

## Identifikasi Tinggi dan Jarak Genangan Daerah Rawan Bencana Rob di Wilayah Pantai Utara Jawa yang Disebabkan Gelombang Badai Pasang dan Variasi Antar Tahunan

**Farrah Hanifah**

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung,  
E-mail: farrah@oceanography.itb.ac.id

**Nining Sari Ningsih**

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung  
E-mail: nining@fitb.itb.ac.id

### Abstrak

Tinggi dan jarak genangan rob yang disebabkan oleh gelombang badai pasang (storm tide) dan variasi antar tahunan di sepanjang pantai utara Jawa disimulasikan dengan menggunakan model hidrodinamika 2D dengan fasilitas Flooding and Drying (FAD). Dalam simulasi tersebut, digunakan batimetri dari General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), peta DISHIDROS TNI-AL, dan topografi daerah utara Pulau Jawa berdasarkan data Digital Elevation Model (DEM) dari The NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Gaya penggerak gelombang badai pasang yang digunakan adalah data elevasi pasang surut yang diperoleh dari hasil prediksi Global Tidal Model ORI.96 dan data angin serta tekanan udara yang diperoleh dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Naiknya elevasi yang disebabkan badai (surge) tertinggi di kawasan pesisir utara Jawa dan Madura terjadi di Tanjung Pangkah (Jawa; 18,6 cm) pada Januari 2008. Jarak genangan maksimum ( $S_{max}$ ) gelombang badai pasang serta run-up yang menyertainya ( $H$ ) terjadi di Sampang (Madura;  $S_{max} = 6552,3$  m,  $H = 1,559$  m) pada November 2007. Tinggi genangan tertinggi terjadi pada Januari 2008 yaitu pada saat La-Niña kuat. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan muka laut akibat La-Niña cukup berperan menambah kenaikan muka laut yang diakibatkan gelombang badai pasang.

**Kata-kata Kunci:** ENSO, genangan, gelombang badai pasang, utara Jawa.

### Abstract

Height and distance inundation caused by storm tide and interannual variations along the northern coast of Java have been simulated by using a 2D hydrodynamic model with Flooding and Drying facilities (FAD). In the simulation model, bathymetry data was derived from General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) and DISHIDROS Indonesian Navy maps, whereas topography of the northern area of Java was derived from Digital Elevation Model (DEM) of The NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Tidal elevation obtained from Global Tidal Model prediction ORI.96 and wind and air pressure data of National Centers for Environmental Prediction (NCEP) were used as generating force of storm tide. The highest surge in the northern coast of Java and Madura occurred in Pangkah Cape (Java; 18.6 cm) in January 2008. Maximum inundation distance ( $S_{max}$ ) and run-up ( $H$ ) existed in Sampang (Madura;  $S_{max} = 6552.3$  m,  $H = 1,559$  m) in November 2007. The highest inundation occurred in January 2008 during strong La-Niña period, this suggests that La-Niña have significant contribution to increase sea level rise caused by storm tide.

**Keywords:** ENSO, flood, storm tide, northern part of Java.

### 1. Pendahuluan

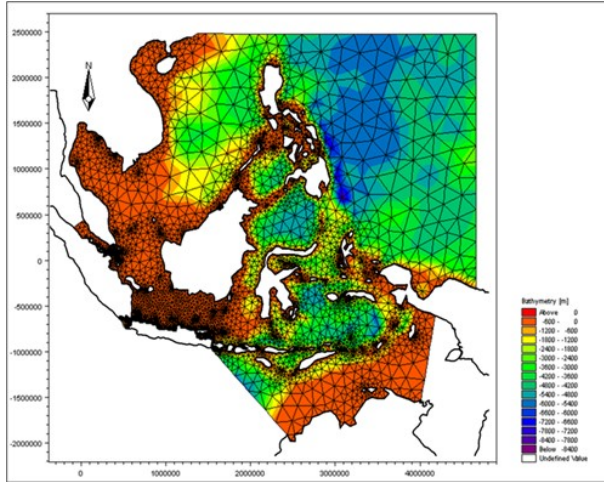
Bencana banjir dan kekeringan semakin sering terjadi, bahkan di beberapa daerah, banjir telah menenggelamkan ribuan rumah, prasarana transportasi, sawah, tambak, dan menewaskan puluhan nyawa manusia. Sebagai contoh kejadian rob pada 24-27 November 2007 telah mengejutkan warga ibukota dan masyarakat pesisir Utara Jawa karena luas genangannya tidak seperti biasanya (Saputri, 2009). Hal ini juga terjadi pada awal tahun 2008, daerah yang paling parah terendam adalah jalan tol menuju bandara Soekarno Hatta di Jakarta yang berakibat ditutupnya jalan tol. Di lapangan lepas landas bandara Soekarno

