DEMNAS : MODEL DIGITAL KETINGGIAN NASIONAL UNTUK APLIKASI KEPESISIRAN

Oleh

Marindah Yulia Iswari¹⁾ dan Kasih Anggraini¹⁾

ABSTRACT

DEMNAS : NATIONAL DIGITAL ELEVATION MODEL FOR COASTAL APPLICATION. *DEM is a digital data which contain information about elevation. In Indonesia, DEM can be generated from elevation points or contours in RBI (Rupabumi Indonesia). DEM can be performed to research of coastal application i.e. inundation or tsunami. DEM can help to analyze vulnerability or evacuation zone for coastal hazards. DEMNAS is one product of BIG (Geospatial Information Agency) which consist of elevation data from remote sensing images. DEMNAS data has not been widely used and is still being developed but DEMNAS has an advantage of spatial resolution. DEMNAS has spatial resolution 0.27 arc-second, which is bigger than the spatial resolution of global DEM.*

PENDAHULUAN

Digital Elevation Model (DEM) atau disebut dengan model elevasi digital merupakan visualisasi topografi atau ketinggian muka tanah yang dibangun berdasarkan hasil interpolasi deterministik (Putra & Marfai, 2012). DEM berisi informasi koordinat posisi (x,y) dan elevasi (z) pada setiap pikselnya (Budiyanto, 2010). Selain DEM, DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*) juga berisikan informasi mengenai ketinggian. DSM merupakan gambaran ketinggian permukaan bumi yang mencakup obyek di atasnya seperti bangunan ataupun pepohonan. Berbeda dengan DSM, DTM adalah gambaran ketinggian permukaan bumi yang hanya berupa permukaan tanah (*terrain*) tanpa obyek di atasnya .

Data DEM secara nasional dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). DEM ini disebut dengan DEMNAS (DEM Nasional). DEMNAS merupakan integrasi data ketinggian yang meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (11.25m). Dengan beberapa macam data ini, DEMNAS mempunyai resolusi spasial 0.27 *arc-second*. Datum atau referensi vertikal yang digunakan adalah *Earth Gravitational Model* 2008 (EGM 2008). Data-data yang telah terintegrasi ini ditambahkan dengan titik-titik ikat (*mass point*) melalui proses asimilasi. *Mass point* merupakan titik-titik yang memuat informasi koordinat tiga dimensi yaitu x, y dan z di permukaan bumi. Proses asimilasi pada data DEMNAS menggunakan *GMT-surface* dengan

¹⁾ Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI

tension 0.32 (Hell & Jakobsson, 2011).

DEMNAS ini masih tergolong baru dan belum dimanfaatkan maksimal untuk penelitian di Indonesia. Beberapa penelitian cenderung masih menggunakan data DEM yang diperoleh dari RBI atau *website* penyedia data DEM seperti <http://srtm.csi.cgiar.org>, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>, <https://www.eorc.jaxa.jp>. DEM yang diunduh dari beberapa *website* tersebut merupakan DEM global dengan resolusi menengah sampai kecil. Sebagai contoh, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) mempunyai resolusi DEM 1 *arc second* (30 m) pada ekuator di United States dan 3 *arc second* (90 m) di seluruh dunia (Gallant *et al.*, 2011). Data DEM yang dihasilkan oleh SRTM mempunyai standar deviasi yang lebih besar dibandingkan dengan data DEM yang dihasilkan oleh peta RBI (Rupa bumi Indonesia) (Prayudha & Suyarso, 2015). Sehingga data DEM dari SRTM ini mempunyai bias yang lebih besar dengan data lapangan yang ada di Indonesia. Keunggulan data DEMNAS ini yaitu mempunyai resolusi spasial yang lebih tinggi 0.27 *arc-second* dibandingkan dengan resolusi data DEM internasional yang masih 3 *arc-second*. Meskipun masih tergolong dalam perkembangan, namun dengan adanya data DEMNAS yang telah dirilis oleh BIG diharapkan mampu mengatasi kelemahan dari data DEM yang diunduh dari *website* penyedia

data DEM internasional. Tulisan ini akan memaparkan mengenai DEMNAS secara rinci seperti perolehan data, serta pemanfaatan DEMNAS untuk aplikasi wilayah pesisir.

