

# RINGKASAN EKSEKUTIF



## Adaptive Mesh Refinement Applied to Tsunami Modeling: TsunaFLASH

### Pengantar

Pasca Mega Tsunami Aceh 2004, dibentuk konsorsium German-Indonesia Tsunami Early Warning System (GITEWS), yang berupaya membangun sistem peringatan dini tsunami baik dari perangkat keras, perangkat lunak, dan pengembangan kapasitas/kelembagaan (*capacity building/institution*).

Penulis terlibat didalam konsorsium GITEWS melalui program *capacity building* sebagai staf di *United Nations University - Institute for Environment & Human Security* (UNU-EHS), Bonn, Germany (2007-2010) dengan lingkup penugasan bergabung dengan *Tsunami Research Group* di *Alfred Wegener Institute for Marine & Polar Research* (AWI), Bremerhaven, Germany dalam upaya membangun basis data tsunami, terlibat di dalam analisis sensitifitas skenario tsunami, validasi & verifikasi *software* TsunAWI (*Tsunami Unstructured Finite Element Model developed by AWI*), dan mengembangkan **TsunaFLASH** (*Tsunami Unstructured Finite Element using Adaptive Mesh Refinement Scheme*) untuk bahan disertasi.

Terdapat lebih dari 2250 skenario tsunami yang dihasilkan oleh AWI menggunakan TsunAWI yang telah di-*install* di sistem peringatan dini tsunami yang operasionalisasinya di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia pada 28 November 2008. Sistem peringatan dini tsunami hingga saat ini masih berjalan dengan baik.

Konsorsium GITEWS ini kemudian menjadi bagian kontribusi kepada konsorsium nasional Indonesian Tsunami Early Warning System (INATEWS) yang terdiri dari 18 Kementerian termasuk Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia didalamnya.

### Pembahasan Ringkas Kerangka Pemikiran

Pemodelan hidrodinamika tsunami, yang selama ini diaplikasikan oleh kalangan peneliti dan akademisi umumnya menggunakan metode penyelesaian solusi numerik beda hingga (*finite difference*) dengan bentuk grid adalah persegi empat sama sisi dan non-adaptif (*non-adaptive rectangular structured grid*). Adapun *software* pemodelan tersebut ada yang bersifat tidak berbayar seperti TUNAMI, COMCOT, MOST-COMMIT, dan ada pula yang berbayar (komersial) seperti 3DD.

Metode penyelesaian numerik elemen hingga (*finite element*) dengan bentuk grid berupa segitiga tidak beraturan non-adaptif (*non-adaptive triangular unstructured grid*), digunakan oleh Alfred Wegener Institute, untuk mengembangkan TsunAWI (Harig *et al.*, 2008; Androsov *et al.*, 2008, Behrens, 2008), dan sebuah hasil adopsi lebih lanjut model tersebut dengan inovasi baru berupa adaptif grid yang dikembangkan oleh Pranowo & Behrens (2008, 2010) yang kemudian diberi nama **TsunaFLASH**.

Adaptif grid adalah suatu metode grid yang menjadikan grid pada suatu domain model akan mengalami perubahan jumlah dan ukuran di sepanjang periode waktu simulasi. Sedangkan pada non-adaptif, jumlah dan ukuran grid akan tetap dari awal hingga akhir periode waktu simulasi. Tujuan dari inovasi adaptif grid ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam proses komputasi dan menghasilkan tingkat akurasi hasil yang lebih tinggi.

## Pembahasan Hasil Penelitian

**TsunaFLASH**, sebagai sebuah *software* pemodelan tsunami yang baru adalah yang pertama menggunakan metode *Adaptive Triangular Finite Element Mesh*. *Software* ini telah divalidasi dengan menggunakan solusi analitik dan data observasi sesuai dengan standar prosedur untuk evaluasi yang diperkenalkan oleh Synolakis *et al.* (2008).

Dalam proses validasi dengan data observasi ditemui beberapa hal yang bersifat kompleks dan sensitif, yang memerlukan penelitian lintas bidang keilmuan (*interdisciplinary science*), yakni: permasalahan saat akuisisi dan pengolahan/analisis data dalam rangka memahami mekanisme fisik gempa dan tsunami.