Hatta terendam air, jarak pandang yang sangat minim, sehingga 233 penerbangan domestik maupun internasional dibatalkan. Apalagi dengan adanya perubahan iklim, banjir dan kekeringan menjadi bencana rutin.

Dalam Diposaptono, dkk., 2009 disebutkan bahwa perubahan iklim mengakibatkan laju penguapan menjadi lebih cepat sebagai dampak kenaikan suhu bumi dan meningkatnya kelembaban udara. Pada skala regional, panas dan kelembaban berlebih akan menimbulkan siklon tropis yang kuat. Curah hujan juga akan bertambah terutama di daerah pesisir dan sepanjang lintasan siklon tropis. Wilayah Asia



fleksibel. Daerah model (**Gambar 2**) didiskritisasi dengan jumlah elemen 89.967 dan dengan ukuran grid bervariasi, yaitu  $\pm 200$  km di Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik, 150 m di Teluk Jakarta dan 250 m di pantai Utara Jawa dan Madura.



**Gambar 2.** Domain komputasi dan elemen grid di perairan Indonesia, Laut Cina Selatan, Filipina, dan perairan barat Samudera Pasifik.

Simulasi dilakukan menjadi dua tahap yaitu untuk kasus 1 dari tanggal 12 November – 13 Desember 2007, yang bersesuaian dengan kejadian Badai Hagibis (19 – 27 November) dan Mitag (20 - 27 November) serta untuk kasus 2 dari tanggal 8 - 22 Januari 2008 berdasarkan kejadian Badai Tropis 01W (13 - 16 Januari 2008) di Samudera Pasifik dan Laut Cina Selatan. Sebagai uji coba dan verifikasi model, pada tahap pertama dilakukan simulasi dengan hanya menggunakan pasang surut sebagai gaya pembangkit arus. Hasil dari simulasi (elevasi dan kecepatan arus) diverifikasi di beberapa titik yang mewakili domain model. Elevasi di Tanjung Priok diverifikasi dengan data hasil peramalan pasang surut DISHIDROS TNI-AL, dan untuk Pondok Dayung dan Sunda Kelapa elevasi hasil model diverifikasi dengan data hasil pengamatan elevasi muka air yang dilakukan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Kedua sumber data observasi tersebut menggunakan waktu lokal dan *Mean Sea Level*

(MSL) sebagai acuannya. Verifikasi di daerah lain menggunakan model pasang surut global TPXO6. Pada tahap berikutnya, simulasi dilakukan tidak hanya menggunakan pasang surut sebagai gaya pembangkit arus, tetapi juga memasukan faktor kecepatan angin, tekanan atmosfer, serta badai yang meliputi lintasan, depresi tekanan atmosfer, kecepatan, dan diameter badai sebagai input untuk mensimulasikan gelombang badai pasang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Verifikasi model hidrodinamika

