

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL GEOMATIKA

PENGELOLAAN SUMBERDAYA DAN PENANGGULANGAN BENCANA ALAM

PELUANG & TANTANGAN INFORMASI GEOSPASIAL

Editor :

Prof Dr. Fahmi Amhar

Prof Aris Poniman

Dr. Dewayany Sutrisno

Dr. Sobar Sutisna

Dr. Sri Handoyo

Dr. Ibnu Sofian

Dr. Mulyanto Darmawan



**Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
(BAKOSURTANAL)**

2011

KAJIAN GEOMORFOLOGI UNTUK PEMETAAN BAHAYA TSUNAMI DI KOTA MANOKWARI DENGAN MEMANFAATKAN DATA PENGINDERAAN JAUH

Boedi Tjahjono^{1,4}, Samy Djunire², Bambang H. Trisasongko^{3,4}, Budi Mulyanto⁴

¹PPLH, Institut Pertanian Bogor, Jalan Lingkar Akademik, Bogor 16680.

Email : boedi_tj@yahoo.com

²Badan Perencanaan Pengendalian dan Pembangunan Daerah (BP3D) Provinsi Papua Barat, Manokwari, Papua Barat.

³P4W/CRESTPENT, Institut Pertanian Bogor, Jalan Pajajaran, Bogor 16143.

⁴Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti, Bogor 16680.

ABSTRAK

Kota Manokwari (ibu kota Provinsi Papua Barat) terus mengalami perubahan dan perluasan seiring dengan perkembangan demografi dan ekonomi. Kota ini termasuk salah satu kota yang rawan bencana tsunami. Pada tahun 1996 tsunami setinggi 2 m telah menggenangi kota tersebut dan pada tahun 2002 kejadian yang sama menyapu kota dengan tinggi gelombang 1 m. Untuk itu, mitigasi bencana menjadi salah satu program penting, utamanya dalam pemetaan daerah bahaya tsunami. Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji aspek geomorfologi pada program mitigasi tersebut. Data penginderaan jauh seperti foto udara, SRTM, maupun citra dari Google Earth merupakan data utama dalam kajian ini sedangkan pendekatan geomorfologis akan dipakai untuk identifikasi dan pemetaan daerah bahaya tsunami. Dalam penelitian ini, bentuklahan marin dan fluvio-marine merupakan bentuklahan yang paling rentan dan menjadi fokus utama kajian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa foto udara sebagai produk penginderaan jauh yang saat ini mulai ditinggalkan masih sangat bermanfaat untuk studi bencana. Skala foto udara 1:25.000 dapat memberikan informasi yang lebih rinci untuk analisis geomorfologi melalui stereoskop cermin (3-D) dibandingkan dengan SRTM. Citra dari Google Earth tahun 2005 (kombinasi berbagai citra resolusi tinggi) sangat baik mendeteksi kenampakan bentuklahan namun agak sulit untuk memilahkan bentuklahan pesisir yang umumnya mempunyai relief halus. Hasil analisis menunjukkan bahwa areal kota sekitar 1.213.97 ha masuk ke dalam kelas bahaya tinggi. Sebagian besar dari areal tersebut merupakan daerah terbangun (permukiman, pusat komersial, perkantoran), sehingga kota ini dikategorikan mempunyai resiko cukup tinggi untuk tsunami. Program mitigasi jangka pendek dan panjang perlu mendapatkan prioritas.

Kata Kunci: geomorfologi, Manokwari, mitigasi, tsunami.

ABSTRACT

Manokwari (capital city of West Papua Province) has been changing and expanding to accommodate demographic and economic growth. Nonetheless, the city is one of the tsunami-prone areas in Indonesia. In 1996, 2 m tsunami waves destroyed the area, and again in 2002 with 1 m waves. It is lucid, then, that the city requires a comprehensive mitigation planning, particularly in mapping tsunami hazard zones. This paper is dedicated to provide geomorphological insights on the mitigation task. Remote sensing data has been applied, including aerial photographs, Google Earth and SRTM, to assist geomorphological mapping, especially on marine and fluvio-marine landscapes. The research suggests that conventional aerial photographs were advantageous due to their high-resolution (1:25.000 scale) which provided comprehensive 3-D viewing in comparison to SRTM data. Additional high resolution data provided by Google Earth assisted in landform features but it was fairly difficult to separate marine landforms having low relief. The analysis showed that about 1.213.97 Ha of Manokwari is classified into the most hazardous region. Largely, the area has been built for housing, commercials, office centers, etc. which is high-risk to the tsunami. Therefore, a short- and long-term mitigation program should be established and prioritized.

