

**Rekonstruksi *Run-Up* Dan Kecepatan Tsunami
Berdasarkan Data Endapan Tsunami**
Studi Kasus: Tsunami Mentawai 2010 Dan Tohoku Oki 2011

***Reconstruction Of Tsunami Run-Up and Velocity
Based on Tsunami Deposit Data***
Case Study: The 2010 Mentawai And The 2011 Tohoku Oki Tsunamis

Purna Sulastya Putra

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Kompleks LIPI Gd. 70,
Jalan Sangkuriang Bandung- Indonesia

Naskah diterima 13 Juli 2016, selesai direvisi 17 Oktober 2016, dan disetujui 15 November 2016

e-mail: purna.putra@gmail.com

ABSTRAK

Tulisan ini bermaksud menguji sebuah metode sederhana perhitungan *run-up* dan kecepatan tsunami yang dimodifikasi oleh Srisutam dari metode yang sudah ada. Dasar modifikasi ini adalah jarak maksimum pengendapan sedimen oleh *run-up* tsunami dihitung dari plot nilai rata-rata besar butir terhadap jarak untuk setiap lapisan, dengan asumsi ukuran besar butir mengecil ke arah darat. Perhitungan dengan metode hasil modifikasi ini dengan studi kasus tsunami Mentawai 2010 (di Tumalei) dan Tohoku Oki 2011 (di Yunuki), menunjukkan hasil yang melebihi hasil pengukuran di lapangan. Hasil perhitungan kecepatan rata-rata *run-up* tsunami pada lintasan Yunuki adalah 5,67 m/s, sedangkan di lintasan Tumalei maksimal mencapai 1,86 m/s. Lereng di Yunuki yang lebih landai dibandingkan di Tumalei, mungkin berpengaruh terhadap kecepatan *run-up* yang lebih besar dan daerah yang tergenang lebih jauh. Tinggi *run-up* tsunami Tohoku Oki 2011 di Yunuki hasil perhitungan adalah 5,75 m, berada di kisaran tinggi *run-up* hasil survei yang mencapai maksimal 20 m. Namun, jarak genangan hasil perhitungan (11,76 km) dua kali lipat lebih jauh dari jarak genangan hasil pengukuran (4,8 km). Sementara itu, hasil perhitungan tinggi *run-up* di Tumalei adalah 14,27 m, lebih dari dua kali hasil perhitungan di lapangan (6 m). Jarak genangan hasil perhitungan di Tumalei adalah 1,19 km, hampir sepuluh kali hasil pengukuran yang hanya 136 m. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa metode Srisutam ini menggunakan asumsi yang terlalu sederhana, sehingga dihasilkan perhitungan yang tidak sesuai dengan hasil pengukuran. Secara umum, nilai rata-rata besar butir endapan tsunami memang menghalus ke arah daratan. Namun, variasi lokal (misalnya mikrotopografi) di sepanjang lintasan akan berpengaruh terhadap distribusi besar butir, dan pada akhirnya akan memengaruhi hasil perhitungan metode Srisutam. Metode ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk bisa diaplikasikan dalam studi paleotsunami.

Kata kunci: endapan tsunami, kecepatan tsunami, *run-up*, rekonstruksi

ABSTRACT

This paper is to examine a simple model of calculating tsunami run-up and velocity developed by Srisutam. This simple model is the result of the modification of an existing model. The idea of this modification is that the maximum distance of sediment deposition by tsunami run-up is calculated from the plot of mean grain size with the distance for every layer, with the assumption that the grain size of the deposit decreases landward along the transect. By using the data from the 2010 Mentawai tsunami and the 2011 Tohoku Oki tsunamis as the case study, the result of the

calculation by using this simple model is overestimated. The calculated tsunami mean run-up velocity in Yunuki is 5.67 m/s, meanwhile in Tumalei is 1.86 m/s. The slope of the transect in Yunuki is very gentle compared to Tumalei, that may have an effect to the tsunami run-up that resulted the higher velocity and longer inundation distance. The calculated run-up height in Yunuki (5.75 m) is in the range of measured run-up height which is up to 20 m. However, the calculated inundation distance (11.76 km) is more than twice the measured inundation distance (4.8 km). The calculated run-up height in Tumalei is 14.27 m, which is more than twice the measured height (6 m). The calculated inundation distance in Tumalei is 1.19 km, almost ten times of the measured distance. The results of this calculation show that the assumption used in this Srisutam method is too simple and it results inaccurate calculation. In general, mean grain size of the tsunami deposit is fining landward. However, local variation (i.e. microtopography) along the transect may affect the grain size distribution, and finally will affect the model calculation. This method still needs further development to be applied in paleotsunami studies.

