

OPTIMASI DESAIN RENCANA TANGGUL LEPAS PANTAI NCICD DI TELUK JAKARTA TERHADAP KEMUNGKINAN TSUNAMI AKIBAT LETUSAN GUNUNG ANAK KRAKATAU

OPTIMIZED JAKARTA OUTER SEA DIKE PLAN OF NCICD PROGRAM TO WAVE RUN-UP OF A POSSIBLE ANAK-KRAKATAU TSUNAMI

**Huda Bachtiar¹⁾, Riam Badriana²⁾, Leo Sembiring¹⁾, Didit Adytia²⁾, I Putu Samskerta¹⁾,
Andonowati²⁾, dan E. van Groesen²⁾**

¹⁾ Puslitbang-SDA, Kementerian Pekerjaan Umum

²⁾ Lab Math-Indonesia

Email: huda.bachtiar@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu rencana pengembangan infrastruktur di Teluk Jakarta adalah dengan membangun tanggul lepas pantai yang akan membentuk kolam retensi. Pembangunan kolam retensi tersebut dilakukan apabila fase perkuatan tanggul yang ada tidak dapat menangani permasalahan banjir Jakarta. Berdasarkan master plan National Capital Integrated Coastal Development (NCICD), tanggul lepas pantai bentuk Garuda diusung sebagai "iconic" negara Indonesia. Namun demikian, bentuk Garuda tersebut belum diinvestigasi dari segi hydraulic. Paper ini akan membahas optimum layout bentuk Garuda dari sisi propagasi gelombang. Hasil simulasi dengan $\frac{1}{4}$ energi gelombang dari tsunami Krakatau 1883 menunjukkan tinggi gelombang di kepala Garuda dapat mencapai elevasi maksimum 11 m dan elevasi minimum 6 m. Alternatif desain dengan merotasi layout tanggul lepas pantai ke arah timur 15° (layout paralel terhadap arah datang gelombang) merupakan salah satu bentuk optimum dari desain tanggul lepas pantai stage-B.

Kata Kunci: tsunami, tanggul lepas pantai, Teluk Jakarta, NCICD

ABSTRACT

The infrastructural plans in the Jakarta Bay to reduce risks of flooding in Jakarta city comprise a large sea dike that encloses a retention lake. Part of the planned dike has the shape of the iconic Garuda bird. This shape is based on NCICD Stage-B Master Plan, where the form shape has not been tested on hydraulic perspective. Therefore, testing of wave run-up has been investigated to find the optimum form of the Garuda Shape. The simulation of wave run-up uses Hawassi Model, where the model is governed by Boussinesq wave equation with considering wave-wave interaction. This paper shows that if in the future an explosion of Anak Krakatau will occur with strength 1/4th of the original Karkatau 1883 explosion, wave crests of 11m and troughs of 6m may collide against the bird's head. As an alternative example, a more optimized design of the dike is constructed that reduces the maximal wave effects considerably.

Key words: tsunami, outer sea dike, Jakarta Bay, NCICD Program

PENDAHULUAN

Ibu kota negara Indonesia Jakarta mengalami banjir secara reguler akibat penurunan muka tanah, meningkatnya run-off akibat kenaikan curah hujan, dan kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim. Program NCICD dirancang untuk menangani banjir Jakarta. Pada program stage-B adalah menangani banjir dengan membangun tanggul lepas pantai dengan menutup Teluk Jakarta (TELUK JAKARTA) menjadi kolam retensi. Muka air

di dalam kolam retensi dikendalikan dengan menggunakan pompa berkapasitas besar agar muka air tetap terjaga. Berdasarkan master plan NCICD (2014), tanggul lepas pantai bentuk Garuda diusung sebagai ikonik negara. Bentuk garuda tersebut bersifat cekung (*konvex*) dan kepala garuda menghadap utara (lihat Gambar 1). Pulau buatan dibuat di dalam tanggul lepas pantai dan sebagian di luar tanggul lepas pantai.

Muka air di Jakarta relatif normal, dimana tinggi gelombang signifikan <2 m, tunggang pasang surut sekitar 1 m, dan mengalami gelombang pasang akibat *storm surge* yang relatif jarang. Selain itu, kenaikan muka air laut <1 m sampai seratus tahun mendatang.

Untuk membangun infrastruktur yang masif seperti tanggul lepas pantai, maka sebagai negara yang memiliki area dengan aktivitas seismik yang cukup aktif sangat penting untuk memperhitungkan gempa dan kemungkinan terjadinya tsunami. Ada dua sumber tsunami yang dapat terjadi di TELUK JAKARTA, yaitu: (1) tsunami akibat aktivitas tektonik di Samudera Hindia dimana gelombang dapat berpropagasi melalui selat Sunda dan menuju TELUK JAKARTA; (2) tsunami akibat kemungkinan aktivitas erupsi gunung merapi Krakatau, seperti kejadian pada tahun 1883. Aktivitas erupsi gunung Krakatau yang berlokasi di Selat Sunda menyebabkan transmisi gelombang ke arah TELUK JAKARTA. Berdasarkan rekaman data elevasi muka air di TELUK JAKARTA dapat mencapai 5 m. Pertumbuhan aktivitas Anak Krakatau (AK) menjadi salah satu perhatian, dimana kemungkinan tsunami dapat disebabkan oleh gunung AK, walaupun dimungkinkan dengan energi gelombang yang lebih kecil.

Jurnal ini membahas tinggi gelombang akibat kemungkinan tsunami AK di tanggul Jakarta. Tinggi gelombang akibat AK tidak dapat diprediksi, maka simulasi ini menggunakan $\frac{1}{4}$ energi gelombang yang disebabkan tsunami Krakatau 1883 dengan asumsi letusan Gunung AK lebih cepat. Simulasi model menggunakan Hawassi dengan memperhitungkan interaksi antar gelombang (*wave-wave interaction*) dan transmisi gelombang

dari Selat Sunda ke TELUK JAKARTA. Alternatif desain orientasi Garuda juga disimulasikan dengan dua alternatif rotasi desain dan desain *concave* (skematik tanggul cembung).