Verifikasi hasil simulasi model elevasi muka air dan kecepatan arus dilakukan di sepanjang pesisir Laut Jawa. Lokasi verifikasi elevasi sebanyak 13 titik dapat dilihat pada **Gambar 3**, yaitu: Tanjung Lesung, Sunda Kelapa, Pondok Dayung, Tanjung Priok, Pamanukan, Pemalang, Genuk, Pasuruan, Katapang, Tanjung Menjangan, Pontianak, Pleihari, dan Makassar. Secara umum perbandingan hasil model dengan TPXO6, data pengamatan BIG, dan peramalan DISHIDROS cukup baik dengan nilai koefisien korelasi berkisar antara 0,7466 di Pemalang (Titik 6, **Gambar 3**) - 0,9995 di Tanjung Priok (Titik 4, **Gambar 3**). Nilai *root-mean square error* (RMSE) berkisar antara 0,0013 m di Tanjung Lesung (Titik 1, **Gambar 3**) - 0,3084 m di Pontianak (Titik 11, **Gambar 3**). Komponen kecepatan arus-*u* yang dibandingkan dengan TPXO6 memiliki nilai koefisien korelasi dan RMSE yang masing-masing berkisar antara 0,526 - 0,942 dan 0,005 - 0,197 m/s, sedangkan untuk komponen kecepatan arus-*v* nilai koefisien korelasi dan RMSE masing-masing berkisar antara 0,043 - 0,934 dan 0,013 - 0,238 m/s. Nilai koefisien korelasi dan RMS error secara lengkap terdapat pada **Tabel 1**.

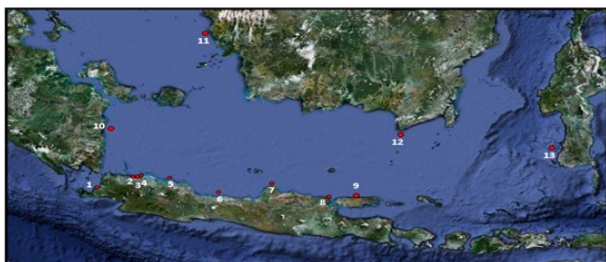
Pada kasus dengan gaya pembangkit pasang surut, kecepatan angin, dan tekanan atmosfer dilakukan verifikasi dengan membandingkan data lintasan depresi tekanan badai dengan lintasan *dome* (naiknya muka air akibat depresi tekanan atmosfer) hasil simulasi model untuk kedua waktu simulasi. Hasil verifikasi memperlihatkan bahwa lintasan *dome* sesuai dengan data lintasan tekanan badai pada November 2007 yang diambil dari <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/year/np/2007.html> en

**Tabel 1.** Koefisien korelasi dan nilai RMS error untuk elevasi muka air dan kecepatan arus arah barat-timur (*u*) dan arah utara-selatan (*v*).

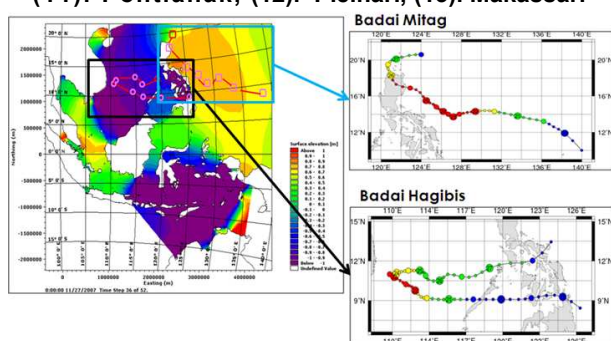
No.	Stasiun	Elevasi muka air ( <i>z</i> )		Komponen Kecepatan- <i>u</i>		Komponen Kecepatan- <i>v</i>	
		Koefisien korelasi	Koefisien korelasi	Koefisien korelasi	RMS error (m/s)	Koefisien korelasi	RMS error (m/s)
1	Tanjung Lesung	0,9991	0,0013	0,942	0,047	0,934	0,042
2	Sunda kelapa	0,9120	0,1614	-	-	-	-
3	Pondok Dayung	0,8931	0,1846	-	-	-	-
4	Tanjung Priok	0,9995	0,0552	-	-	-	-
5	Pamanukan	0,9015	0,0094	0,941	0,042	0,874	0,034
6	Pemalang	0,7466	0,1595	0,912	0,005	0,043	0,013
7	Genuk	0,7517	0,1921	0,932	0,197	0,124	0,238
8	Tanjung Pangkah	0,8398	0,2735	0,833	0,081	0,290	0,022
9	Katapang	0,8632	0,2594	0,701	0,123	0,522	0,031
10	Tanjung Menjangan	0,8414	0,2408	0,857	0,048	0,678	0,114
11	Pontianak	0,7732	0,3084	0,741	0,073	0,957	0,095
12	Pleihari	0,8432	0,2994	0,669	0,161	0,828	0,092
13	Makassar	0,8128	0,2450	0,526	0,019	0,598	0,071