Keywords: tsunami deposit, tsunami velocity, run-up, reconstruction

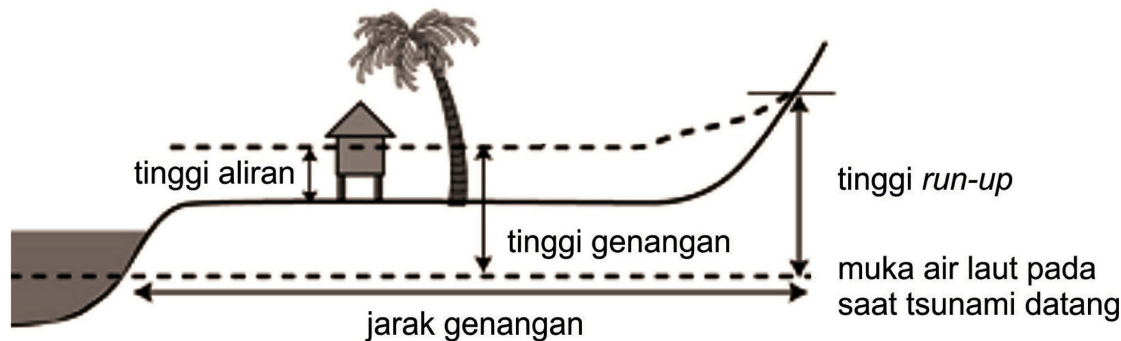
PENDAHULUAN

Studi endapan tsunami sudah semakin berkembang terutama setelah kejadian tsunami Samudra Hindia 2004 dan tsunami Tohoku 2011. Sebagian besar studi tersebut mendiskusikan tentang karakteristik sedimentologi dan mikropaleontologi yang terkandung di dalam endapan tsunami. Masih sangat sedikit studi yang membahas tentang rekonstruksi run-up tsunami dan kecepatannya. Jaffe dan Gelfenbaum (2007) menggunakan data besar butir dan ketebalan endapan tsunami untuk menghitung kecepatan maksimum tsunami. Model perhitungan ini hanya cocok digunakan jika kemiringan pantainya landai karena dalam kondisi lereng yang landai maka endapan tsunami yang telah terendapkan tidak akan tererosi oleh gelombang balik dari tsunami. Soulsby et al. (2007) mengenalkan model matematika sederhana untuk merekonstruksi run-up tsunami Grand Banks 1929 dengan menggunakan data besar butir endapan tsunami. Hasil perhitungan jarak inundasi serta tinggi run-up yang dilakukan oleh Soulsby et al. (2007) cukup sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan.

Srisutam (2009) memodifikasi model perhitungan Soulsby et al. (2007) untuk menghitung jarak inundasi maksimum, tinggi run-up, serta kecepatan tsunami. Model yang dikenalkan oleh Srisutam (2009) ini menggunakan asumsi adanya hubungan linier antara semakin halusnnya ukuran butir endapan tsunami dengan bertambahnya jarak ke arah daratan. Model yang diusulkan oleh Srisutam (2009) ini cukup sederhana dan sangat mudah diaplikasikan oleh sedimentologists atau geologists yang tidak familiar dengan matematika. Rekosntruksi run-up tsunami bisa jadi tidak akurat jika model matematika dan asumsi yang digunakan terlalu sederhana. Tulisan ini bermaksud menguji ketelitian model Srisutam (2009) dengan mengaplikasikannya untuk merekonstruksi run-up tsunami Mentawai 2010 dan tsunami Tohoku Oki 2011, dan membandingkannya dengan hasil survei pascatsunami di dua lokasi tersebut.

Tsunami Mentawai 2010

Pada 25 Oktober 2010 terjadi gempa bumi (Mw 7.9) yang berpusat pada kedalaman 20,6 km dan



Gambar 1. Ilustrasi parameter-parameter tsunami yang di ukur pada survei pascatsunami (di modifikasi dari Satake et al., 2013).

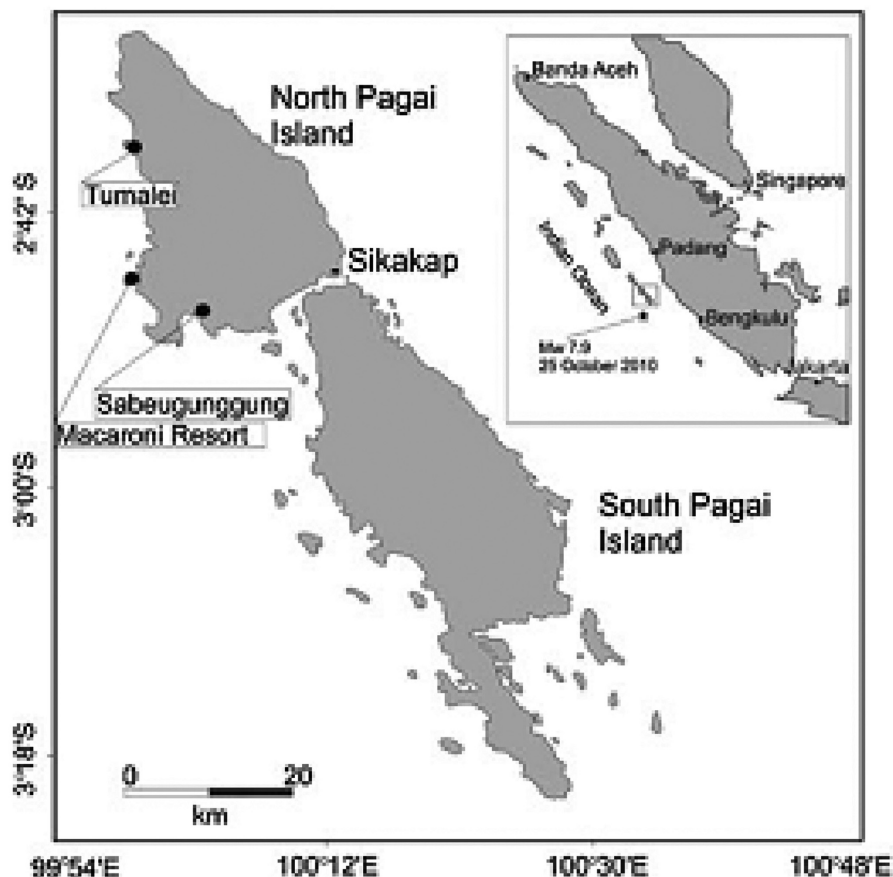
berjarak sekitar 240 km dari Bengkulu ke arah barat dan menyebabkan terjadinya tsunami yang menerjang kepulauan Mentawai. Tsunami yang digolongkan sebagai *tsunami earthquake* ini (Satake *et al.*, 2013) menimbulkan korban jiwa lebih dari 500 orang. Sekitar dua minggu setelah kejadian, dilakukan survei pascatsunami dan pengukuran pada 38 lokasi di Pulau Pagai Utara dan Pagai Selatan. Data terperinci ketinggian tsunami dan jarak inundasi dapat dilihat di Satake *et al.* (2013). Yang di ukur dalam survei tersebut berupa kedalaman aliran (*flow depth*), tinggi *run-up*, serta jarak inundasi (lihat Gambar 1).