Keywords: geomorphology, Manokwari, mitigation, tsunami

PENDAHULUAN

Tsunami merupakan fenomena alam yang banyak menarik perhatian masyarakat Indonesia terutama sejak terjadinya gempa dan tsunami Aceh 26 Desember 2004. Gempa ini berkekuatan 9 SR, suatu magnitude yang jarang terjadi, dan membawa bencana besar dengan menelan 225.000 korban jiwa (Ambrosius *et al.*, 2005). Sejak saat itu masyarakat pesisir Indonesia yang rawan tsunami selalu waspada dan mempunyai rasa takut terhadap bencana tsunami baik karena pengalaman secara langsung maupun tidak langsung (melalui media massa). Hal ini terkadang membawa perilaku masyarakat yang berlebihan jika terjadi gempa, yaitu menyelamatkan diri secara masal dan panik menjauhi pantai. Pada beberapa kasus rasa ketakutan ini dimanfaatkan orang untuk modus kejahatan.

Tsunami yang dilahirkan oleh gempa berkekuatan 8.9 - 9 SR di Jepang pada 11 Maret 2011 lalu merupakan kejadian besar yang berdampak cukup serius, bahkan sempat menelan seorang korban di Jayapura (Kompas, 2011a). Hancurnya instalasi PLTN di Fukushima akibat tsunami telah pula melahirkan bahaya sekunder berupa radiasi nuklir yang tidak kalah bahayanya dengan tsunami itu sendiri (Kompas, 2011b). Indonesia sebenarnya merupakan negara yang lebih berpotensi daripada Jepang terhadap gempa dan tsunami mengingat lokasinya yang berada di pertemuan tiga lempeng besar tektonik, yaitu Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik.

Dari karakteristik geofisik tersebut, ancaman bahaya tsunami di tanah air merupakan ancaman yang sangat serius, terlebih prediksi kapan terjadinya gempa masih sangat sulit untuk diketahui, padahal sekitar 60 % penduduk Indonesia bermukim di wilayah pesisir. Manokwari merupakan salah satu kota pesisir yang pernah terlanda oleh beberapa gelombang tsunami. Gempa bumi yang terjadi di Pulau Biak pada tanggal 17 Februari 1996 telah melahirkan gelombang tsunami setinggi

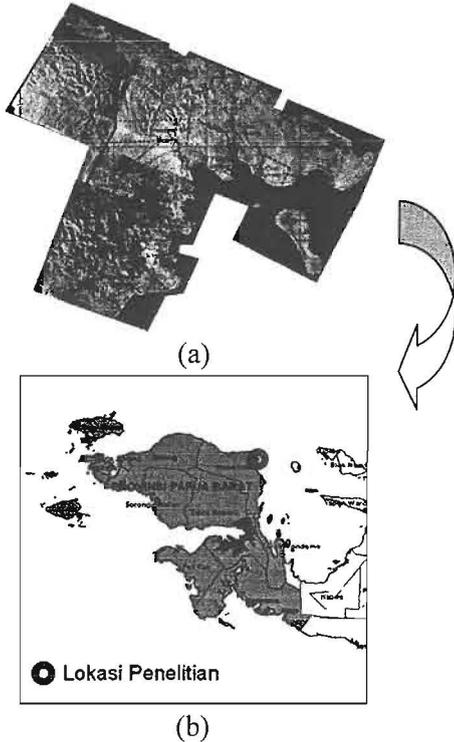
2 m, sedikitnya 108 orang meninggal, meratakan 134 rumah penduduk di Manokwari, menghancurkan 119 rumah, dan merusak ringan 144 rumah (Djunire, 2009). Pada tanggal 10 Oktober 2002 gempa bumi terulang kembali, melahirkan tsunami dan membawa korban 8 orang, 632 luka, dan 1000 rumah hancur (USGS, 2002), menggenangi beberapa desa/kampung di Manokwari, yaitu Wirsi, Anggrem, Arkuki, Borobudur, Wosi, dan Maruni setinggi lebih dari 1 m, menghancurkan daerah permukiman dan infrastruktur yang ada (Djunire, 2009).