PEROLEHAN DATA DEMNAS

Data DEMNAS ini dikelola oleh Badan Informasi Geospasial. Perolehan datanya dapat diunduh secara gratis dengan membuat akun terlebih dahulu. Situs unduh untuk data DEMNAS ini tergabung dalam sistem *one map policy* dari BIG yaitu <http://tanahair.indonesia.go.id/>. Proses pengunduhan data DEMNAS dapat dilakukan dengan cara berikut :

1. Mengunduh data DEMNAS

Data DEM dapat diperoleh dengan mengakses melalui situs DEMNAS BIG: <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>. Sebagai contoh untuk dapat mengunduh data DEM sebagian Kabupaten Probolinggo di sebelah kanan terdapat menu *Download*. Data DEM dapat diunduh dengan memiliki akun yang terdaftar terlebih dahulu, jika belum memiliki akun maka dapat klik menu *Register* dan ikuti petunjuk di dalamnya sampai mendapatkan konfirmasi untuk aktivasi akun pada *email*. Apabila sudah selesai, maka dapat *login* dengan memasukkan *email* dan *password*.

Login dan verifikasi email

Login

Alamat Email

Password

[Login](#)

[Register](#)

Gambar 1. Halaman depan dari situs unduh DEMNAS dan halaman registrasi.

- Memilih lokasi yang akan di unduh.
Setelah *login*, halaman akan kembali ke Beranda dan klik *Download* pada

wilayah yang diinginkan, maka akan seperti gambar di bawah ini.

Gambar 2. Grid indeks data DEMNAS di Pulau Jawa.

Setelah itu perbesar tampilan atau dapat juga dengan *scroll mouse* dan geser ke arah wilayah yang akan dituju. Data DEMNAS terbagi dalam grid dengan panjang dan lebar wilayah kurang lebih 27.85 km x 27.68 km atau seluas 770.888 km². Untuk dapat mengunduhnya dapat di

klik salah satu grid sampai muncul gambar DEMNAS nya dan klik kode DEMNAS yang muncul di bawah. Format file yang diunduh adalah GeoTIFF (TIF), dan dilanjutkan dengan mengunduh grid-grid yang diperlukan.

Gambar 3. Tampilan data DEMNAS pada grid indeks yang akan diunduh.

3. Membuka file hasil unduhan
Data hasil DEMNAS dapat dibuka pada perangkat lunak untuk pemetaan dan analisis citra seperti Quantum

GIS, ArcGIS, ER Mapper, Global Mapper, ENVI, dan perangkat lunak lainnya.

Gambar 4. Tampilan data DEMNAS Probolinggo yang dibuka melalui perangkat lunak ArcGIS.

APLIKASI DEM UNTUK PESISIR

Aplikasi DEM telah banyak digunakan untuk kajian kebencanaan seperti longsor, banjir genangan, proyeksi banjir rob ataupun kerawanan dan kerentanan terhadap tsunami. Aplikasi DEM juga dapat digunakan untuk penentuan jalur evakuasi terhadap bencana alam seperti gunung meletus atau tsunami. DEM dapat diturunkan menjadi informasi ketinggian ataupun kemiringan lereng (*slope*). Informasi ini sangat berguna untuk menentukan jalur evakuasi cepat menuju tempat yang aman. Titik evakuasi yang aman untuk bencana banjir atau tsunami akan mengarah ke elevasi yang lebih tinggi. Sedangkan lokasi yang aman sebagai titik evakuasi bencana gunung api merupakan daerah dengan elevasi yang lebih rendah. Lokasi yang lebih rendah di sini bukan termasuk lokasi cekungan seperti lembah ataupun

sungai karena mempunyai kemungkinan sebagai daerah rawan yang dapat dialiri oleh lava ataupun lahar (Stevany *et al.*, 2016).