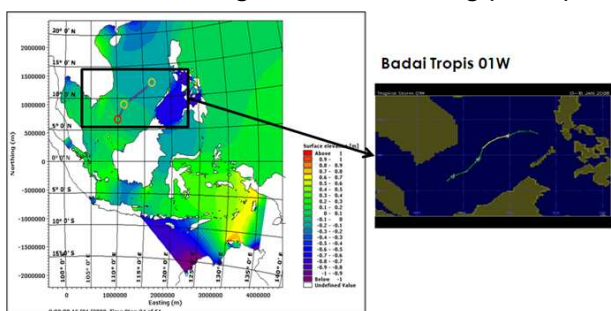
(Gambar 4) dan Januari 2008 yang diambil dari [http://weather.unisys.com/hurricane/w\\_pacific/2008/01W](http://weather.unisys.com/hurricane/w_pacific/2008/01W) (Gambar 5).



**Gambar 3.** Lokasi verifikasi elevasi hasil simulasi pasang surut dan kecepatan arus hasil model: (1). Tanjung Lesung, (2). Sunda Kelapa, (3). Pondok Dayung, (4). Tanjung Priok, (5). Pamanukan, (6). Pemalang, (7). Genuk, (8). Pasuruan, (9). Katapang, (10). Tanjung Menjangan, (11). Pontianak, (12). Pleihari, (13). Makassar.



**Gambar 4.** Lintasan *dome* hasil model (kiri) dan lintasan badai hagibis dan badai mitag (kanan).



**Gambar 5.** Lintasan *dome* hasil model (kiri) dan lintasan badai tropis 01W (kanan).

### 3.2 Run-up dan jarak genangan

Berdasarkan hasil simulasi model pada November-Desember 2007 (kasus 1) diketahui terdapat 10 titik rawan genangan di sepanjang pesisir utara Jawa dan Madura dengan *surge* lebih dari 10 cm, yaitu: Merak, Banten, Penjarangan, Cilincing, Pamanukan, Indramayu, Losari, Semarang, Surabaya, dan Sampang. Besar *surge* maksimum di daerah-daerah tersebut diperlihatkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut diketahui bahwa *surge* maksimum terjadi di Losari dengan ketinggian 16,7 cm. Pola *surge* di daerah Selat Madura yaitu di Surabaya dan Sampang terlihat seperti pola pasang surut, hal ini disebabkan adanya efek pasang surut yang cukup besar dan pengaruh angin yang kecil. Kenaikan muka air pada tanggal 29 November dapat disebabkan

oleh *swell* dari badai Hagibis dan Mitag yang terjadi di Laut Cina Selatan antara tanggal 19-27 November 2007. Sedangkan kenaikan muka air pada tanggal 8 Desember dapat disebabkan oleh penurunan tekanan udara lokal dibandingkan dengan tekanan udara lokal rata-rata selama 10 tahun. Sedangkan, berdasarkan hasil simulasi model pada Januari 2008 (kasus 2) diketahui terdapat 10 titik rawan genangan di sepanjang pesisir utara Jawa dan Madura dengan *surge* lebih dari 10 cm, yaitu: Mauk, Teluk Jakarta, Pamanukan, Brebes, Semarang, Tj. Pangkah, Krembangan, Surabaya, Jenu, dan Robenrawa. Besar *surge* maksimum di daerah-daerah tersebut diperlihatkan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut diketahui bahwa *surge* maksimum terjadi di Tanjung Pangkah 18,6 cm. Pola *surge* di daerah Selat Madura yaitu di Surabaya dan Robenrawa terlihat seperti pola pasang surut, hal ini juga dapat diakibatkan karena efek dari pasang surut yang cukup besar dan pengaruh angin yang kecil. Kenaikan muka air pada tanggal 19 Januari disebabkan oleh *swell* yang menjalar dari Badai Tropis 01W yang terjadi di Laut Cina Selatan antara tanggal 13-16 Januari 2008.