Sejak Manokwari dijadikan ibukota Provinsi Papua Barat pada tahun 2007, kota ini tampak semakin berkembang pesat. Perkembangan ini dapat menambah tingkat resiko jika tidak ada kontrol pemanfaatan ruang ke depan. Oleh karena itu perencanaan tata ruang berbasis bahaya tsunami sangat diharapkan untuk kota Manokwari. Untuk itu data penginderaan jauh harus dimanfaatkan sebaik mungkin terutama untuk negara-negara berkembang agar penanggulangan bencana alam dapat diprogramkan dengan baik pula (Rengers dan van Westen, 1994). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari bahaya tsunami di Kota Manokwari dan pemetaannya melalui data penginderaan jauh dengan pendekatan geomorfologi. Diharapkan hasil yang diperoleh dapat dimanfaatkan oleh para pemangku kepentingan, baik untuk tata ruang maupun program mitigasi bencana alam.

BAHAN DAN METODE

Kota Manokwari secara geografis terletak antara 0° 51' - 0° 54' Lintang Selatan, dan 134° 2' - 134° 8' Bujur Timur. Kota ini menghadap ke Teluk Sawaibu dan Teluk Wosi yang menghubungkan ke Samudera Pasifik. Dalam penelitian ini data penginderaan jauh foto udara hitam-putih pankromatik tahun 1988 skala 1:25.000 (Bakosurtanal) digunakan untuk interpretasi visual geomorfologi dengan menggunakan stereoskop cermin. Data SRTM dan Citra dari Google Earth tahun 2005 (kombinasi berbagai citra resolusi tinggi) yang

diunduh secara gratis dari internet juga dipakai untuk interpretasi visual monoskopik geomorfologis sebagai pembanding. Adapun batas wilayah yang dikaji terbatas pada liputan foto udara yang mencakup perkotaan Manokwari dan sekitarnya (Gambar 1).



Gambar 1. (a) liputan foto udara Manokwari; (b) lokasi daerah penelitian

Penilaian bahaya tsunami dilakukan melalui analisis bentuklahan (*landform*) terutama dari aspek morfogenesis untuk mengetahui kerentanannya dan aspek morfometri. Kajian ini dilengkapi dengan observasi lapangan untuk melakukan cek hasil interpretasi dan menentukan titik-titik GPS genangan tsunami yang pernah dicapai dari dua kejadian terakhir (1996 dan 2002). Observasi lapangan dilakukan pada bulan juni 2007 disertai wawancara dengan penduduk lokal sebagai saksi kejadian-kejadian tsunami yang telah terjadi. Penentuan tingkat bahaya tsunami dilakukan dengan metode sederhana, melalui pembobotan dan skoring dari parameter-parameter yang dinilai (Tabel 1, 2, dan 3), yaitu elevasi dan jarak dari garis pantai serta kerentanan bentuklahan. Zona genangan tsunami yang terjadi di masa lalu dijadikan sebagai pengontrol terhadap hasil klasifikasi.

Tabel 1. Klasifikasi skor dan bobot untuk ketinggian lahan (elevasi)

Ketinggian/Elevasi Lahan (Bobot 60)		
Ketinggian Lahan	Skor	Nilai
< 5 m (rendah)	2	120
5 – 10 m (sedang)	1	60
> 10 m (tinggi)	0	0

Tabel 2. Klasifikasi skor dan bobot untuk jarak dari garis pantai

Jarak dari Garis Pantai (Bobot 30)		
Jarak	Skor	Nilai
< 250 m (dekat)	2	60
250– 500 m (sedang)	1	30
> 500 m (jauh)	0	0

Tabel 3. Klasifikasi skor dan bobot untuk kerentanan bentuklahan.

Kerentanan Bentuklahan (Bobot 10)		
Nama Bentuklahan	Skor	Nilai
Marin, Fluvial dan Fluvio-marin	2	20
Perbukitan	1	10
Dataran Tinggi/Pegunungan	0	0

Untuk menilai bahaya tsunami selanjutnya didasarkan pada rumusan berikut :

$$H = E + D + L ; E = (w_1 \times s_1); D = (w_2 \times s_2); L = (w_3 \times s_3)$$

Keterangan :

H = bahaya tsunami

E = ketinggian tempat (elevasi)