KAJIAN PUSTAKA

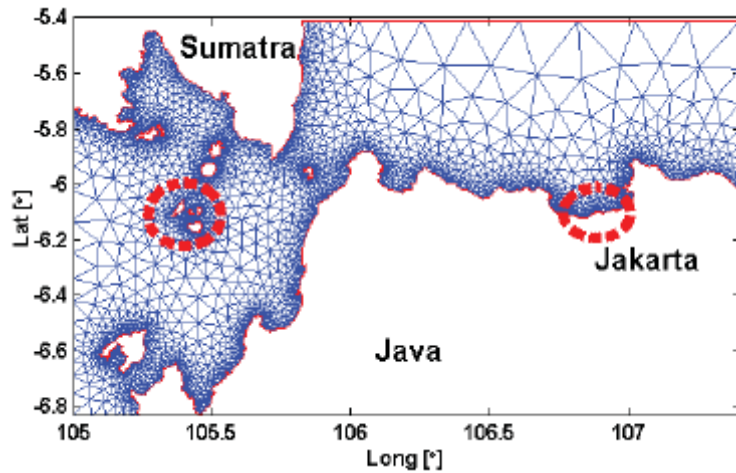
Model *Boussinesq* Gelombang

Simulasi model menggunakan perangkat lunak model *Hawassi*. Model merupakan komersial perangkat lunak yang dikembangkan oleh Lab Math-Indonesia. Persamaan model berupa variasi model *Boussinesq* (VBM), dimana simulasi model dengan perhitungan solusi fase gelombang yang melalui profil batimetri dan geometri kompleks di dalam area model. Interior *flow* diperhitungkan di dalam model dan dinamika model berdasarkan persamaan kontinuitas dan momentum menggunakan elevasi dan potensial pada permukaan air dengan tergantung hanya pada variabel horizontal. Persamaan menggunakan prinsip *Hamiltonian*, yang mempertegas konservasi energi. Metode *finite-element* diterapkan di dalam model dengan bentuk *unstructure-grid*, dimana domain model mengakomodasi profil pantai yang kompleks. Interior *flow* dimodelkan dengan bilangan kecil fungsi Airy untuk memastikan efek dispersi dihitung secara benar di dalam model (Lia Yuliawati, dkk, 2015). VBM mengakomodasi perhitungan non-linier gelombang. Seluruh simulasi di dalam makalah ini menggunakan versi linier dengan kode profil Airy. Konfigurasi *unstructure-grid* untuk domain model yang mencakup Selat Sunda dan Teluk Jakarta dengan domain model global ditunjukkan di Gambar 2.



sumber: Master Plan NCICD

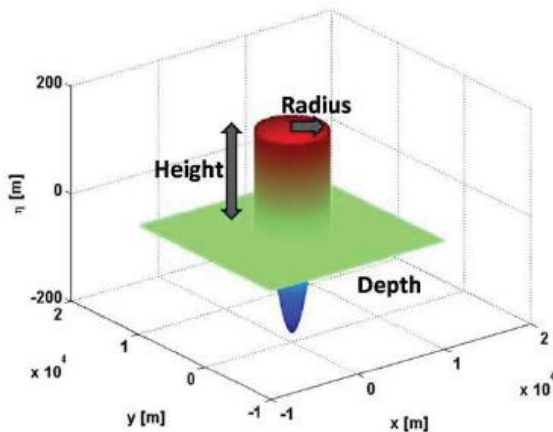
Gambar 1 Pengembangan Teluk Jakarta berdasarkan master plan program NCICD



Gambar 2 Konfigurasi area model tsunami AK

Pembangkitan Gelombang Tsunami Krakatau

Rekonstruksi tsunami akibat aktivitas vulkanik memiliki kompleksitas yang tinggi, karena probabilitas kejadian yang rendah dan sedikitnya data pengamatan (Paris R., et al, 2012). Bentuk pembangkitan gelombang tsunami akibat ledakan Gunung Krakatau pada tahun 1883 tidak diketahui sampai saat ini. Dengan demikian, pemilihan inisiasi awal gelombang menjadi hal yang krusial. Menurut Maeno F dan Imamura F (2011), ada tiga parameter dalam penentuan besarnya tinggi gelombang yang akan dihasilkan, yaitu: (1) Radius ledakan/R; (2) tinggi ledakan/H; dan (3) kedalaman/D.



Gambar 3 Konfigurasi inisial ledakan Krakatau

Penentuan inisiasi awal pembangkitan dilakukan dengan tiga metode, yaitu: (1) Ledakan *Pyroclastic*; (2) Ledakan *Caldera*; dan (3) Ledakan *Phreatomagmatic*. Ketiga inisiasi awal pembentukan gelombang tersebut dibandingkan dengan data pengamatan (lihat Gambar 4).