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana sebagian besar wilayahnya berbatasan dengan laut, sehingga berbagai potensi bencana dapat terjadi pada wilayah pesisir dari yang kecil seperti kenaikan muka air laut yang mengakibatkan banjir rob sampai bencana besar seperti tsunami. Kajian mengenai potensi – potensi tersebut banyak memanfaatkan data DEM untuk mendapatkan informasi mengenai elevasi pada wilayah pesisir. Elevasi menjadi aspek penting dalam kajian kerawanan, kerentanan atau resiko yang disebabkan oleh adanya banjir rob ataupun tsunami di wilayah pesisir (Mardiyanto *et al.*, 2013; Syukri & Mukhlis, 2016; Naryanto, 2017; Ikhwandito *et al.*, 2018)

Banjir Rob

Banjir rob merupakan salah satu gejala alam yang berupa kenaikan air laut sehingga menggenangi daratan. Naiknya muka air laut ini disebut dengan *sea level rise*. Proses ini disebabkan oleh adanya perubahan iklim sehingga es di kutub mencair. Bagi wilayah yang mempunyai tingkat urbanisasi tinggi di pesisir maka kejadian ini dapat menyebabkan ancaman tersendiri untuk masyarakat, bangunan, dan infrastruktur permukiman yang ada di wilayah tersebut (Putra & Marfai, 2012). Penelitian Ramadhany *et al.* (2012) di Semarang, menyatakan bahwa parameter kerawanan banjir di pesisir Semarang meliputi ketinggian tanah, penurunan tanah, jarak dari pantai dan jarak dari sungai. Sedangkan parameter jangkauan wilayah genangan rob dipengaruhi oleh pasang surut. Data ketinggian diperoleh dari data titik tinggi (*spot height*) yang diinterpolasi sehingga menghasilkan data DEM yang berformat raster. Beberapa penelitian

menggunakan data ketinggian yang diperoleh dari RBI baik skala 1:10000 sampai 1:25000 (Prayudha & Suyarso, 2015; Rasyda *et al.*, 2015; Hidayatullah *et al.*, 2016). Data DEM ini kemudian nantinya yang dijadikan parameter utama untuk ditumpangsusunkan dengan parameter lainnya. Ketinggian tanah yang lebih rendah daripada muka air laut ketika pasang maka daerah tersebut akan tergenang (Handoyo *et al.*, 2016).

Data DEM yang berupa raster diolah untuk mendapatkan luas genangan saat banjir rob terjadi. Pengolahan data raster tersebut menggunakan metode *raster calculator* yang terdapat pada aplikasi SIG (Rasyda *et al.*, 2015; Handoyo *et al.*, 2016; Hidayatullah *et al.*, 2016; Ikhwandito *et al.*, 2018). Pemodelan genangan dapat dibuat untuk prediksi selama beberapa tahun kedepan. Model ini didasarkan dengan asumsi bahwa selama periode kenaikan muka air laut bersifat konstan dan pengaruh faktor lain diabaikan (Rasyda *et al.*, 2015).

Gambar 5. Prediksi genangan rob di Kota Padang Sumatera Barat Tahun 2020 (Rasyda *et al.*, 2015).

Tsunami

Analisis kerawanan wilayah pesisir terhadap bencana tsunami sebagian besar menggunakan aplikasi SIG (Sistem Informasi Geografis). Salah satu metode yang digunakan untuk estimasi

pemodelan genangan tsunami adalah *cost distance* (Fauzi *et al.*, 2014; Islam *et al.*, 2014; Ikhwandito *et al.*, 2018). Model ini menghasilkan prediksi luas genangan pada beberapa angka skenario.

Gambar 5. Contoh skenario *Run up* di Kebumen (Islam *et al.*, 2014)

Metode *cost distance* ini dapat menggambarkan beberapa simulasi inundasi daerah pesisir terhadap bencana tsunami. Semakin tinggi nilai *run up* maka area genangan akan semakin luas. Daerah yang berpotensi tergenang merupakan daerah dengan relief yang cenderung datar. Selain dengan metode *cost distance*, metode Berryman dapat dipakai untuk model *run up* tsunami dengan mempertimbangkan koefisien kekasaran permukaan, kemiringan lereng dan ketinggian awal tsunami di garis pantai (Habibi & Khakhim, 2017).