**Gambar 6.** Tinggi gelombang badai (*surge*) maksimum di 10 lokasi rawan bencana pada kasus 1 di sepanjang pantai utara Jawa-Madura: (1). Merak, (2). Banten, (3). Penjarangan, (4). Cilincing, (5). Karawang, (6). Indramayu, (7). Losari, (8). Semarang, (9). Surabaya, (10). Sampang. Sumber peta: Google Earth.



**Gambar 7.** Tinggi gelombang badai (*surge*) maksimum di 10 lokasi rawan bencana pada kasus 2 di sepanjang pantai utara Jawa-Madura: (1). Mauk, (2). Teluk Jakarta, (3). Pamanukan, (4). Brebes, (5). Semarang, (6). Tanjung Pangkah, (7). Krembangan, (8). Surabaya, (9). Jenu, (10). Robenrawa. Sumber peta: Google Earth.

Jarak genangan terjauh akibat badai (*storm*) pada kasus 1 di DKI Jakarta terjadi di Cilincing sejauh 608,1 m, di Jawa Barat 495,2 m yang terjadi di Indramayu, di Jawa Tengah terjadi di Semarang sejauh 305,9 m dari garis pantai, di Jawa Timur terjadi di Sidoarjo dengan jarak 2146,5 m, Madura jarak genangan badai terjauh terjadi di Tanjung Modung sejauh 566,3 m. Sedangkan jarak genangan terjauh akibat badai pada kasus 2 di Provinsi

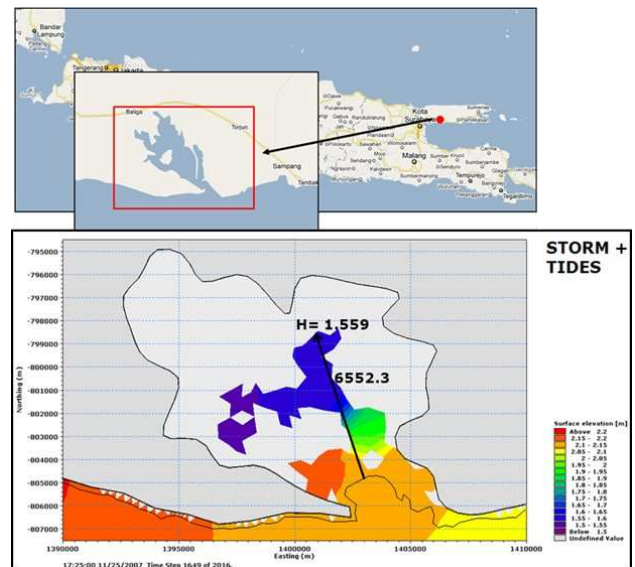
Banten terjadi di daerah Mauk dengan jarak 192,69 m, di DKI Jakarta terjadi di Penjaringan sejauh 1386,54 m, di Jawa Barat mencapai 813,73 m yang terjadi di Pamanukan, di Jawa Tengah terjadi di Semarang sejauh 1628,04 m dari garis pantai, di Jawa Timur terjadi di Surabaya dengan jarak 1556,92 m, di Madura terjadi di Sampang sejauh 386,17 m.