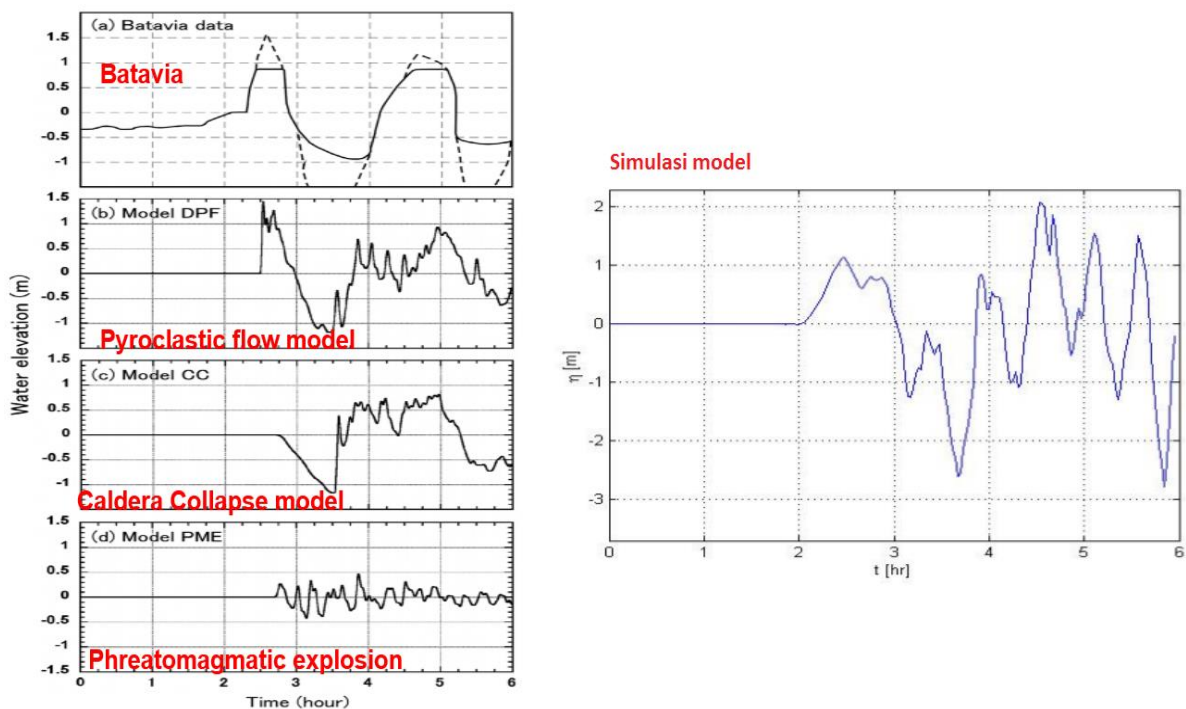
Hasil simulasi menunjukkan bentuk yang menyerupai antara data pengamatan dan data hasil

simulasi adalah dengan bentuk *Phreatomagmatic*, namun amplitude dengan metode tersebut perlu diperbesar (Adytia, dkk, 2012). Dengan demikian justifikasi parameter R, D,, dan H perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang menyerupai dengan data pengamatan. Dengan metode *try and error*, maka diperoleh konfigurasi inisial ledakan berupa parameter R=28 km, D=30 m, dan H=40 m (D. Adytia, M. Woran, E. van Groesen, 2012). Dengan ketiga parameter tersebut diperoleh sinyal elevasi gelombang seperti di Gambar 4 sebelah kanan.

METODOLOGI

Simulasi model digunakan dengan mengaplikasikan metode *nested*, dimana hasil simulasi model detail disimulasikan dari hasil simulasi model global. Data yang dimasukkan ke dalam model detail berupa muka air hasil simulasi model global. Model global mencakup Selat Sunda dan TELUK JAKARTA, sedangkan model detail berupa model dengan cakupan area TELUK JAKARTA .

Model dibangun dengan konfigurasi *unstructured-grid*, dimana domain model mengikuti profil garis pantai yang kompleks dengan resolusi grid kasar di arah lepas pantai dan lebih detail ke arah pantai. Hal tersebut untuk efisiensi waktu komputasi selama simulasi model berlangsung. Data batimetri untuk domain global berasal dari data batimetri GEBCO dengan Resolusi 0.5 menit dan data batimetri untuk model detail diambil dari data pengukuran Teluk Jakarta yang dilakukan oleh Tata Ruang pada tahun 2014, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).



Gambar 4 Penentuan inisiasi awal bentuk ledakan tsunami (D. Adytia, M. Woran, E. van Groesen, 2012)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Model

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan konfigurasi model yang disimulasikan di dalam analisis optimum *layout* tanggul lepas pantai. Simulasi model memperhitungkan kalkulasi individual *wave*, dimana *wave-wave interaction* di dalam transmisi gelombang diperhitungkan. Konfigurasi model berupa *unstructured-grid* dimana domain model mengikuti profil garis pantai yang kompleks. Resolusi model dibuat dengan resolusi rendah di arah offshore dan resolusi tinggi mengarah ke arah onshore. Hal tersebut dilakukan untuk efisiensi waktu dalam simulasi model.

Tabel 1 Parameter model global Selat Sunda dan TELUK JAKARTA

Model Selat Sunda dan TELUK JAKARTA	
Resolusi spasial	200 m
Inisiasi awal ledakan	<i>Phreatomagmatic</i>
Batimetri	GEBCO
Koordinat sistem	<i>Spherical</i>
Jumlah element	190.296
Maksimum ds	500 m
Pendetailandari	-