Putra *et al.* (2013a) melakukan survei endapan tsunami Mentawai 2010 di tiga lokasi, yaitu Sabeugunggung, Makaroni Resort, dan Tumalei (Gambar 2). Ditemukan bahwa endapan tsunami Mentawai 2010 secara umum tersusun atas pecahan koral yang berukuran pasir sedang hingga kasar, pecahan cangkang, dan foraminifera. Ketebalan endapan tsunami berkisar dari 3 hingga 26 cm dan umumnya secara makroskopis

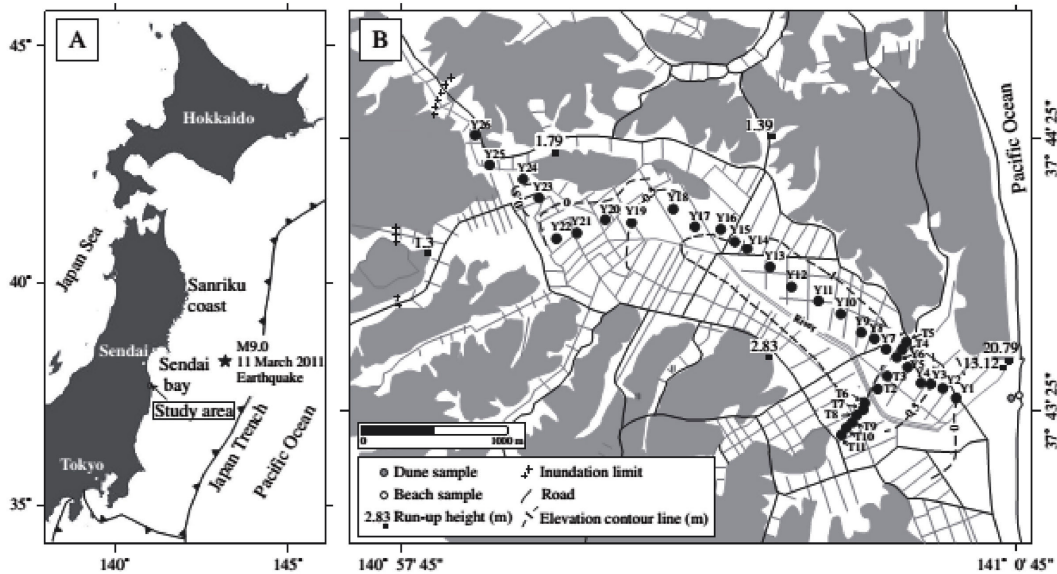
tersusun atas tiga pola penghalusan ke atas yang diinterpretasikan diendapkan oleh tiga gelombang *run-up* yang berbeda. Kondisi lokal topografi sangat memengaruhi ketebalan, jumlah lapisan, serta distribusi endapan tsunami. Dalam tulisan ini, data yang akan digunakan adalah lintasan Tumalei. Tinggi *run-up* di Tumalei berkisar 4 hingga 6 m dan tsunami menggenangi hingga 136 m (Satake *et al.*, 2013)

Tsunami Tohoku Oki 2011 di Yunuki, Fukushima

Yunuki merupakan sebuah lembah sempit (1,8 x 5,4 km) di bagian utara Prefektur Fukushima (Gambar 3). Kejadian gempa bumi (Mw 9.0) pada 11 Maret 2011 menyebabkan lembah ini tergenang tsunami hingga setinggi 20 m pada lokasi dekat garis pantai; 2,8 m di tengah lembah dan 1,3 m di dekat batas inundasi (Putra *et al.*, 2013b). Tsunami menggenangi lembah Yunuki hingga mencapai 4,8 km ke arah darat dari garis pantai. Secara umum, endapan tsunami tersusun atas lapisan pasir pada



Gambar 2. Lokasi survei endapan tsunami Mentawai 2010 (Putra *et al.*, 2013a).



Gambar 3. Lokasi survei endapan tsunami Tohoku Oki di lembah Yunuki (Putra *et al.*, 2013b).

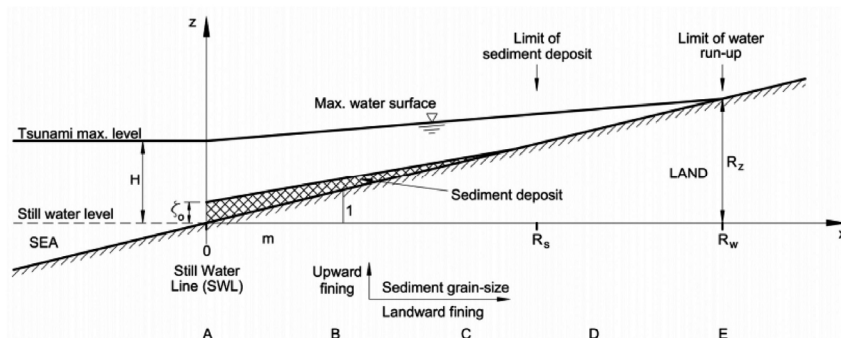
bagian bawah dan lempung pada bagian atas, serta menunjukkan satu pola penghalusan ke arah atas dan penipisan lapisan ke arah daratan.

