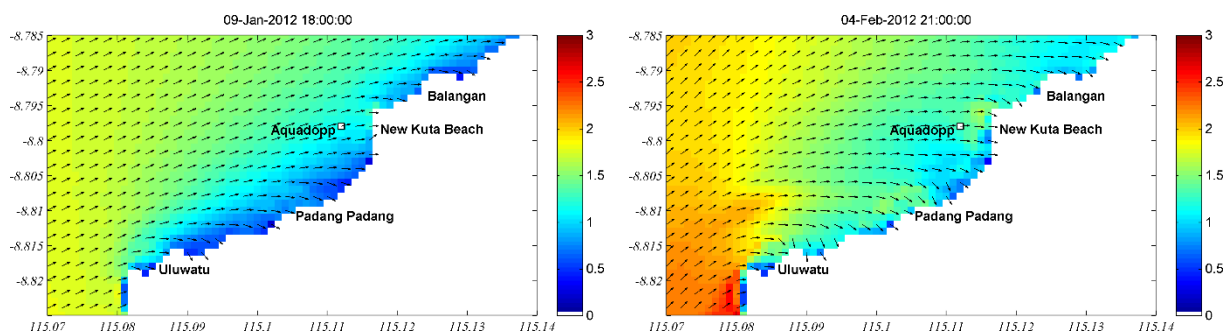
Transformasi Gelombang *Swell* dan Gelombang Angin di Perairan Selatan Bali



Gambar 12. Kejadian saat terjadinya gelombang angin pada 9 Januari (kiri) dan kejadian saat terjadinya gelombang *swell* pada 4 Februari (kanan) pada grid #2.



Gambar 13. Kejadian saat terjadinya gelombang angin pada 9 Januari (kiri) dan kejadian saat terjadinya gelombang *swell* pada 4 Februari (kanan) pada grid #3.



Gambar 14. Gambar yang diperbesar dari kejadian saat terjadinya gelombang angin pada 9 Januari (kiri) dan kejadian saat terjadinya gelombang *swell* tanggal 4 Februari (kanan).

Dari hasil simulasi pada **Gambar 9 s.d. Gambar 14** di atas terlihat jelas adanya penurunan tinggi gelombang dan perubahan arah gelombang dari lepas pantai menuju ke pantai. Tinggi gelombang di lepas pantai terutama di bagian terluar batas model, mencapai lebih dari 2 m. Tinggi gelombang ini kemudian berkurang hingga mencapai sekitar 1 m di area dekat pantai. Hal ini terjadi baik pada saat kejadian gelombang angin maupun saat terjadinya gelombang *swell*. Namun saat terjadi gelombang angin dimana angin dominan bertiup dari arah barat dan barat daya, tinggi gelombang yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan saat

terjadinya gelombang *swell*. Pada saat menuju pantai, gelombang juga mengalami refraksi.

Pada **Gambar 12**, terlihat bahwa gelombang *swell* dengan periode panjang saat mencapai pantai mengalami refraksi yang lebih besar ke arah selatan dibandingkan dengan gelombang angin. Gelombang angin yang semula arahnya dari barat dibelokkan sehingga saat mencapai pantai lokasi pengamatan, arahnya menjadi tegak lurus pantai. Sedangkan gelombang *swell* yang semula arahnya dari barat daya, mengalami refraksi yang lebih kuat di sekitar Bukit Peninsula, sehingga gelombang terefraksi ke arah selatan.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa selain dipengaruhi oleh gelombang angin, gelombang *swell* juga memberikan pengaruh yang besar terhadap kondisi gelombang di perairan selatan Bali. Gelombang *swell* yang berasal dari Samudera Hindia menjalar dari arah barat daya memasuki perairan selatan Bali dan kemudian mengalami refraksi yang kuat di sekitar Bukit Peninsula. Dibandingkan dengan gelombang angin, gelombang *swell* menghasilkan tinggi gelombang yang lebih besar baik saat di lepas pantai maupun di area dekat pantai. Tingginya gelombang *swell* ini berpotensi merusak struktur pantai dan mengganggu aktivitas yang terjadi di pantai jika terjadi superposisi dengan gelombang pasang-surut terutama saat terjadi pasang purnama. Karenanya perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan mempertimbangkan juga kondisi gelombang pasang surut.

DAFTAR RUJUKAN

- ASR, PT. *Pengumpulan Data Lapangan dan Pemodelan Numerik Hidrodinamika, Stabilisasi, Pantai New Kuta Beach*. Laporan intern perusahaan, tidak dipublikasikan. Jakarta: PT. ASR.
- Booij, N. R. R. C., Ris, R. C. & Holthuisjen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of geophysical research: Oceans*, 104 (C4), 7649-7666.
- Choi, B. H., Eum, H. M. & Woo, S. B. (2003). Modeling of coupled tide-wave-surge process in the Yellow Sea. *Ocean Engineering*, 30 (6), 739-759.
- Habibie, M. N. & Permana, D., S. (2013). SIMULASI GELOMBANG EKSTRIM AKIBAT SWELL DI INDONESIA MENGGUNAKAN MODEL WAVEWATCH-III. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 14 (2), 98-108.
- Mettlach, T., Wang, D. & Wittmann, P. (1994). Analysis and prediction of ocean swell using instrumented buoys. *Atmospheric and Oceanic Technology*, 11 (2), 506-524.
- Nugraheni, I. R., Wijayanti, D. P., Sugianto, D., N. & Ramdhani, A. (2017, February). Study of inundation events along the southern coast of Java and Bali, Indonesia (case studies 4-9 June 2016). In ___ (Ed.), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 55 No 1, pp. 012-014. IOP Publishing.
- Tolman, H., L. (2009). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14*. Technical Report. NOAA/NWS/NCEP/MMAB.
- Young, I. R. (1999). *Wind generated ocean waves*. Kidlington, Oxford: Elsevier Science, Ltd.