Tabel 2 Parameter model TELUK JAKARTA

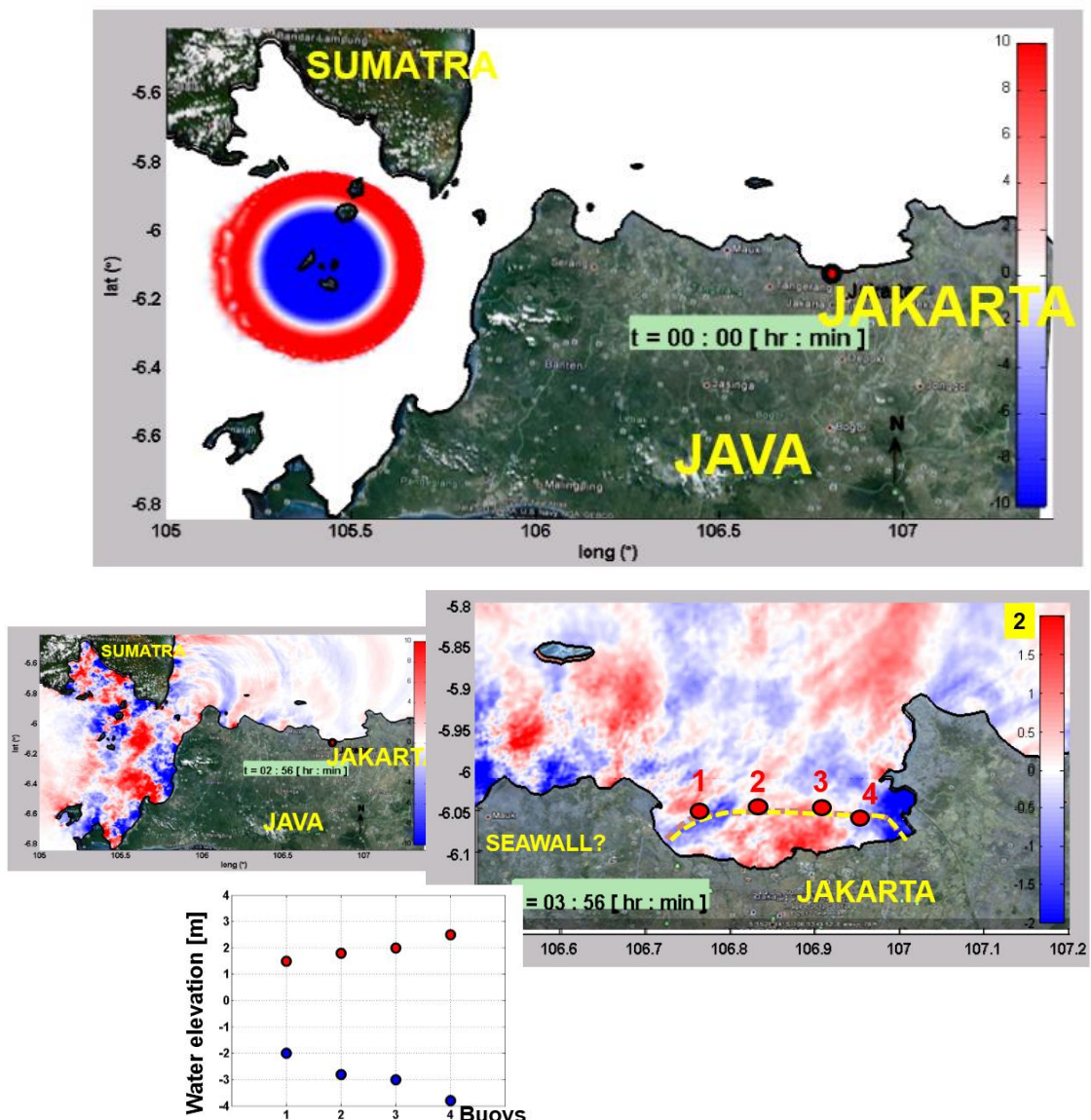
Model TELUK JAKARTA (Model TELUK JAKARTA)	
Resolusi spasial	20 m
Batas terbuka model	Elevasi muka air model global
Batimetri	PUPR
Koordinat sistem	Spherical
Jumlah element	100.041
Maksimum ds	50 m
Pendetailandari	Model global Selat Sunda dan TELUK JAKARTA

Tsunami Krakatau 1883 (K1883)

Tsunami akibat ledakan Gunung Krakatau pertama kali terjadi pada tahun 1883 (Verbeek R. D. M.,1885). Gambar 5 menunjukkan hasil rekonstruksi simulasi gelombang untuk tsunami K1883. Inisiasi awal pembangkitan gelombang dengan ledakan *Phreatomagmatic* (lihat Kajian Pustaka) dengan parameter $R=28$ km, $D=30$ m, dan $H=40$ m. Hasil simulasi model menunjukkan dalam periode simulasi 2 menit 56 detik gelombang tsunami telah bertransmisi ke segala arah. Transformasi gelombang berupa shoaling, refleksi,

difraksi, dan refraksi gelombang direpresentasikan di dalam hasil simulasi model. Gelombang tsunami K1883 menyebar ke selatan menuju Samudera Hindia dan difraksi gelombang juga terjadi ke arah onshore. Selain itu, ke arah Utara gelombang berpropagasi ke arah laut Jawa dan proses difraksi ke arah Teluk Jakarta dan pantai Utara Jawa lainnya yang masuk ke dalam area model. Transformasi gelombang yang terjadi di TELUK JAKARTA selain proses difraksi, transformasi gelombang berupa refleksi dan *shoaling* juga terjadi di area tersebut. Transformasi gelombang di dalam model tsunami sesuai dengan hasil studi sebelumnya yang dilakukan oleh Adytia D (2008); Adytia D, E. van

Groesen (2010); D. Adytia, M. Woran, E. van Groesen (2012), dimana arah gelombang penetrasi ke Teluk Jakarta dari Barat Laut. Hal tersebut ditunjukkan dengan pencuplikan muka air maksimum dan minimum di empat stasiun (lihat Gambar 5). Elevasi maksimum selama simulasi terjadi di stasiun ke-4, dimana elevasi maksimum 3.8 m dan elevasi minimum 4 m. Semakin besar diameter ledakan, semakin tinggi elevasi tinggi gelombang yang diakibatkan (Y. Egorov, 2007; George Parakas and Carayannis, 1992). Hasil simulasi model global tersebut dijadikan sebagai batas terbuka di model detail TELUK JAKARTA .

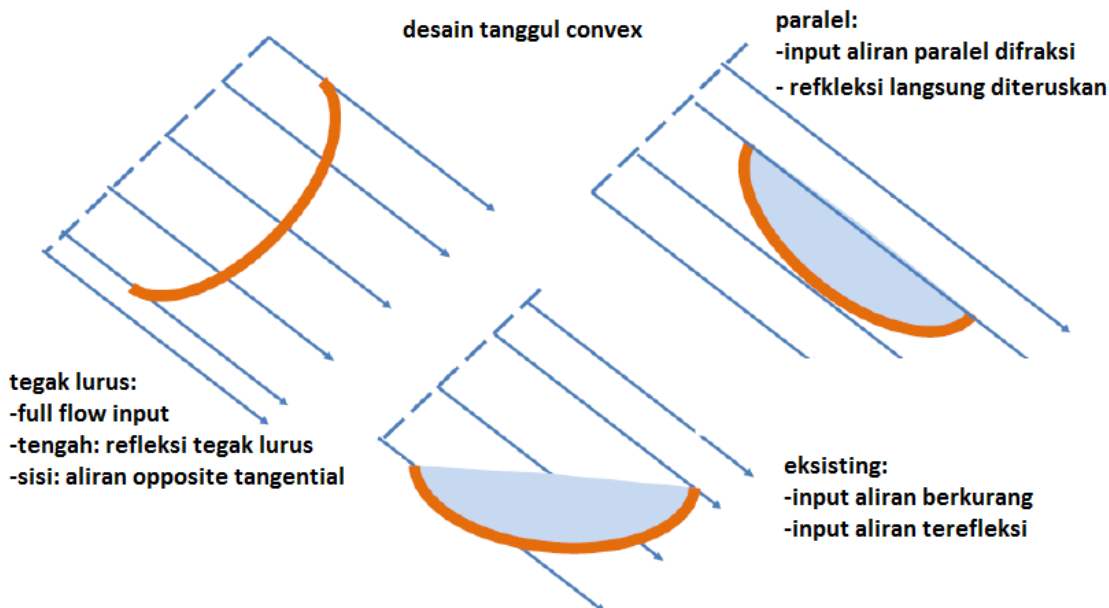


Gambar 5 Propagasi gelombang tsunami Krakatau 1883 model global Selat Sunda dan model detail TELUK JAKARTA