Rekonstruksi tinggi *run-up* dan kecepatan tsunami : konseptual model

Soulsby *et al.* (2007) berhasil merekonstruksi tinggi *run-up* dan kecepatan tsunami berdasarkan data endapan tsunami. Asumsi yang dipakai Soulsby *et al.* (2007) adalah ketebalan endapan tsunami dan ukuran butir yang menipis atau menghalus secara linier dengan jarak ke arah daratan. Selain itu, pola ukuran butir endapan tsunami merupakan respons keseimbangan proses erosi dan pengendapan. Asumsi selanjutnya adalah permukaan daratan yang tergenang tsunami relatif datar dan tidak tererosi oleh tsunami, dengan kemiringan lereng 1

: m (Gambar 4). Pada Gambar 4, jika tinggi *run-up* adalah R_z , maka jarak horizontal maksimum *run-up* adalah $R_w = mR_z$ dari posisi *still water line* (SWL).

Dengan mempertimbangkan hidrodinamik gelombang tsunami, inundasi maksimum diasumsikan menurun secara linier dengan jarak x dari SWL, dari kedalaman H pada $x = 0$ hingga kedalaman 0 m pada titik *run-up* maksimal (Gambar 4). Kedalaman air $h(0,t)$ di SWL (titik A, Gambar 4) diasumsikan akan naik dengan bertambahnya waktu secara linier hingga mencapai H selama gelombang datang (*uprush* tsunami), kemudian secara linier akan berkurang selama gelombang balik (*backwash*, $\gamma T < t < T$) ketika T adalah total waktu penggenangan tsunami. Dengan mempertimbangkan dinamika sedimen, gelombang



Gambar 4. Penampang penggenangan tsunami di daratan ketika $t = \gamma T$, dengan ketebalan endapan tsunami ζ_0 ketika SWL (Soulsby *et al.*, 2007).

tsunami diasumsikan terisi oleh sedimen hasil erosi dasar laut yang tersuspensi. Konsentrasi sedimen di dalam gelombang tsunami dianggap konstan pada kedalaman berapa pun dan sepanjang waktu selama periode gelombang datang dari $t = 0$ hingga γT . Pada dasarnya, sedimen yang terangkut oleh tsunami dianggap memiliki ukuran butir tunggal dengan kecepatan mengendap (*settling velocity*) W_s . Ketebalan sedimen juga diasumsikan jauh lebih tipis daripada kedalaman inundasi (genangan).

Model Matematika

Berikut akan dijabarkan model matematika dari Soulsby *et al.* (2007). Kecepatan ketika gelombang datang dianggap konsisten dalam waktu dan ruang, dan dijabarkan dalam rumus :

$U_{up} = R_w / \gamma T$ persamaan 1
 dengan $R_w =$ jarak maksimum *run-up*.

Gelombang balik kecepatannya juga diasumsikan konstan, dan dijabarkan dalam persamaan:

$U_{back} = -R_w / (1 - \gamma T)$ persamaan 2

Ketika kecepatan gelombang datang seperti pada persamaan 1, maka jarak maksimum sedimen diendapkan (R_s) dapat dihitung dengan persamaan:

$R_s = U_{up} (\gamma T - t_i)$
 $= R_w / (W_s \gamma T / H + 1)$ persamaan 3

Jika $\alpha = W_s T / H$, maka hubungan R_s dan R_w adalah $R_s = R_w / (1 + \alpha \gamma)$

Model matematika Soulsby di atas digunakan untuk menghitung jarak horizontal maksimum dan

tinggi *run-up* dengan asumsi ketebalan endapan menipis ke arah darat.

Srisutam (2009) melakukan modifikasi pada model matematika Soulsby *et al.* (2007) ini. Prinsip utama modifikasi ini adalah jarak maksimum pengendapan sedimen oleh *run-up* tsunami (R_s) dihitung dari plot nilai rata-rata besar butir terhadap jarak untuk setiap lapisan, seperti yang terlihat dalam Gambar 5.

Menurut Srisutam (2009), persamaan linier yang digunakan untuk menghitung jarak maksimum pengendapan dari *run-up* adalah :