Jarak genangan terjauh akibat gelombang badai pasang (badai dan pasang surut / *storm tide*) di pesisir utara Jawa dan Madura untuk kasus 1 terjadi di Sampang (Titik 15 pada Gambar 6, serta Gambar 8) sejauh 6552,3 m, dengan tinggi *run-up* 1,559 m, dan tinggi genangan 0,07 m. Sedangkan, jarak genangan terdekat terjadi di Merak dengan jarak genangan 283,6 m, tinggi *run-up* 0,427 m, dan tinggi genangannya 0,66 m. Jarak genangan i terjauh akibat gelombang badai pasang di pesisir utara Jawa dan Madura untuk kasus 2 terjadi di Sampang sejauh 6361,43 m, dengan tinggi *run-up* 1,38 m, dan tinggi genangan 0,07 m. Sedangkan, jarak terdekat terjadi di Mauk dengan jarak genangan 293,97 m, tinggi *run-up* 0,47 m, dan tinggi genangannya 0,16 m.

Daerah dengan nilai *run-up* tertinggi belum tentu sama dengan daerah - daerah dengan genangan terjauh. Di Provinsi Banten, daerah dengan *run-up* tertinggi terjadi di Mauk setinggi 0,5 m, sedangkan genangan tertinggi terjadi di Tanjung Pontang yaitu 0,373 m. *Run-up* dan genangan tertinggi di DKI Jakarta terjadi di Tanjung Priok dan Kamal Muara dengan ketinggian masing-masing 0,527 m dan 0,422 m. Daerah Pamanukan merupakan daerah dengan *run-up* maksimum di Jawa Barat dengan ketinggian mencapai 0,537 m, sedangkan genangan tertinggi sebesar 0,515 m terjadi di Tanjung Karawang. Di Jawa Tengah *run-up* dan genangan tertinggi terjadi di Rembang dan Brebes dengan ketinggian masing-masing 0,649 m dan 0,675 m. Di Jawa Timur, *run-up* setinggi 1,615 m terjadi di Bangil dan genangan tertinggi terjadi di Tanjung Pangkah yaitu setinggi 0,463 m. Selanjutnya, Sampang dan Katapang merupakan daerah dengan *run-up* dan genangan tertinggi di Madura dengan ketinggian masing-masing 1,148 m dan 0,404 m.

Secara keseluruhan (dari 2 kasus, yaitu kasus 1 untuk simulasi November 2007 dan kasus 2 untuk Januari 2008) daerah dengan genangan badai terjauh terjadi di Sidoarjo dengan jarak 2146,5 m pada 26 November 2007. Jarak genangan terjauh akibat gelombang badai pasang terjadi di Sampang sejauh 6552,3 m dengan tinggi *run-up* 1,559 m, dan tinggi genangan 0,07 m pada 25 November 2007. *Run-up* tertinggi akibat gelombang badai pasang terjadi di Sidoarjo sebesar 2,33 m pada 23 November 2007. Sedangkan daerah genangan tertinggi terdapat di Brebes sebesar 0,675 m pada 18 Januari 2008. Tinggi genangan tertinggi terjadi pada pada kasus 2, yaitu pada saat *La-Niña* kuat dengan adanya Badai Tropis 01W dengan diameter 75 km, kecepatan angin 28-65 m/s dan tekanan terendah 985 hPa. Padahal badai pada kasus 2 lebih kecil jika dibandingkan dengan kekuatan badai pada kasus 1 (Badai Hagibis dengan diameter 260 km, kecepatan angin 65-130 m/s dan tekanan terendah 970 hPa dan Badai Mitag dengan diameter 300 km, kecepatan angin 65-150 m/s dan

tekanan terendah 960 hPa). Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan muka laut akibat *La-Niña* lebih berperan.



Gambar 8. Jarak genangan dan tinggi *run-up* (badai + pasang surut) di Sampang pada tanggal 25 November 2007 jam 17:25 UTC.