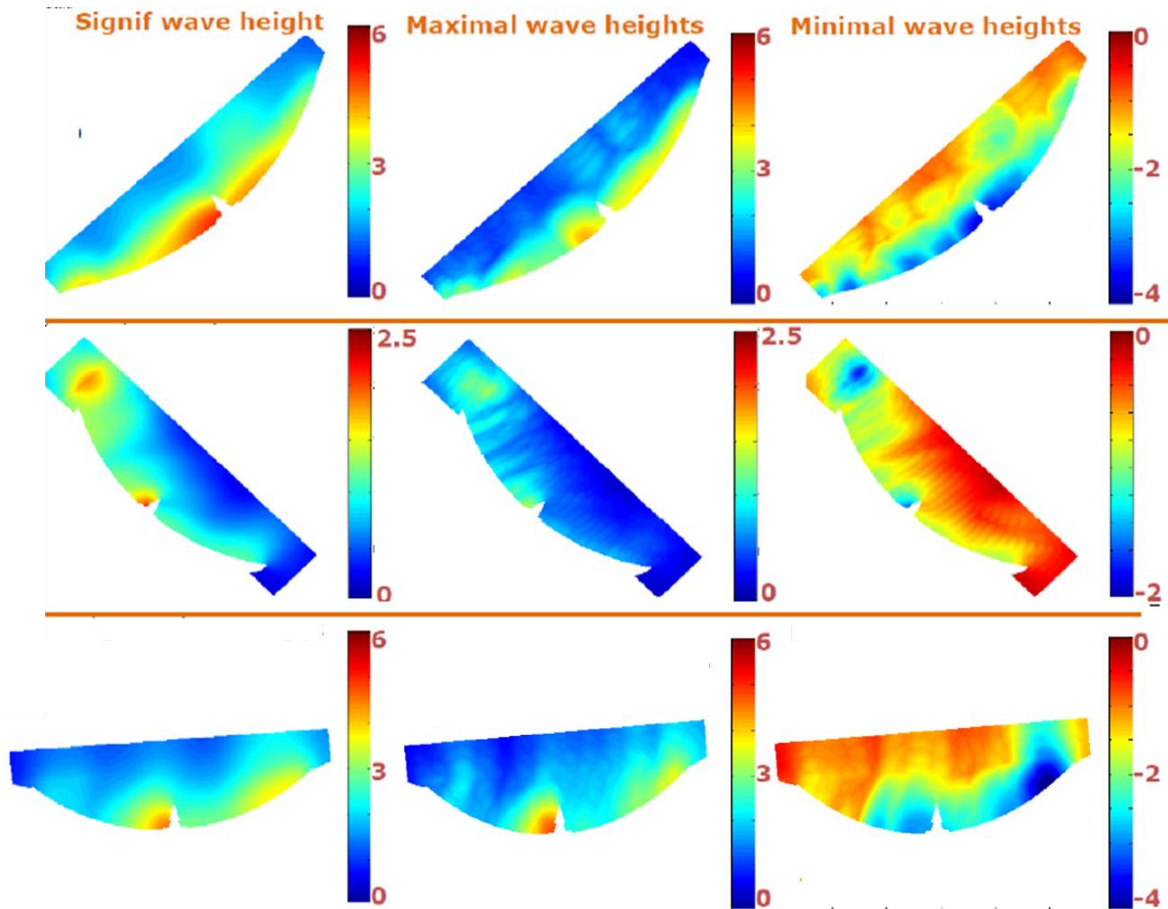
Alternatif Desain Tanggul Convex

Berdasarkan panduan *master plan* NCICD, pembangunan tanggul lepas pantai stage-B diusung konsep Garuda sebagai lambang negara. Layout eksisting berupa tanggul bentuk *Convex* (cekung) dengan kepala garuda menghadap utara dan sayap melintang ke arah Barat dan Timur. Konsep eksisting kemudian diuji terhadap transmisi gelombang AK dan dibuat alternatif desain lainnya; konsep paralel dan tegak lurus terhadap arah datang gelombang. Gambar 6 menunjukkan konseptual transmisi gelombang dari tsunami AK. Dari hasil konseptual transmisi gelombang tersebut kita uji coba di dalam simulasi model gelombang dengan memperhitungkan individual wave. Hipotesis awal menunjukkan layout dengan alternatif desain paralel terhadap arah datang gelombang akan memiliki *impact* minimum terhadap adanya kemungkinan tsunami AK. Hal tersebut karena arah aliran datang gelombang paralel terhadap desain layout tanggul, kemudian arah datang gelombang langsung diteruskan tanpa adanya refleksi gelombang yang signifikan. Lain halnya dengan konsep tanggul tegak lurus terhadap arah datang gelombang dimana konvergensi energi diakumulasi dan terefleksi secara sempurna oleh layout tanggul tegak lurus dan amplifikasi gelombang dapat terjadi. Untuk desain eksisting refleksi gelombang dimungkinkan tidak akan sebesar dari refleksi gelombang secara tegak lurus.