Hasil analisis kerawanan terhadap bencana tsunami ini dapat diturunkan lagi menjadi tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap bencana tsunami. Kerentanan suatu wilayah dapat dibedakan menjadi kerentanan fisik dan kerentanan sosial. Penelitian Mardiyanto *et al.*, (2013) menyatakan bahwa parameter penentu kerentanan fisik merupakan aspek alami seperti kemiringan lereng, jarak dengan garis pantai, jarak dengan sungai dan tutupan vegetasi. Sedangkan untuk

kerentanan sosial lebih cenderung pada kepadatan bangunan pada wilayah kajian. Kerentanan sosial untuk bencana tsunami selain menggunakan parameter kepadatan bangunan, juga menggunakan parameter kepadatan penduduk dan persentase masyarakat nelayan (Widyawati *et al.*, 2013). Selain itu parameter lain yang dapat dipertimbangkan dalam analisis kerentanan sosial meliputi rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur dan penyandang cacat (Habibi & Khakhim, 2017).

Parameter-parameter tersebut diintegrasikan menggunakan metode tumpangsusun dengan pembobotan tertentu (Putra & Marfai, 2012; Handoyo *et al.*, 2016). Semakin tinggi pengaruh parameter tersebut terhadap tsunami maka nilai pembobotannya semakin tinggi. Jumlah bobot yang paling besar menjadikan wilayah tersebut mempunyai kerentanan paling besar terhadap tsunami.

Gambar 6. Peta Kerentanan Pesisir Kabupaten Bantul (Mardiyanto *et al.*, 2013)

Analisis mengenai kerawanan dan kerentanan tsunami menjadi dasar terhadap antisipasi wilayah yang terdampak untuk membuat jalur evakuasi. Pembuatan jalur evakuasi untuk bencana tsunami ini dapat memanfaatkan metode *network analysis* pada SIG dengan mempertimbangkan panjang jalan, kelas jalan dan ada tidaknya jembatan (Habibi & Khakhim, 2017). Langkah awal dalam pembuatan jalur evakuasi adalah penentuan titik evakuasi (*shelter*) di mana lokasi tersebut merupakan lokasi paling aman yang akan dituju oleh masyarakat. Sebagai contoh, titik evakuasi untuk bencana tsunami di Desa Tonggolobibi, Kabupaten Donggala ditentukan pada wilayah dengan ketinggian >15 meter di atas permukaan laut (Nurfaida, 2016).

Elevasi suatu wilayah terhadap

permukaan laut merupakan patokan utama dalam penentuan titik evakuasi dan jalur evakuasi tsunami. Bencana-bencana turunan seperti tanah longsor, liquifaksi ataupun pendeknya waktu evakuasi pada daerah aliran sungai di pesisir menjadi ancaman berlanjut bagi masyarakat yang akan dievakuasi (Syukri & Muhklis, 2016). Itulah mengapa jalur evakuasi disarankan untuk tidak melintasi sungai dan jembatan. Pada lokasi yang padat penduduk, jalur evakuasi dirancang dalam bentuk blok sehingga pergerakan masyarakat tiap blok tidak tercampur dengan blok lainnya (Akbar *et al.*, 2015).

Simulasi jalur evakuasi tsunami dapat dibuat dengan memanfaatkan data kejadian tsunami yang terjadi pada tahun-tahun sebelumnya. Sebagai contoh penentuan jalur evakuasi tsunami di

Padang, Sumatera Barat memanfaatkan data kejadian tsunami di Sumatera Barat pada tahun 1883. Modeling tsunami di Padang menghasilkan kesimpulan bahwa wilayah yang kurang dari 10 meter

adalah wilayah yang rawan tsunami. Data DEM digunakan untuk membagi wilayah Padang menjadi 4 zona (Trisakti *et al.*, 2010).