D = jarak dari garis pantai

L = bentuklahan (kerentanan)

w 1 = bobot untuk elevasi

w 2 = bobot untuk jarak

w 3 = bobot untuk kerentanan bentuklahan

s 1 = skor untuk elevasi

s 2 = skor untuk jarak

s 3 = skor untuk kerentanan bentuklahan

Tingkat bahaya dikelaskan menjadi tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi dengan kelas interval yang dihitung berdasarkan perbedaan antara nilai tertinggi dan terendah yang dibagi dengan jumlah kelas yang diinginkan. Dengan demikian kelas interval bahaya adalah : $(200-0)/3=66,67$ atau 67, sehingga klasifikasi tingkat bahaya tsunami dapat dirumuskan pada Tabel 4. Dalam tabel tersebut nilai 0 dianggap sebagai daerah aman tsunami.

Tabel 4. Klasifikasi dan kelas interval bahaya tsunami

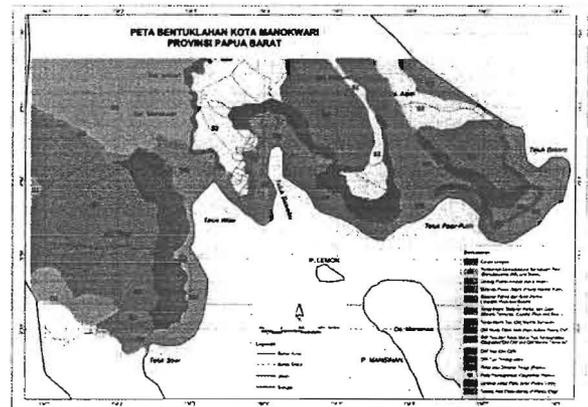
Klas	Klas Interval	Kriteria
Bahaya tinggi	> 135	Wilayah yang mempunyai kemungkinan tinggi terkena tsunami
Bahaya sedang	68-135	Wilayah yang mempunyai kemungkinan terkena tsunami sedang
Bahaya rendah	1-67	Wilayah yang mempunyai kemungkinan terkena tsunami rendah
Aman dari tsunami	0	Wilayah yang tidak terancam oleh bahaya tsunami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi

Kondisi geomorfologi daerah penelitian dapat digambarkan dari jenis bentuklahan (Tabel 5) dan persebarannya (Gambar 2). Peta bentuklahan yang dihasilkan merupakan hasil pengamatan lapangan dan interpretasi geomorfologi dengan foto udara, citra SRTM, dan Citra dari Google Earth. Berdasarkan hasil observasi lapangan, batugamping koral merupakan batuan yang relatif dominan menyusun bentuklahan baik di pegunungan maupun di dataran rendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses-proses tektonik pengangkatan merupakan faktor pembentukan daratan Manokwari yang disertai oleh proses-proses denudasi yang mengukir permukaan daratan. Beberapa bentuklahan pegunungan tersusun oleh batupasir dan lanau yang

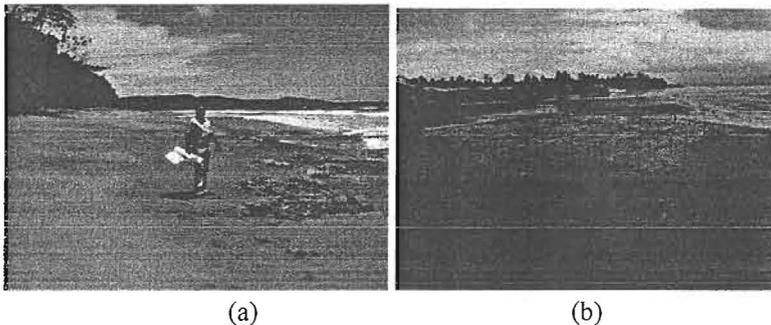
kesemuanya merupakan massa batuan sedimen yang terangkat oleh proses tektonik. Identifikasi bentuklahan melalui ketiga jenis data penginderaan jauh menunjukkan bahwa foto udara mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan citra yang lain. Foto udara dapat diamati secara 3D melalui stereoskop sehingga memudahkan pengenalan bentuklahan. Pemilahan (delimitasi) bentuklahan banyak dibantu oleh perbesaran skala vertikal (*vertical exaggeration*) yang terjadi pada pengamatan stereoskopis. Data SRTM mempunyai kelebihan yang sama dalam menonjolkan gambaran 3D (*land surface object*) hanya saja resolusi spasial yang dimiliki (90 m) tidak mampu membedakan bentuklahan lebih rinci, sedangkan bentuklahan marin umumnya memiliki luasan kecil, seperti gisik pantai (*beach*), *spit* atau yang lainnya. Citra Google Earth mempunyai keunggulan pada resolusi yang tinggi (2,5 m) sehingga detil bentuklahan dapat diamati secara seksama melalui perbesaran maupun pengecilan citra untuk melihat hubungan spasial dan pola keruangan bentuklahan. Meskipun citra berwarna memiliki keunggulan yang lain, namun keterbatasan penglihatan stereo (3D) menjadikan salah satu keterbatasan dalam pemilahan bentuklahan.