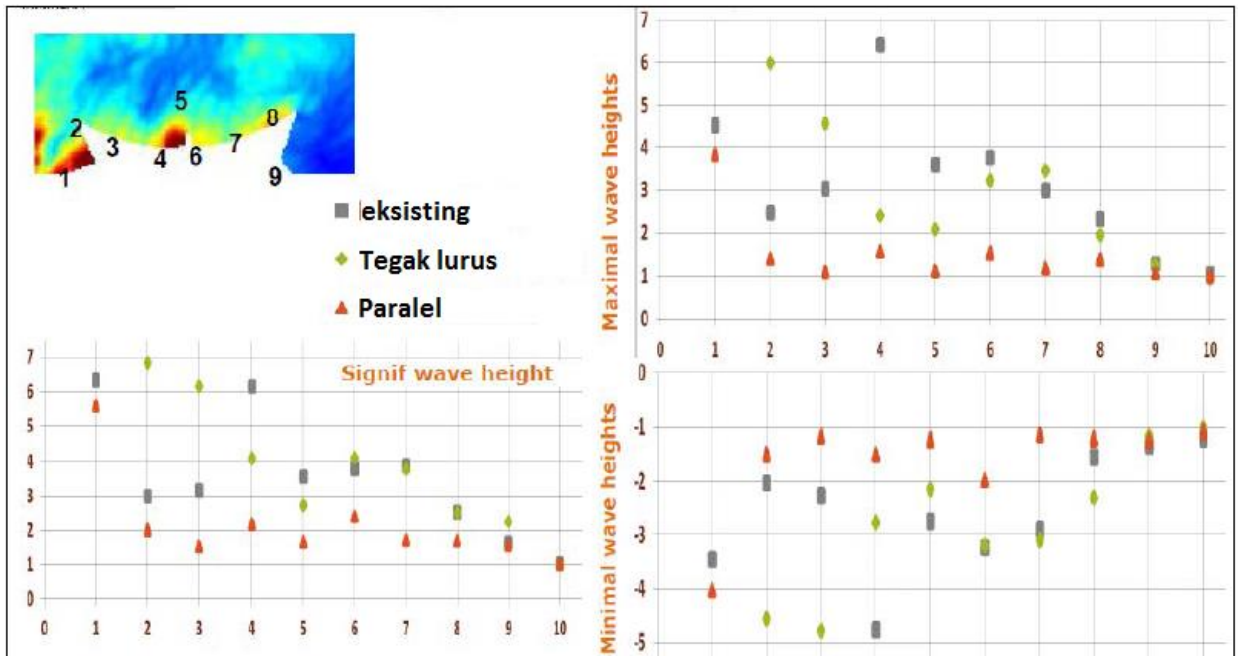
Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi tiga alternatif desain transmisi gelombang di area tanggul lepas pantai *layout* Garuda secara spasial dan titik sampling tinggi gelombang di area tanggul berturut-turut. Skenario desain tanggul adalah skenario eksisting, *layout* paralel (rotasi 15° ke arah Timur), dan *layout* tegak lurus (rotasi 15° ke arah Barat). Dari ketiga alternatif desain menunjukkan skenario *layout* paralel terhadap gelombang datang memiliki respon transmisi gelombang yang relatif lebih rendah dibanding kedua alternatif desain lainnya. Berdasarkan hasil simulasi elevasi muka air maksimum, elevasi muka air minimum, dan tinggi gelombang signifikan dapat mencapai 6 m, -4 m, dan 2 m secara berturut-turut. Kepala garuda merupakan area yang paling berisiko terhadap dampak tinggi gelombang karena bentuknya yang cenderung mengakumulasi energi gelombang secara konvergen untuk ketiga skenario. Dengan kata lain, proses amplifikasi gelombang cenderung akan terjadi di area tersebut. Tinggi gelombang signifikan di area tersebut untuk *layout* paralel mencapai 2 m, sedangkan kedua alternatif desain lainnya dapat mencapai 4 m (desain tegak lurus) dan 5 m (desain eksisting). Desain tanggul tegak lurus terhadap arah datang gelombang merupakan desain yang sangat tidak direkomendasikan. Hal tersebut karena *layout* tanggul dengan tegak lurus cenderung mengakumulasi energi gelombang sehingga distribusi tinggi gelombang secara spasial cenderung lebih tinggi dibanding kedua alternatif desain lainnya.



Gambar 6 Respon transmisi gelombang terhadap bentukan layout convex



Gambar 7 Alternatif desain tanggul dengan respon tinggi gelombang (meter); tegak lurus (atas), paralel (tengah), eksisting (bawah)



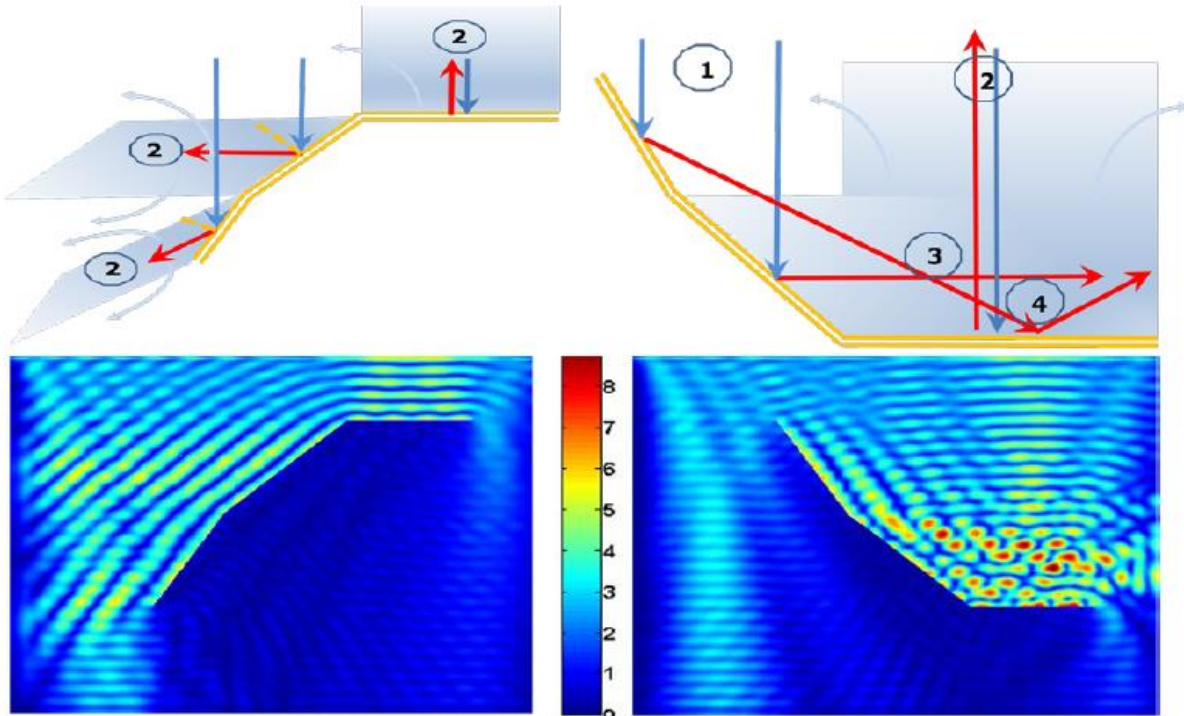
Gambar 8 Pencuplikan elevasi muka air dan gelombang untuk ketiga alternatif desain di setiap stasiun; tegak lurus, paralel, eksisting