Tabel 1. Pembagian zona wilayah Padang dengan data DEM (Trisakti *et al.*, 2010)

No	Zona	Elevasi
1	Zona 1	0 – 5 m
2	Zona 2	6 – 10 m
3	Zona 3	11 – 15 m
4	Zona 4	> 15 m

Zona 1 dan 2 merupakan zona dengan elevasi yang rendah sehingga wilayah ini mempunyai tingkat resiko terhadap tsunami yang lebih besar. Sedangkan untuk zona 4 merupakan zona aman di mana wilayahnya mempunyai elevasi yang lebih tinggi. Zona 4 dapat dijadikan sebagai wilayah untuk evakuasi dari bencana tsunami. Penentuan jalur evakuasi tsunami di Padang ini mempertimbangkan beberapa aspek fisik (Trisakti *et al.*, 2010) seperti :

1. Keberadaan aliran sungai
2. Penentuan tempat perlindungan
3. Jaringan jalan

4. Pembuatan jalur yang efektif dan efisien

Perencanaan jalur evakuasi tsunami ini juga memerlukan andil dari pemerintah sebagai penentu kebijakan. Keterlibatan pemerintah ini terkait dengan penataan ruang pada suatu wilayah sehingga jalur evakuasi tidak merusak peruntukkan ruang bagi wilayah. Penelitian Dito & Pamungkas (2015) mengungkapkan bahwa menurut *stakeholder*, variabel yang tidak mempengaruhi dalam penentuan jalur evakuasi adalah fungsi bangunan (Tabel 2).

Tabel 2. Frekuensi Konfirmasi *Stakeholder* tiap Variabel (Dito & Pamungkas, 2015).

Variabel	Konfirmasi Berpengaruh	Konfirmasi tidak berpengaruh
Ketinggian	6	0
Kelerengan	5	1
Lokasi dari Jalan	6	0
Jumlah Lantai Bangunan	6	0
Kapasitas Bangunan	6	0
Fungsi Bangunan	4	2
Hirearki Jalan	6	0
Kondisi Perkerasan Jalan	6	0
Daya Tampung Jalan	6	0
Waktu Tempuh	6	0
Struktur Jalan	6	0
Jarak Menuju Lokasi Evakuasi	6	0
Jumlah Penduduk di Pusat Kegiatan	6	0
Kepadatan Penduduk	6	0
Jumlah Penduduk Berdasarkan Umur	5	1

PENUTUP

DEMNAS merupakan salah satu produk dari Badan Informasi Geospasial untuk melayani ketersediaan data elevasi di Indonesia. DEMNAS terdiri dari integrasi beberapa data elevasi yang diolah dengan metode *GMT-surface*. Penggunaan data DEMNAS belum maksimal dikarenakan masih banyak masyarakat yang belum tahu adanya DEMNAS ini. Beberapa penelitian masih menggunakan data kontur dari RBI (Rupabumi Indonesia) dan data DEM dari satelit yang dapat diunduh dari website penyedia DEM. Meskipun

data DEMNAS masih dalam tahap perkembangan, namun data DEMNAS cukup detail dan tersedia dalam cakupan satu Indonesia. Adanya data DEMNAS ini diharapkan penelitian-penelitian selanjutnya dapat mengembangkan dan menggunakan data DEMNAS ini untuk kajian-kajian yang bersifat regional di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, A., M. Isya, dan E. Fatimah. 2015. Efektivitas Penggunaan Jalan Gampong Sebagai Jalur