Hasil eksperimen numerik, *benchmark*, dan studi kasus memperlihatkan bahwa **TsunaFLASH** mempunyai potensi besar sebagai *software* pemodelan tsunami di masa mendatang. Adapun hasil validasi untuk saat ini menyatakan bahwa:

- [1]. Berbagai skema syarat awal (*initial conditions*) berupa fungsi matematis dan *realistic static sea bottom deformation* telah direpresentasikan dengan baik oleh **TsunaFLASH**.
- [2]. Skema penggunaan nilai absolut maksimum dari elevasi muka laut pada simpul elemen (*element nodes*), teruji sebagai kriteria adaptasi grid (*error estimator refinement criterion*) yang sederhana (*simple*) dan efektif (*robust*).
- [3]. **TsunaFLASH** telah sukses divalidasi menggunakan skema problem matematis pertama dari *the 3rd International Workshop on Long-wave Runup Models*.

- [4]. Eksperimen numerik dengan berbagai algoritma adaptasi grid telah sukses dilakukan, dan menunjukkan bahwa langkah pendefinisian nilai toleransi dan nilai resolusi grid yang tepat adalah sangat penting yang berhubungan erat dengan kecepatan perhitungan (*computational time*).
- [5]. **TsunaFLASH**, secara umum, memperlihatkan dengan baik hasil verifikasi dengan data observasi yakni: Kasus Sumatra-Andaman mega tsunami pada 26 Desember 2004 (elevasi muka laut diturunkan dari Satelit Altimetri Jason-1 dan Topex), dan Kasus Andaman minor tsunami pada 10 Agustus 2009 (elevasi muka laut rekaman NOAA DART *Gauge Buoy No.* 23401).
- [6]. Hasil analisis sensitifitas numerik menunjukkan bahwa: Data batimetri dengan resolusi rendah ( $\sim 5$  *arc-minute*) masih layak/dapat dipergunakan untuk simulasi numerik apabila verifikasi dilakukan terhadap data observasi buoy/gauges yang berlokasi di laut dalam (*deep ocean*). Sedangkan data topografi sangat sensitif untuk simulasi banjir tsunami (*tsunami inundation*), dimana data beresolusi tinggi menghasilkan wilayah terbanjiri yang lebih realistis. Untuk simulasi yang melibatkan parameter non linear dengan menggunakan parameter viskositas horisontal Smagorinsky (Smagorinsky, 1963), nilai konstanta parameter yang relevan adalah  $\sim 0.001 - 0.3$ .

## Rekomendasi

Meskipun TsunaFLASH sudah melalui proses verifikasi dan validasi, akan tetapi masih diperlukan studi kasus lanjutan untuk meningkatkan kemampuan software tersebut. Penelitian dalam rangka pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan cara melakukan evaluasi pemodelan tsunami seperti prosedur yang dilakukan oleh NOAA (Synolakis *et al.*, 2007), yakni dengan melakukan eksperimen numerik seperti:

- [1]. Studi kasus propagasi gelombang naik (runup) dari gelombang soliter terhadap garis pantai sederhana (Synolakis, 1987),
- [2]. Studi kasus propagasi gelombang naik (runup) terhadap pulau bundar, seperti kejadian tsunami yang melanda Pulau Babi Nusa Tenggara Timur pada tahun 1998 (Briggs *et al.*, 1995),
- [3]. Studi kasus propagasi gelombang naik (runup) merekonstruksi kejadian tsunami Okushiri 1983 pada pantai Monay Valley (Liu *et al.*, 2008),
- [4]. Studi kasus merekonstruksi tsunami Hokkaido Nansei-Oki 1993 menggunakan model

pembangkitan tsunami yang diusulkan oleh Takahashi (1996) dan data batimetri-topografi yang telah dipublikasi oleh Takahashi *et al.* (1995).