Alternatif Desain Concave

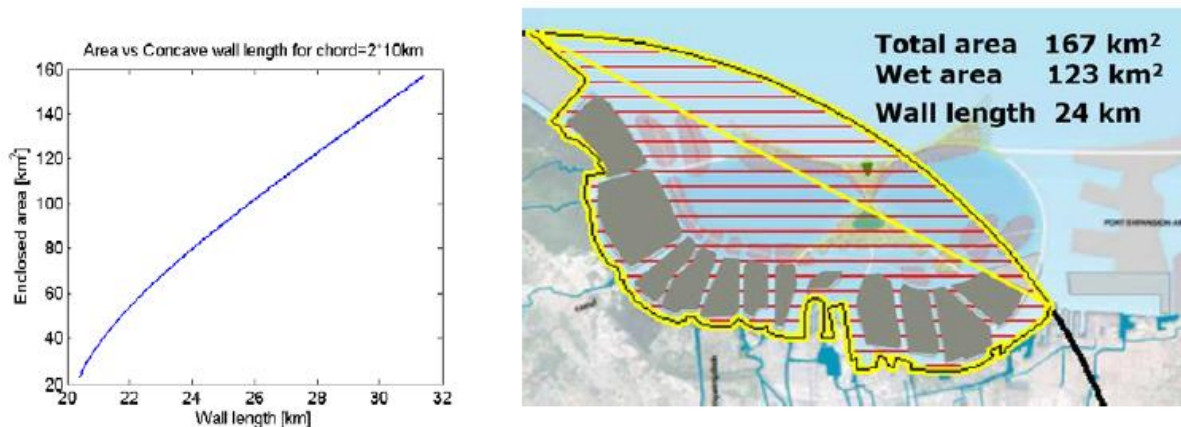
Skematik desain tanggul *concave* (cembung) juga diuji dalam simulasi model transmisi gelombang tsunami. Gambar 9 menunjukkan distribusi spasial tinggi gelombang signifikan perbandingan desain tanggul *concave* dan *convex*. Secara konseptual refleksi gelombang datang dengan desain *concave* akan langsung terefleksi, sedangkan desain tanggul dengan bentuk *convex* cenderung mengalami superposisi gelombang dengan refleksi gelombang lainnya (Yeh dan Li, 2011) ditunjukkan oleh Gambar 9 bagian atas. Hal tersebut terbukti dari hasil simulasi model skematik gelombang dengan kedua desain tersebut, dimana tinggi gelombang untuk desain tanggul dengan layout *convex*. Hal tersebut terjadi karena untuk layout *convex* gelombang datang cenderung mengalami akumulasi tinggi gelombang dengan gelombang refleksi lainnya.

Skematik desain *concave* tersebut kita coba aplikasikan ke area kajian TELUK JAKARTA. Gambar 10 menunjukkan skematik desain tanggul *concave*. Skematik desain tanggul *concave* memiliki batasan berupa tanggul menutup untuk dijadikan kolam retensi dengan luasan area 75 dan 160 km² tergantung dari kondisi hidrologi yang menyebabkan air dari hulu mengalir ke hilir akibat

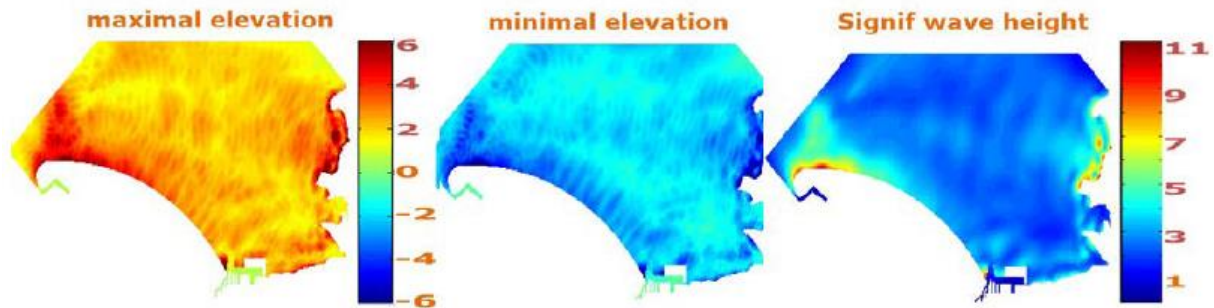
curah hujan yang tinggi (Deltares report, 2014). Selain itu, Tanjung Priok berada di posisi di luar kolam retensi. Skematik tanggul *concave* dimulai dari area *North-West* pulau reklamasi sampai sisi barat pelabuhan tanjung priok. Gambar 10 sebelah kiri menunjukkan korelasi antara panjang tanggul yang ditutup dengan area yang didapat. Berdasarkan hasil kriteria kolam retensi 160 km², maka panjang tanggul lepas pantai yang ditutup sekitar 24 km dan total wet area setelah dikurangi luasan pulau reklamasi sekitar 123 km². Gambar 11 menunjukkan transmisi gelombang tsunami dengan *layout* tanggul lepas pantai *concave*. Hasil simulasi menunjukkan tinggi gelombang yang relatif lebih rendah dibandingkan layout *convex* (lihat Gambar 7) setelah mencapai tanggul. Transmisi tinggi gelombang maksimum terjadi di sisi sebelah Barat tanggul. Hal tersebut dimungkinkan karena sisi barat tanggul memiliki jarak yang relatif dekat dengan pulau reklamasi sehingga refleksi gelombang di area tersebut mengalami akumulasi. Lain hal nya dengan tinggi gelombang di tengah tanggul dimana gelombang datang cenderung langsung terefleksi dengan tinggi gelombang mencapai 3 m.