$R_s = d_m - C/m$ persamaan 4

dengan $d_m =$ nilai rata-rata besar butir endapan tsunami

$C =$ konstanta pada persamaan linier

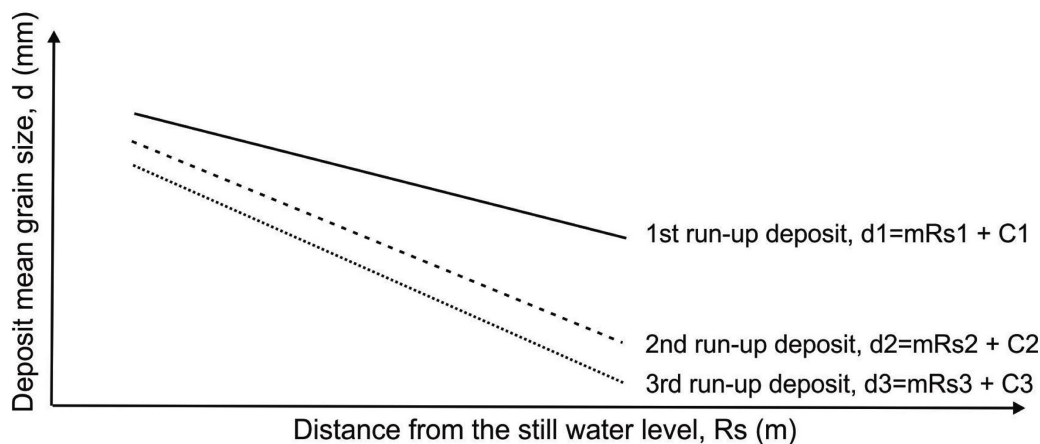
(lihat Gambar 5)

$m =$ kemiringan (*slope*) persamaan linier

(lihat Gambar 5)

$R_s =$ jarak maksimum sedimen diendapkan

Persamaan 3, mengenai hubungan jarak maksimum *run-up* dan jarak maksimum pengendapan, dapat diterapkan pada ukuran sedimen (besar butir) untuk masing-masing titik awal dan akhir masing-masing lapisan sedimen. Nilai besar butir pada masing-masing titik awal dan akhir didapat dari hasil analisis besar butir. Srisutam (2009) menggunakan nilai besar butir 0,0625 mm pada titik akhir dengan pertimbangan endapan yang berbutir sangat halus biasanya akan terangkut kembali ke laut oleh gelombang balik, sehingga nilai 0,0625 mm



Gambar 5. Penurunan nilai rata-rata besar butir terhadap jarak untuk setiap lapisan masing-masing *run-up* (Srisutam, 2009).

dianggap paling mewakili.

Dari perhitungan dengan persamaan 3, jika nilai R_s dan W_s diketahui, maka nilai R_w dan $B = \gamma T/H$ dapat dihitung. Setelah R_w dan B diketahui, maka tinggi *run-up* (H) dapat diukur dengan persamaan:

$$H = R_w S \dots \dots \dots \text{persamaan 5}$$

dengan S = kemiringan lereng

Selanjutnya, kecepatan rata-rata *run-up* (*mean run-up velocity*) dapat diukur dengan persamaan 1 di atas, yaitu $U_{up} = R_w/\gamma T$.

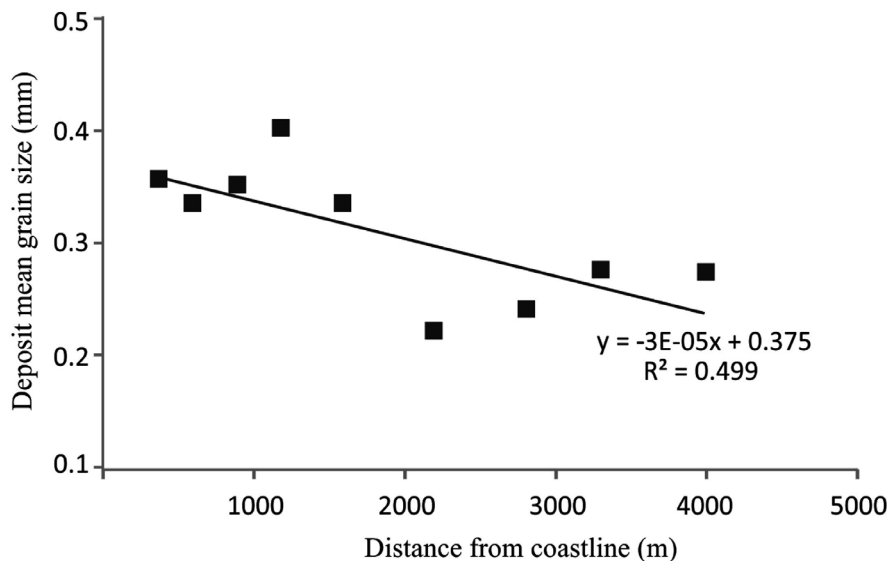
Hasil Perhitungan *Run-up* dan Kecepatan Tsunami, Studi Kasus Tohoku oki tsunami 2011 di Yunuki

Data besar butir yang dipakai dalam perhitungan ini diambil dari studi Putra *et al* (2013b). Hasil survei lapangan menunjukkan di sepanjang lintasan dijumpai endapan tsunami dengan satu

pola penghalusan ke arah atas yang dihasilkan oleh gelombang tsunami terakhir yang merupakan gelombang terbesar (Putra *et al.*, 2013b). Plot besar butir endapan tsunami terhadap jarak dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai konstanta dan kemiringan lereng persamaan linier pada Gambar 6 ini digunakan untuk perhitungan metode Srisutam (2009) (lihat persamaan 4). Hasil perhitungan tinggi *run-up* dan kecepatan tsunami dapat dilihat pada Tabel 1. Dari perhitungan terlihat bahwa tsunami menggenangi daerah penelitian hingga (R_w) 11764 m, sedangkan distribusi endapan tsunami terdapat hingga 10.400 m dari garis pantai (R_s). Sementara itu, tinggi *run-up* mencapai 5,75 m dengan kecepatan tsunami (U_{up}) mencapai 5,67 m/s.