Investigasi lanjutan terhadap implementasi skema gesekan dasar pantai (*bottom friction scheme*) atau koefisien kekasaran pantai (*mannings roughness*) kedalam **TsunaFLASH** mengikuti prosedur yang telah dilakukan oleh beberapa pengembang *software* pemodelan tsunami seperti Imamura *et al.* (2006); Harig *et al.* (2008); Imamura (2009) serta pengembangan lebih lanjut dari Smagorinsky *horizontal viscosity term* (Smagorinsky, 1963) untuk **TsunaFLASH** juga dapat sebagai topik menarik dalam rangka meningkatkan hasil simulasi dari *software* tersebut.

## Penulis

<b>Nama</b>	<b>Widodo Setiyo Pranowo (Sarjana Teknik Universitas Diponegoro, Magister Oseanografi &amp; Sains Atmosfer Institut Teknologi Bandung, Dr.-Ing. Techno-Mathematics University of Bremen)</b>
<b>Tempat dan Tanggal lahir</b>	Purwokerto, 05 September 1975
<b>Alamat Kantor</b>	Pusat Penelitian & Pengembangan Sumberdaya Laut & Pesisir Gedung Badan Litbang KP, Lantai 3, Kompleks Bina Samudera, Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430.
<b>Kontak HP / email</b>	HP. 082-111-637-144, email: widodo.pranowo[at]kkp.go.id
<b>Peneliti dengan kepakaran</b>	Peneliti Madya IVa Bidang Oseanografi/Oceanologi
<b>Pengalaman Penelitian</b>	2013: Ketua Kelompok Penelitian Kebijakan Perubahan Iklim pada Pusat Litbang Sumberdaya Laut & Pesisir. 2012: Ketua Kelompok Penelitian Sumberdaya Laut pada Pusat Litbang Sumberdaya Laut & Pesisir. 2011: Koordinator Topic 2 (Climate Change & The Oceans) untuk SPICE III Indonesia-Jerman 2011-2015. 2010: Co-Chief Scientist of German-Indonesian Tsunami Survey Team for Post-Tsunami Survey on Mentawai 25.10.2010 event, Sipora-North Pagai-South Pagai, 20-28 November 20-28 2010. Members: BPBP-BPPT, PVMBG-KESDM, MGI-KESDM, P3SDLP-KKP, FI-LUH, KlimaCampus-UH.

## Publikasi

**Pranowo, W.S.**, R.A. Adi, H. Permana, & N.D. Hananto.: Sirkulasi Arus Permukaan Pasang Surut di Muara Pegah, Delta Mahakam, Kalimantan Timur, *J. Segara*, Vol. 8, No.1, **2012**, p.53-63, ISSN: 1907-0659.

Yudhicara, Ibrahim A., V. Asvaliantina, W. Kongko, & **W. Pranowo**.: Sedimentological Properties of the 2010 Mentawai Tsunami Deposit. *Bull. Mar. Geol.* Vol. 27, No.2, **2012**, ISSN:1410-6175, p. 35-45.

Ramawijaya, M.Y. Awaludin, **W.S. Pranowo**, & Rosidah.: Pemanfaatan Algoritma Zhu Untuk Analisis Karbon laut di Teluk Banten. *Jurnal Harpodon Borneo*, Vol. 5, No. 2, **Oktober 2012**, ISSN:2087-121X, p.131-136.

**Pranowo, W.S.**, T.R. Adi, S. Makarim, & N.N. Hasanah.: Marine & Climate Research Contributions to the National Program on Climate Change Adaptation & Mitigation, *Proceed. The International Workshop on Climate Information Services in Supporting Mitigation and Adaptation to Climate Change in Transportation and Tourism*, Jakarta, 15 – 16 May 2012 (*in press*).

**Pranowo, W.S.**: Dinamika Upwelling dan Downwelling di Laut Arafura dan Timor, *J. Widya Riset*, Vol. 15, No. 2, 2012, p.167-175, ISSN:1411-7932, *in press*.

**Pranowo, W.S.** & S. Wirasantosa.: Tidal regims of Arafura & Timor Seas, *Journal of Marine Research in Indonesia*, Vol. 36, No.2, 2011, ISSN:0079-0435, *in press*.