Gambar 2. Peta Bentuklahan Wilayah Penelitian

Tabel 5. Bentuklahan wilayah penelitian

No	Bentuklahan	Kode	Batuan	Luas	
				Ha	%
1	Dataran Pantai dan Gisik Pantai (<i>Coastal Plain and Beach</i>)	M1	Batugamping Koral	200.52	3.37
2	Teras Marin, Dataran Pantai dan Gisik Pantai (<i>Marine Terraces, Coastal Plain and Beach</i>)	M2	Batugamping Koral, Aluvium	422.82	7.10
3	Teras Marin Tua (<i>Old Marine Terraces</i>)	M3	Batugamping Koral	223.60	3.75
4	Cliff Muda tidak Aktif (<i>Non Active Young Cliff</i>)	M5	Batugamping Koral	72.99	1.23
5	Cliff Tua dan Teras Marin Tua Terdegradasi (<i>Degraded Old Cliff and Old Marine Terraces</i>)	M6	Batugamping Koral	422.14	7.09
6	Cliff Tua (<i>Old Cliff</i>)	M7	Batugamping Koral	40.45	0.68
7	Cliff Tua Terdegradasi (<i>Degraded Old Cliff</i>)	M8	Batugamping koral	384.68	6.46
8	Dataran Fluvio-Marin (<i>Fluvio-Marine Plain</i>)	FM	Aluvium	324.42	5.45
9	Lereng Fluvio-Coluvial (<i>Talus Slope</i>)	FC	Alluvio-Colluvial	171.32	2.88
10	Plato atau Dataran Tinggi (<i>Plateau</i>)	S1	Batugamping Koral	1.623.98	27.26
11	Plato Terdegradasi (<i>Degraded Plateau</i>)	S2	Batugamping Koral	756.03	12.69
12	Lembah antar Plato (<i>Inter-Plateau Valley</i>)	S3	Batugamping Koral	253.81	4.26
13	Tebing Plato (<i>Scarp of Plateau Edge</i>)	S4	Batugamping Koral	43.05	0.72
14	Longsor Lahan (<i>Landslide</i>)	D1	Batugamping Koral	50.77	0.85
15	Perbukitan Denudasional Berbatuan Batupasir (<i>Denudasional Hilly Sandstone</i>)	D2	Batupasir, Batulanau (Campuran)	945.57	15.87
Total				5.969.09	100.00



Gambar 3. (a) gisik pantai di Teluk Wosi; (b) dataran fluvio-marin di Teluk Sawaibu

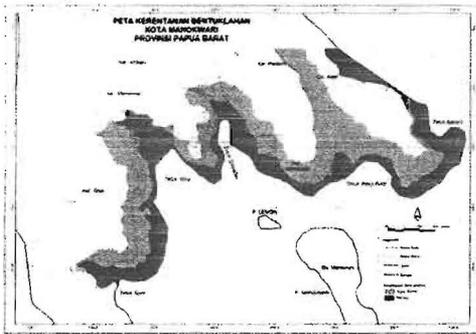
Bahaya Tsunami

Morfogenesis mencerminkan proses-proses geomorfik masa lalu yang membentuk bentuklahan. Proses-proses yang sama dapat terulang pada bentuklahan yang sama atau tidak terulang lagi tergantung pada tahap perkembangan bentuklahan (morfokronologi). Sebagai contoh pada *cliff* dewasa/tua, proses-proses abrasi gelombang laut tidak terulang lagi pada *cliff* yang sama karena lokasinya yang sudah menjauh dari garis pantai akibat proses akresi. Melalui analisis morfogenesis seperti ini bentuklahan yang rentan terhadap tsunami dapat diklasifikasikan. Bentuklahan-bentuklahan marin (M1, M2) dan fluvio-marin (FM) tergolong rentan tsunami di daerah