Gambar 9 Perbandingan model skematik gelombang terhadap desain tanggul *concave* dan *convex* terhadap transmisi gelombang (meter)



Gambar 10 Aplikasi skematik tanggul bentuk *concave* di TELUK JAKARTA



Gambar 11 plot densitas gelombang untuk desain *concave* di TELUK JAKARTA

KESIMPULAN

Simulasi model gelombang Hawassi-VBM menunjukkan kapabilitas hasil simulasi untuk rekonstruksi gelombang tsunami Krakatau 1883. Efek dispersif gelombang merupakan parameter penting untuk membangkitkan gelombang dengan interaksi profil batimetri dan *layout* tanggul lepas pantai. Penentuan kondisi awal gelombang dengan ledakan *phreatomagmatic* menjadi pilihan inisiasi gelombang yang relevan. Hal tersebut karena simulasi gelombang di TELUK JAKARTA menyerupai tinggi gelombang hasil pengukuran di TELUK JAKARTA.

Besarnya tsunami gelombang AK telah dipilih secara *arbitrary* berupa 1/4 energi gelombang tsunami Krakatau. Hal tersebut ditentukan karena tidak ada *scientific argument* kapan erupsi AK akan terjadi. Hasil simulasi menunjukkan dari ketiga alternatif desain *convex*, desain *layout* paralel terhadap gelombang datang tsunami memiliki *layout* yang paling optimum dibandingkan desain eksisting dan tegak lurus. Hal tersebut ditunjukkan oleh distribusi spasial gelombang di ketiga hasil simulasi ketiga alternatif desain tanggul.

Kepala Garuda di dalam desain tanggul *convex* menjadi *layout* yang harus dikaji lebih detail,

karena berdasarkan hasil simulasi area tersebut merupakan area krusial yang dapat menyebabkan terjadinya amplifikasi gelombang dengan distribusi tinggi gelombang signifikan yang relatif lebih besar dibandingkan area desain lainnya.

Perbandingan skematik desain tanggul *concave* dan *convex* juga telah diidentifikasi di dalam studi ini. Hasil simulasi menunjukkan skematik desain tanggul *concave* lebih optimum dibandingkan desain tanggul *convex*. Hal tersebut karena konvergensi energi gelombang dapat dihindari. Dengan kata lain, skematik desain tanggul *concave* menyebabkan divergensi energi gelombang.

Untuk saran penelitian selanjutnya, desain tanggul dalam simulasi model ini tidak memperhitungkan adanya *slope* di dalam tanggul, artinya tanggul lepas pantai dianggap vertikal. Sehingga perhitungan *slope* tanggul di dalam simulasi model akan menjadikan hasil simulasi lebih realistis. Selain itu, efek non-linier seperti gelombang pecah di dalam simulasi tidak diperhitungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adytia D, 2008, Tsunami Simulation in Indonesia's Areas Based on Shallow Water Equation and Variational Boussinesq Model Using Finite Element Method. Master Thesis, ITB.
- Adytia D, E. van Groesen, 2010, Variational Boussinesq Model for Simulation of Coastal Waves and Tsunami, Proceeding of the 5th (APAC 2009), ISBN-13 978-981-4287-96-8, pp. 122-128.
- D. Adytia, M. Woran, E. van Groesen, 2012, Anak Krakatau Explosion Effect in Jakarta Bay Proceedings Basic Science International Conference 2012, Malang Indonesia, K1-5, ISBN 978-979-25-6033-6.
- Deltares report, 2014, Master Plan National Capital Integrated Coastal Development, Boundary condition, Section 6, Tsunami quick scan, in INA556-3 C1.3a (INA556-3/agui/105).
- George Parakas and Carayannis, 1992, The Tsunami Generated from the Eruption of the Volcano of Santorin in the Bronze Age. *Natural Hazards* 5: 115-123
- HAWASSSI Variational Boussinesq Model (VBM), see www.hawassi.labmath-indonesia.org
- Yuliawati, Lia, Nugrahinggil Subasita, Didit Adytia, Wono Setya Budhi. 2015. Simulation of Obliquely Interacting Solitary Waves with A Hard Wall by using HAWASSSI-VBM and SWASH Model, Proceedings SEAMS
- Maeno F, Imamura F, 2011, Tsunami wave model simulation of Krakatau, Indonesian Journal of Geophysical Research, Vol. 116.
- Paris, R., Adam D. Switzer, Marina B., Alexander B., Budianto O., Patrick L. Whelley, Martina U., 2012, Volcanic tsunami: a review of source mechanisms, past events and hazards in Southeast Asia (Indonesia, Philippines, Papua New Guinea). *Nat Hazards* DOI 10.1007/s11069-013-0822-8
- Verbeek R. D. M., 1885, Krakatau. Gov. Press, Batavia, Indonesia, pp. 495
- Y. Egorov, 2007, Tsunami wave generation by the eruption of underwater volcano, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 65-69.
- Yeh H., W. Li, 2011, Tsunami Amplification and Breaking Along Vertical Wall. In Proceedings of the Sixth International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2011), ISBN: 978-981-4366-47-2, pp 59-70.

UCAPAN TERIMA KASIH

Jurnal ini tidak akan ada tanpa bantuan dan support dari Bapak William Putuhena sebagai Kapuslitbang SDA dan Ibu Teti sebagai Kepala Program Kerja Puslitbang SDA yang terlibat aktif dalam merealisasikan kerjasama studi bersama antara Balai Litbang Pantai, Puslitbang SDA dengan Lab Math-Indonesia.