**Pranowo, W.S.**, S. Wirasantosa, S.N. Amri, A.A. Hutahaeen, L.C. Dewi, S. Makarim, R.N.A. Ati, H.I. Ratnawati, & J. Prihantono.: Karakteristik Sumberdaya Laut Arafura dan Pesisir Baratdaya Papua, *Book*, B. Sulistiyo (Ed.), ISBN 978-602-9086-20-1, 48 pages, **2011**.

Gordon, A., J. Sprintall, H. M. Van Aken, D. Susanto, S. Wijffels, R. Molcard, A. Ffield, **W. Pranowo**, and S. Wirasantosa, **2010**. The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program, *Dyn. Atmosph. Ocean*, 50(2): 115-128, doi:10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002.

Yudhicara, W. Kongko, V. Asvaliantina, Suranto, S. Nugroho, A. Ibrahim, **W.S. Pranowo**, N.B. Kerpen, K.F. Kraemer, & O. Kunst.: Jejak tsunami 25 Oktober 2010 di Kepulauan Mentawai berdasarkan Penelitian Kebumihan dan Wawancara, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 1, No. 3, **Desember 2010**: 165-181. ISSN:2086-7794.

**Pranowo, W.S.:** Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia, Sudahkah Cukup Memadai?, *Book Chapter on "Konsep dan Aplikasi Teknologi Perlindungan Pantai"*, Pusat Pengkajian & Perekayasaan Teknologi Kelautan & Perikanan, ISBN: 978-979-3592-34-3, page: 87-99, **2010**.

Behrens, J., N. Beisiegel, & **W. Pranowo**.: Inundation modelling with adaptive triangular mesh refinement – state of the art numerical methods for accurate simulation, *Proceeds. Storm Surges Congress 2010: Risk and management of current and future storm surges*, University of Hamburg, **13<sup>th</sup> – 17<sup>th</sup> September, 2010**.

Wekerle, C., S. Harig, **W. Pranowo**, A. Androsov, A. Fuchs, N. Rakowsky, J. Schöter, and J. Behrens.: Dependency of tsunami simulations on advection scheme, grid resolution, bottom friction and topography, *International Proceed. Workshop on Multiscale (Un)-structures mesh numerical ocean Modeling (IMUM-2010), MIT, Cambridge, MA, USA, August 17-21, 2010*. Ref-hdl:[10013/epic.35865](https://hdl.handle.net/10013/epic.35865)

**Pranowo, W.S.**, and J. Behrens.: TsunaFLASH Benchmark and Its Verifications, *Geophys. Res. Abs., Vol.12, EGU2010-8683, 2010*.

Behrens, J., A. Androsov, S. Harig, F. Klaschka, L. Mentrup, **W. Pranowo**, and C. Wekerle: Uncertainty reduction in near-field tsunami warning, *Geophys. Res. Abs., Vol.12, EGU2010-15163, 2010*.

**Pranowo, W.S.**, and J. Behrens.: The recent development on a new triangular-based adaptive mesh finite element numerical model for tsunami propagation (and inundation) simulation, *Proceeds. Interdisciplinary Conference on End to End Natural-Hazard Early Warning Systems, 19-20 April 2010, Jakarta, Indonesia*.

**Pranowo, W.S.**, C. Wekerle, J. Behrens, S. Harig, A. Androsov, N. Rakowsky, W. Hiller.: The simulation of Padang for the next future tsunami using an unstructured finite element tsunami model, *Proceeds. Workshop on Tsunami Preparedness in Padang and West Sumatra: From Research to Action, Padang, Indonesia, 12-13 April 2010*.

Khomarudin, M.R., G. Strunz, R. Ludwig, K. Zoßeder, J. Post, W. Kongko, **W.S. Pranowo**.: Hazard Analysis and Estimation of People Exposure as Contribution to Tsunami Risk Assessment in the West Coast of Sumatra, the South Coast of Java and Bali, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 54 (Suppl. 3):337-356, **Mai 2010**, doi:10.1127/0372-8854/2010/0054S3-0000.

**Pranowo, W.S., & W. Kongko.**: Modelling of the Bengkulu Minor Tsunami Event, September 12, 2007, west of Sumatera, Indonesia: Comparison on Single- and Multi-Segment of Source Generation, *J. Segara*, Vol. 5, **Dec 2009**, (2): 99-108, ISSN: 1907-0659.