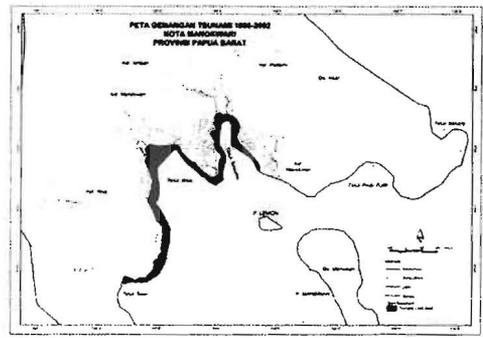
penelitian, karena lokasinya berada di tepi pantai dan morfologi bentuklahannya relatif datar hingga landai (Gambar 3a, 3b, dan 4a). Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa daerah genangan tsunami (Gambar 4b) juga berada pada bentuklahan-bentuklahan tersebut. Luas genangan mencapai 228,2 ha dan menggenangi bagian pantai di Teluk Sowi, Teluk Wosi, dan Teluk Sawaibu, sedangkan Teluk Pasir Putih relatif aman. Pulau Mansinam dan Pulau Lemon tampak berperan sebagai menghambat datangnya gelombang dari arah Pulau Biak menuju ke pantai Pasir Putih. Jangkauan tsunami rata-rata maksimum mencapai 400 m dari garis pantai dan mencapai elevasi < 5 m. Gambar 5

memperlihatkan peta elevasi dan *buffer* jarak dari garis pantai untuk keperluan analisis. Berdasarkan hasil analisis bahaya tsunami dengan metode ini didapatkan bahwa area pesisir yang masuk ke dalam kelas bahaya tinggi mencapai luasan 1.213.97 ha. Untuk kelas bahaya sedang mencakup luasan 961.17 ha, dan kelas bahaya rendah seluas 447.58 ha (Tabel 6, Gambar 6). Kelas bahaya tinggi mencerminkan peluang terbesar dicapai oleh gelombang tsunami, mencapai ketinggian kurang dari 5 m, sedangkan kelas sedang dan rendah akan dapat dicapai oleh gelombang tsunami jika luncuran gelombang mencapai ketinggian antara 5-10 m dan > 10 m.

Menyadari bahwa saat ini di atas bentuklahan marin dan fluvio-marin banyak dimanfaatkan sebagai daerah permukiman dan pusat-pusat aktivitas sosial-ekonomi, maka dapat disimpulkan bahwa Kota Manokwari mempunyai tingkat resiko bencana yang tidak kecil. Program mitigasi, baik untuk jangka pendek (evakuasi) maupun jangka panjang, diantaranya melalui perencanaan tata ruang, perlu dijadikan program prioritas pembangunan.

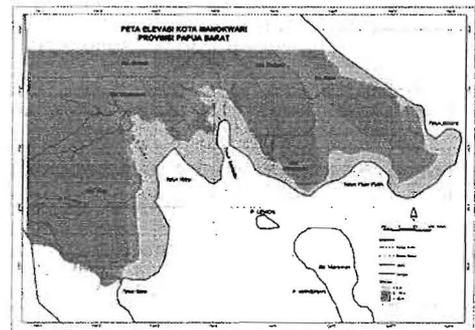


(a)

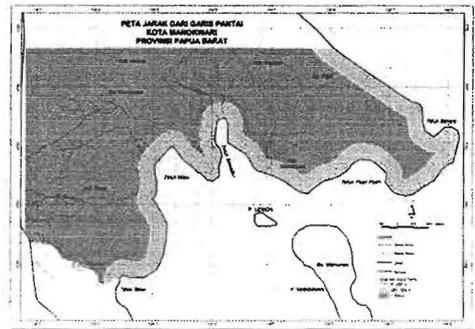


(b)

Gambar 4. (a) bentuklahan yang rentan terhadap tsunami, (b) zona genangan tsunami 1996-2002



(a)