Studi Kasus Mentawai tsunami 2010 di Tumalei

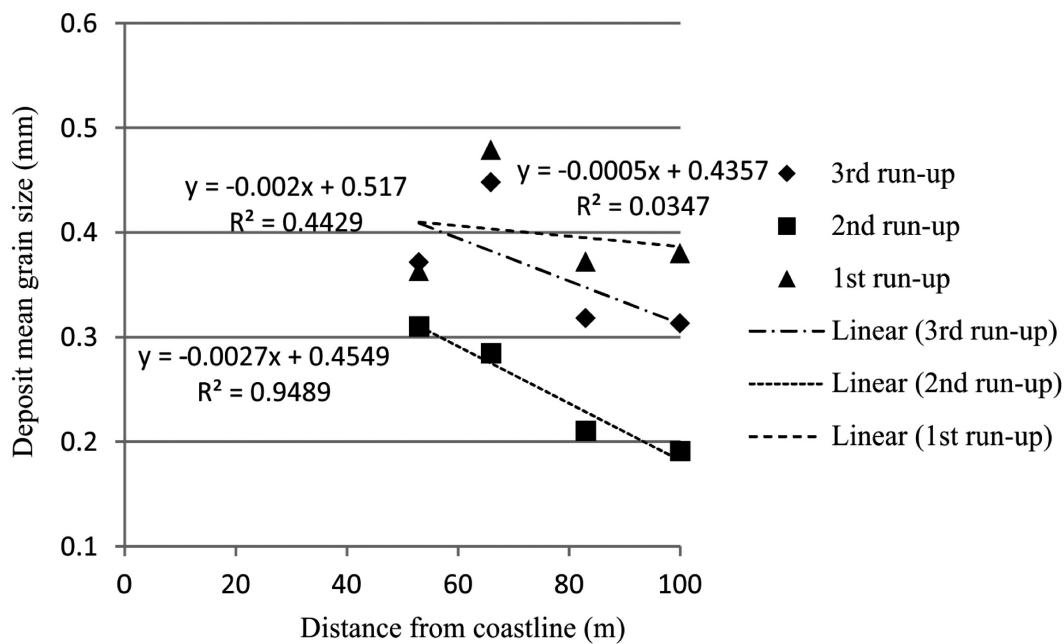
Data besar butir untuk merekonstruksi tsunami



Gambar 6. Plot nilai rata-rata besar butir endapan tsunami terhadap jarak pada lintasan Yunuki.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tinggi *Run-up* Dan Kecepatan Tsunami Pada Lintasan Yunuki

ukuran butir Rata-rata (mm)	S*	W*	Ws m/s2	Rs (m)	$\gamma T/H$	Rw (m)	H (m)	γT	Uup (m/s)
0,357	6,013	0,679	0,052	600,000	360,958	11764,706	5,752	2076,096	5,667
0,063	0,467	0,094	0,000	10400,000					



Gambar 7. Plot nilai rata-rata besar butir endapan tsunami Mentawai terhadap jarak pada lintasan Tumalei.

run-up di Mentawai ini menggunakan data Putra *et al.* (2013a). Endapan tsunami pada transek Tumalei menunjukkan adanya tiga pola struktur penghalusan ke arah atas (*graded bedding*) yang kemungkinan dihasilkan oleh tiga gelombang *run-up* tsunami. Hasil plot besar butir endapan tsunami Mentawai 2010 terhadap jarak di Tumalei dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa gelombang *run-up* pertama mencapai tinggi hingga 3,04 m dan menggenangi daratan sejauh 253 m dengan kecepatan 1,82 m/s. Endapan tsunami terdistribusi hingga 226 m dari garis

pantai. Gelombang *run-up* kedua, tinggi 1,92 m, menggenangi daratan dengan jarak yang lebih pendek daripada gelombang pertama, yaitu mencapai 159,82 m dengan kecepatan yang hampir sama yaitu 1,85 m/s. Endapan tsunami terendapkan hingga 144,44 m dari garis pantai. Dari hasil perhitungan, gelombang *run-up* ketiga merupakan gelombang yang paling jauh menggenangi, yaitu mencapai 1.188,88 m meskipun kecepatannya hanya 0,51 m/s dengan jarak terdapatnya endapan mencapai 741 m dari garis pantai. Tinggi *run-up* gelombang ketiga ini mencapai 14,27 m.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tinggi *Run-up* Dan Kecepatan Tsunami Pada Lintasan Tumalei

Run-up 1

ukuran butir rata-rata (mm)	S*	W*	Ws m/s ²	Rs (m)	$\gamma T/H$	Rw (m)	H (m)	γT	U u p (m/s)
0,363 0,063	5,220 0,396	0,641 0,079	0,050 0,003	77,000 226,000	45,706	253,290	3,039	138,921	1,823

Run-up 2

u k u r a n butir rata-rata (mm)	S*	W*	Ws m/s ²	Rs (m)	$\gamma T/H$	Rw (m)	H (m)	γT	U u p (m/s)
0,310	4,119	0,572	0,045	53,704	44,901	159,821	1,918	86,114	1,856
0,063	0,396	0,079	0,003	144,444					

Run-up 3

u k u r a n butir rata-rata (mm)	S*	W*	Ws m/s ²	Rs (m)	$\gamma T/H$	Rw (m)	H (m)	γT	U u p (m/s)
0,372	5,404	0,650	0,051	128,400	161,741	1188,889	14,267	2307,511	0,515
0,063	0,396	0,079	0,003	741,400					

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kecepatan rata-rata *run-up* tsunami hasil perhitungan pada lintasan Yunuki adalah 5,67 m/s. Sementara itu, hasil perhitungan di lintasan Tumalei kecepatan maksimal tsunaminya mencapai 1,86 m/s. Karena tidak ada pengukuran kecepatan tsunami di kedua lokasi studi kasus, hasil perhitungan dan pengukuran tidak bisa dibandingkan. Sebagai perbandingan, Fritz *et al.* (2006) mengukur kecepatan tsunami 2004 di Banda Aceh dan hasil pengukurannya menunjukkan kecepatan tsunami berkisar 2 - 5 m/s.