#### 4. Kesimpulan

Kejadian gelombang badai pasang (*storm tide*) yang disebabkan pasang surut astronomis dan gelombang badai yang dibangkitkan oleh Badai Hagibis dan Mitag pada November-Desember 2007 serta Badai Tropis 01W pada Januari 2008 telah disimulasikan dan dihitung dengan menggunakan model hidrodinamika 2D berdasarkan metoda *finite volume* dan *instructured grid* (versi 2D dari software Mike 21). Berdasarkan hasil simulasi model yang telah dilakukan, didapatkan bahwa hasil verifikasi elevasi simulasi dengan TPX06, data pengamatan BIG, dan peramalan DISHIDROS TNI-AL secara umum cukup baik dengan nilai koefisien korelasi dan RMSE masing-masing berkisar antara 0,7466 - 0,9995 dan 0,0013 - 0,7854 m. Sedangkan, hasil verifikasi kecepatan arus hasil simulasi dengan hasil prediksi TPX06 memiliki nilai koefisien korelasi dan RMSE masing-masing berkisar antara 0,526 - 0,942 dan 0,005 - 0,197 m/s untuk komponen *u*, serta untuk komponen *v* nilai koefisien korelasi dan RMSE masing-masing berkisar antara 0,043 - 0,934 dan 0,013 - 0,238 m/s. Daerah dengan jarak genangan akibat badai terjauh untuk kasus 1 (November 2007) terjadi di Sidoarjo sejauh 2146,5 m pada 26 November 2007, sedangkan untuk kasus 2 (Januari 2008) terjadi di Surabaya sejauh 1556,9 m pada 21 Januari 2008. Jarak genangan terjauh akibat gelombang badai pasang (*storm tide*) untuk kasus 1 terjadi di Sampang sejauh 6552,3 m dengan tinggi *run-up* 1,6 m, dan tinggi genangan 0,07 m pada 25 November 2007, sedangkan untuk kasus 2 terjadi di Sampang sejauh 6361,4 m dengan tinggi *run-up* 1,4 m, dan tinggi genangan 0,07 m pada 22 Januari 2008. *Run-up* tertinggi akibat gelombang badai pasang untuk kasus 1 terjadi di Sidoarjo sebesar 2,3 m pada 23 November 2007, sedangkan untuk kasus 2 terjadi di Surabaya sebesar 1,3 m. Tinggi genangan tertinggi untuk

kasus 1 terdapat di Pamekasan sebesar 0,66 m pada 24 November 2007, sedangkan kasus 2 terdapat di Brebes sebesar 0,68 m pada 18 Januari 2008. Tinggi genangan tertinggi terjadi pada pada kasus 2, yaitu pada kondisi *La-Niña* kuat, hal ini menunjukkan bahwa *La-Niña* mempunyai peran yang signifikan dalam kenaikan muka laut yang disebabkan gelombang badai pasang.

## Daftar Pustaka

- Collins, M., 2000, *The El Niño–Southern Oscillation in the Second Hadley Centre Coupled Model and Its Response to Greenhouse Warming*, Bracknell.
- DHI Water and Environment, 2007, *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM; Hydrodynamics and Transport Module, Scientific Documentation*, DHI Software, Denmark.
- Diposaptono, S., Budiman, dan Agung, F., 2009, *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*, Buku Ilmiah Populer, Bogor.
- IOC, IHO, dan BODC, 2003, *General Bathymetric Chart of the Oceans, Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas*, BODC, Liverpool, U.K.
- Matsumoto, K., Ooe, M., Sato, T., dan Segawa, J., 1996, *Harmonic Analysis of Data from Crossover Points. A Collection of Global Ocean Tide Models CD ROM*, distributed by JPL, PO. DAAC and CSR.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woolen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetma, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D., 1996, *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77, 437-471.
- Saputri, D.F., 2009, *Kajian Run-up dan Genangan Rob di Pesisir Jakarta Utara yang disebabkan Pasang Surut (Studi Kasus: 24 – 27 November 2007)*, Tugas Akhir, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.
- SRT, 2007, Shuttle Radar Topographic Mission X-SAR/SRTM.
- <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/year/wnp/2007.html.en> (diakses pada Juli, 2010)
- [http://weather.unisys.com/hurricane/w\\_pacific/2008/01W](http://weather.unisys.com/hurricane/w_pacific/2008/01W) (diakses pada Juli, 2010)