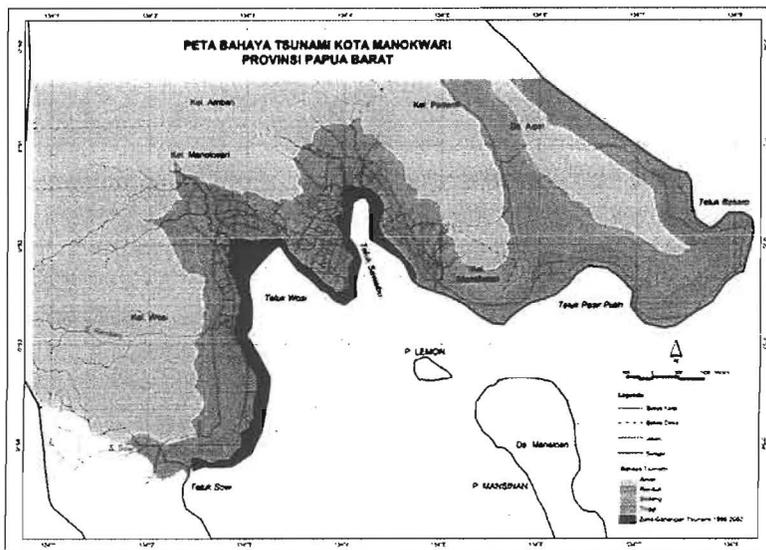


(b)

Gambar 5. (a) peta elevasi dan (b) peta *buffer* jarak dari garis pantai

Tabel 6. Kelas bahaya tsunami

No	Kelas Bahaya	Luas	
		Ha	%
1	Bahaya tinggi	1.213.97	20.34
2	Bahaya sedang	961.17	16.10
3	Bahaya rendah	447.58	7.50
4	Aman dari tsunami	3.346.36	56.06
Total		5.969.09	100.00



Gambar 6. Peta bahaya tsunami di Kota Manokwari

KESIMPULAN

Peta bahaya tsunami merupakan salah satu contoh peta bahaya alami (*natural hazards*) yang sangat diperlukan untuk pelaksanaan program mitigasi bencana maupun perencanaan tata ruang. Peta-peta semacam ini pada skala semi-detil masih belum banyak tersedia di kabupaten-kabupaten padahal ketersediannya sangat diperlukan. Analisis menunjukkan bahwa foto udara skala 1:25.000 mempunyai keunggulan tersendiri dalam identifikasi bentuklahan pesisir berelief halus dibandingkan dengan data penginderaan jauh lainnya (SRTM dan Google Earth), yaitu pada kemampuannya untuk dapat dilihat secara 3D dan perbesaran skala vertikal pada pandangan stereoskopis.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kajian resiko tsunami dalam skala detil perlu dilakukan untuk wilayah kota yang rentan seperti Kota Manokwari agar program mitigasi bencana alam dapat dijalankan dengan lebih baik. Sebagai bahan awal, data arsip seperti foto udara dan citra penginderaan jauh resolusi tinggi dapat dimanfaatkan sebagai telaah awal, seperti yang disajikan pada penelitian ini.

Untuk penelitian lanjutan, perlu dibangun suatu pemodelan yang mempertimbangkan batimetri pada tinggi gelombang dan jangkauannya di daratan. Dengan demikian, hasil pemodelan yang lebih sempurna dapat diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

Ambrosius, B., Scharroo R., Vigny C., Schrama E., Simons W., 2005. The 26 December 2004 Sumatra Earthquake and Tsunami Seen by Satellite Altimeter and GPS. *In* : Oosterom P.V., Zlatanova S., Fendel E.M. Geo-information for Disaster Management. Springer. Berlin.

Djunire, S. 2009. Kajian Bahaya dan Resiko Tsunami Berbasis Geomorfologi Untuk Menunjang Rencana Tata Ruang Kota Manokwari, Provinsi Papua Barat. Tesis. Institut Pertanian Bogor.

Kompas, 2011a. Tsunami Capai Jayapura; Gelombang Pasang pada Sabtu, Warga Manokwari Resah. *Harian Kompas*, 13 Maret 2011, hal 3.

Kompas, 2011b. Jutaan Orang Tanpa Pangan; Reaktor Nuklir Fukushima Bisa Menjadi Terburuk Setelah Chernobyl. *Harian Kompas*, 14 Maret 2011, hal. 1.

Rengers, N. and van Westen, C.J., 1994. Application of satellite remote sensing for natural disaster reduction in developing

countries. *In: Proceedings : IDNDR : world conference on natural disaster reduction, Yokohama, Japan, 23-27 May 1994 : technical committee session C : the effects of disasters on modern societies, pp. 39-44.*

USGS, 2002. *Magnitude 7,6, near Irian Jaya, Indonesia.* United State Geological Survey. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqint/henews/2002/uskcbd/>