Perhitungan *run-up* menggunakan metode Srisutam (2009) pada dua lokasi studi kasus ini diperoleh hasil yang *overestimated*, yaitu melebihi hasil pengukuran lapangan. Meski tinggi *run-up* tsunami Tohoku Oki 2011 di Yunuki menurut hasil perhitungan (5,75 m) berada di kisaran tinggi *run-up* hasil survei, yang mencapai maksimal 20 m, tapi jauh genangan (Rw) hasil perhitungan mencapai 11,7 km yaitu lebih dari dua kali lipat

jauh genangan pengukuran yang hanya mencapai 4,8 km (Tabel 3). Dari perhitungan ini didapatkan pula bahwa endapan tsunami terdistribusi hingga 10,4 km dari garis pantai, sedangkan hasil survei endapan tsunami hanya terdistribusi hingga sejauh kurang dari 4,5 km dari garis pantai.

Untuk tsunami Mentawai 2010 di Tumalei, jarak genangan maksimumnya kurang dari 200 m. Hasil perhitungan *run-up* gelombang 1 dan 2 memang mendekati hasil pengukuran, yaitu masing-masing 253,29 m dan 159,82 m. Namun, hasil perhitungan genangan *run-up* ketiga sangat melebihi hasil pengukuran, yaitu mencapai 1 km lebih dari garis pantai. Tinggi *run-up* hasil perhitungan, untuk *run-up* gelombang 1 dan 2 sedikit di bawah hasil pengukuran. Namun, untuk *run-up* gelombang 3 sangat jauh melebihi hasil pengukuran, yaitu mencapai 14,27 m (Tabel 4).

Menurut Srisutam (2009), model matematikanya akan memberikan hasil perhitungan yang optimal jika kemiringan lereng daratannya landai.

Tabel 3. Perbandingan Hasil pengukuran Lapangan Dengan Hasil Perhitungan untuk Studi Kasus di Yunuki

Yunuki	Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan
Tinggi <i>run-up</i>	1,3 hingga 20 m	5,72 m
Jarak inundasi	4,8 km	11,76 km
Kecepatan tsunami		5,67 m/s

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengukuran Lapangan Dengan Hasil Perhitungan untuk Studi Kasus Di Tumalei

Tumalei	Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan		
		run-up 1	run-up 2	run-up 3
tinggi run-up	4 hingga 6 m	3,04 m	1,92 m	14,27 m
jarak inundasi	136 m	253,29 m	159,82 m	1188,89 m
kecepatan tsunami		1,82 m/s	1,86 m/s	0,52 m/s

Kemiringan lereng pada lintasan Yunuki sangat landai, hanya ada beda tinggi kurang dari 2,5 m untuk lintasan sepanjang 4,8 km. Meskipun sangat landai lerengnya, namun hasil perhitungan tidak sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan, sehingga kemiringan lereng bukanlah hal yang menjadi faktor penentu hasil perhitungan yang melebihi hasil pengukuran lapangan. Pada lintasan Mentawai, kemiringan lerengnya lebih curam namun hasil perhitungan *run-up* juga melebihi hasil pengukuran. Karena itu, berdasarkan hasil perhitungan pada dua lokasi ini, faktor kemiringan lereng bukanlah hal pokok yang harus dipertimbangkan, melainkan terlalu sederhananya asumsi yang digunakan, yaitu hubungan linier nilai rata-rata besar butir terhadap jarak. Karena prinsip utama modifikasi ini adalah R_s (jarak maksimum pengendapan sedimen oleh *run-up* tsunami) dihitung dari plot nilai rata-rata besar butir terhadap jarak untuk setiap lapisan, maka data distribusi besar butir di sepanjang lintasan menjadi kunci. Distribusi besar butir di sepanjang lintasan tentunya tidak akan seideal asumsi yang dipakai dalam perhitungan metode Srisutam (2009) ini.

Meskipun di kedua lokasi studi kasus didapati besar butir yang secara umum menghalus ke arah darat, namun sebenarnya terdapat variasi lokal yang menunjukkan pengkasaran ukuran butir ke arah darat, misalnya pada titik keempat lintasan Yunuki dijumpai ukuran butir yang jauh lebih besar dari pada titik pertama. Demikian pula titik terakhir yang lebih kasar ukurannya dibandingkan titik keenam yang berada di tengah-tengah lintasan (lihat Gambar 6). Hal yang sama juga ditemukan pada lintasan Tumalei.