- Evakuasi Bencana Tsunami Kota Banda Aceh (Studi Kasus Jeulingke, Tibah, Deah Raya). *Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, Volume 4 (1): 1–12.
- Budiyanto, E. 2010. *Sistem Informasi Geografis dengan ArcView GIS* (1st ed.). Yogyakarta: Andi Publisher.
- Dito, A. H., dan A. Pamungkas. 2015. Penentuan Variabel dalam Optimasi Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 4 (2): 161–164.
- Fauzi, Y., S. Suwarsono, and Z. M. Mayasari. 2014. The Run up Tsunami Modeling in Bengkulu using the Spatial Interpolation of Kriging Technique. *Forum Geografi*, Volume 28 (2): 103–112.
- Gallant, J. C., T. I. Downling, A. M. Read, N. Wilson, P. Tickle, and C. Inskeep. 2011. *1 second SRTM Derived Products User Guide v1.0.4*. Canberra: Geoscience Australia. Retrieved from www.ga.gov.au/topographic-mapping/digital-elevation-data.html
- Habibi, M. H., dan N. Khakhim. 2017. Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Perencanaan Jalur Evakuasi Tsunami Di Kecamatan Wates Kabupaten Kulonprogo. *Jurnal Bumi Indonesia*, Volume 6 (2): 1–10.
- Handoyo, G., A. A. D. Suryoputro, dan P. Subardjo. 2016. Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, Volume 19 (1): 55–59.
- Hell, B., and M. Jakobsson. 2011. Gridding Heterogeneous Bathymetric Data Sets with Stacked Continuous Curvature Splines in Tension. *Marine Geophysical Research*, Volume 32 (4): 493–501. <https://doi.org/10.1007/s11001-011-9141-1>
- Hidayatullah, I., P. Subardjo, dan A. Satriadi. 2016. Pemetaan Genangan Rob di Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Oseanografi*, 5 (3): 359–367.
- Ikhwandito, A., Y. Prasetyo, dan A. L. Nugraha. 2018. Analisis Perbandingan Model Genangan Tsunami Menggunakan Data DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR (Studi Kasus :

- Kabupaten Pangandaran). *Jurnal Geodesi Undip*, 7 (1): 131–141.
- Islam, F., S. Subiyanto, dan L. M. Sabri. 2014. Penentuan Resiko Dan Kerentanan Tsunami di Kebumen Dengan Citra ALOS. *Jurnal Geodesi Undip*, 3 (1): 141–154.
- Mardiyanto, B., B. Rochaddi, dan M. Helmi. 2013. Kajian Kerentanan Tsunami Menggunakan Metode Sistem Informasi Geografi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Marine Research*, 2 (1): 103–111.
- Naryanto, dan S. Heru 2017. Potensi Gempa dan Tsunami di Kabupaten Banggai Laut, Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*. 12 (2) : 46–60
- Nurfaida. 2016. Penggunaan SIG Untuk Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Desa Tonggolobibi Kecamatan Sojol Kabupaten Donggala. *E-Journal Geo-Tadulako UNTAD*, 4 (1): 1–10.
- Prayudha, B., dan Suyarso. 2015. Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Pemetaan Genangan Rob Dengan Studi Kasus. In Fahmi & D. E. D. Setyono (Eds.), *Kondisi Lingkungan Pesisir dan Perairan Probolinggo, Jawa Timur* (pp. 163–178). Jakarta: LIPI Press.
- Putra, D. R., dan M. A. Marfai. 2012. Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1 (1): 1–10.
- Ramadhany, A. S., A. A. Ds dan P. Subardjo. 2012. Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal of Marine Research*, 1 (2): 174–180.
- Rasyda, M. H., S. Widada, dan B. Rochaddi. 2015. Analisa Spasial Daerah Banjir Genangan (Rob) Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Kota Padang. *Jurnal Oseanografi*, 4: 379–385.
- Stevany, D., A. Suprayogi dan A. Sukmono. 2016. Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Letusan Gunung Raung dengan Metode Network Analisis. *Jurnal Geodesi Undip*, 5 (4):, 91–100.
- Syukri, A., and Muhklis. 2016. Studi Jalur Evakuasi Tsunami Horizontal di Kabupaten Padang Pariaman. *Jurnal Rekayasa Sipil*, XII (2): 1–12.

- Trisakti, B., I. Carolita, dan M. Nur. 2010. Simulasi Jalur Evakuasi Untuk Bencana Tsunami Berbasis Data Penginderaan Jauh (Studi Kasus; Kota Padang, Propinsi Sumatera Barat). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Citra Digital*, 4 (1): 9–17. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.75.014305>
- Widyawati, A., G. Handoyo, dan A. Satriadi. 2013. Kajian Kerentanan Bencana Tsunami Di Pesisir Kabupaten Kulon Progo Provinsi D.I. Yogyakarta. *Journal of Marine Research*, 2 (2): 103–110.