Selain itu, hal lain yang mungkin membuat hasil perhitungan tidak sesuai dengan pengukuran adalah tidak adanya kejelasan dalam metode Srisutam (2009) mengenai berapa jumlah minimal titik

sampling dalam sepanjang lintasan, serta berapa jarak minimal masing-masing titik. Tentu saja mungkin akan lebih baik jika data semakin detail. Faktor lain adalah jika menurut Srisutam (2009) satu pola penghalusan ke atas diidentifikasi sebagai hasil pengendapan oleh satu gelombang datang dan balik, bisa jadi sebenarnya tidak seperti itu karena pengendapan oleh tsunami itu sangat kompleks. Sedimen yang sudah diendapkan oleh gelombang yang terdahulu bisa jadi sebagian atau seluruhnya tererosi oleh gelombang selanjutnya. Faktor pengawetan endapan tsunami juga bisa berpengaruh. Jika survei endapan tsunami tidak dilakukan langsung pascatsunami, bisa jadi karakteristik endapan tsunami (ketebalan, besar butir, struktur sedimen) sudah berubah oleh proses-proses pascapengendapan, misalnya aktivitas manusia, hujan, bioturbasi dan aliran air permukaan.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini metode Srisutam digunakan untuk merekonstruksi *run-up* dan kecepatan tsunami di dua lokasi, yaitu di Yunuki, Tohoku dan Tumalei, Mentawai. Hasil perhitungan pada kedua lokasi tersebut menunjukkan hasil yang sangat berbeda dengan pengukuran di lapangan. Di Yunuki, meskipun hasil perhitungan tinggi *run-up* yaitu 5,72 m berada di kisaran hasil pengukuran (1,3 - 20 m), namun jarak inundasi hasil perhitungan (11,76 km) jauh melebihi hasil pengukuran yaitu 4,8 km. Pada kasus Tumalei, hasil perhitungan tinggi *run-up* mencapai 14,27 m, sedangkan hasil pengukuran berada di kisaran 4 - 6 m. Jarak inundasi hasil perhitungan adalah 1,19 km sedangkan hasil pengukuran hanya berjarak 136 m. Hal ini menunjukkan bahwa metode Srisutam ini memang sangat sederhana dan meskipun sebenarnya memudahkan *geologists*

yang tidak familiar dalam matematika, namun hasil perhitungannya bisa jadi akan sangat tidak akurat.

Hasil perhitungan kecepatan rata-rata *run-up* tsunami pada lintasan Yunuki adalah 5,67 m/s, sedangkan di lintasan Tumalei maksimal mencapai 1,86 m/s. Hasil perhitungan kecepatan *run-up* ini tidak bisa dibandingkan dengan hasil di lapangan karena tidak ada pengukuran. Namun, kecepatan tsunami di Yunuki yang lebih besar mungkin berhubungan dengan kemiringan lereng, di Yunuki jauh lebih landai daripada di Tumalei. Meskipun di Yunuki kemiringan lereng sangat landai, namun hasil perhitungan sangat berbeda jauh dengan hasil pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa faktor kemiringan lereng tidak begitu berpengaruh terhadap hasil perhitungan, namun faktor penentunya adalah penyederhaan asumsi adanya penghalusan besar butir ke arah darat. Paramater utamanya untuk input data dalam metode Srisutam ini adalah data besar butir yang diasumsikan menghalus ke arah daratan. Meskipun secara umum memang didapati penghalusan ke arah darat pada kedua lintasan, namun pasti selalu ada variasi lokal, misalnya mikrotopografi, yang memengaruhi distribusi besar butir sedimen di sepanjang lintasan, sehingga dalam metode ini akan lebih baik jika mungkin dimasukkan parameter besar butir lain selain nilai rata-rata besar butir, yaitu parameter sortasi misalnya.

Tulisan ini menunjukkan bahwa studi mengenai rekonstruksi *run-up* tsunami dan kecepatannya yang masih sangat minim dilakukan ini memang masih sangat jauh dari sempurna. Diharapkan ke depannya model-model matematika yang lebih sesuai akan bisa dimunculkan, sehingga pada akhirnya nanti model tersebut dapat diaplikasikan untuk rekonstruksi paleotsunami yang hasilnya akan sangat membantu dalam mitigasi bencana tsunami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua penelaah atas diskusi dan masukannya yang sangat membantu dalam peningkatan kualitas makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Fritz, H.M., Borrero, J.C., Synolakis, C.E., Yoo, J., 2006. 2004 Indian Ocean tsunami flow velocity measurements from survivor videos. *Geophysical Research Letters* 33.
- Jaffe, B.E., dan Gelfenbaum, G., 2007. A simple model for calculating tsunami flow speed from tsunami deposits. *Sedimentary Geology*, 200, 347-361.
- Putra, P.S., Nishimura, Y., Yulianto, E., 2013a. Sedimentary features of tsunami deposits in carbonate-dominated beach environments: a case study from the 25 October 2010 Mentawai tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 170, 1583 - 1600.
- Putra, P.S., Nishimura, Y., Nakamura, Y., Yulianto, E., 2013b. Sources and transportation modes of the 2011 Tohoku-Oki tsunami deposits on the central east Japan coast. *Sedimentary Geology*, 294, 182 - 293.
- Satake, K., Nishimura, Y., Putra, P.S., Gusman, A.R., Tanioka, Y., Fujii, Y., Sunendar, H., Latief, H., dan Yulianto, E., 2013. Tsunami Source of the 2010 Mentawai Earthquake, Indonesia, Inferred from Tsunami Field Survey and Waveform Modelling. *Pure and Applied Geophysics*, 170, 1567 - 1582
- Soulsby, R.L., Smith, D.E., Ruffman, A., 2007. *Reconstructing tsunami run-up from sedimentary characteristics-a simple mathematical model*. Sixth International Symposium on Coastal Sediment Process – Coastal Sediment 2007, COPRI of the American Society of Civil Engineers, 2, 1075-1088.
- Srisutam, C., 2009. *Tsunami Deposit Characteristics at the Thai Andaman Coast*. Doctoral Dissertation, University of Trier, Germany, 246h.