

**PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI TSUNAMI
DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

**DETERMINATION OF RUN-UP AND INUNDATION
APPLIED IN GIS FOR TSUNAMI MITIGATION
AT MOLLUCA SUBDUCTION ZONE**

Telly Kurniawan¹; Syamsul Maarif²; Sarpono³
Program Studi Manajemen Bencana Fakultas Keamanan Nasional
Universitas Pertahanan
(tellykurniawan46@gmail.com)

Abstrak – Zona Subduksi Maluku yang berada dibawah Laut Maluku merupakan suatu sumber gempa bumi berpotensi tsunami. Tsunami merupakan bencana alam yang kejadiannya sangat cepat tapi dampaknya sangat merugikan dan proses penanggulangannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Tujuan akhir penelitian ini ingin menentukan lokasi shelter sebagai tempat evakuasi sementara ketika tsunami terjadi akibat gempa bumi di Zona Subduksi Maluku. Metode penelitian yang digunakan adalah rangkaian pengolahan data sistematis dari mulai penentuan area terdampak, penentuan seismisitas, penentuan kejadian gempa bumi menggunakan database gempa bumi BMKG yang divalidasi dengan database gempa bumi GFZ, penentuan simulasi tsunami dan diakhiri dengan aplikasi SIG untuk menentukan lokasi terdampak dan lokasi shelter. Dalam penentuan lokasi shelter menggunakan 4 kriteria yaitu: Shelter berada di area nilai run-up tsunami > 6 meter, Shelter berada di lokasi yang mempunyai DEM rawan tsunami klasifikasi tinggi, Shelter berada pada lokasi dengan radius 500 meter dari jalan primer/sekunder/tersier dan Shelter berada di lokasi terdampak yang mempunyai jumlah penduduk lebih dari 500 jiwa/km². Dari seluruh rangkaian hasil pengolahan data diakhiri dengan tahapan intersection terhadap 4 kriteria penentuan shelter. Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu ada 4 lokasi shelter yang direkomendasikan jika ketika tsunami terjadi akibat gempa bumi di Zona Subduksi Maluku, 2 lokasi berada di Desa Bitung Barat dan Desa Pancuran Kabupaten/Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara dan 2 lokasi lainnya berada di Desa Takofi dan Desa Kalumpang Kabupaten/Kota Ternate Propinsi Maluku Utara.

Kata Kunci: Run-up, Inundasi, GIS, Mitigasi, Subduksi

Abstract – The Maluku Subduction Zone under Maluku Sea is a source of earthquake potential tsunami. Tsunami is a natural disaster that happens very quickly and the impact is very harmful also the process of handling takes a very long time. The ultimate goal of this research is determining shelter location as a temporary evacuation site when a tsunami occurs due to an earthquake at Maluku Subduction Zone. The research method used is systematic data processing sequencing from determination of affected area, determination of seismicity, determination of earthquake occurrence using earthquake database BMKG validated with earthquake database GFZ, determina-

¹ Mahasiswa Manajemen Bencana Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan.

² Guru Besar dan Dosen di Universitas Pertahanan

³ Pejabat Pusat Badan Pusat Statistik dan Dosen di Universitas Pertahanan.

tion of tsunami simulation and ended with GIS application to determine the location of impact and shelter. The determination of shelter using four criteria, namely: Shelter in the area of tsunami run-up value > 6 meters, Shelter with DEM categorized that high classification tsunami-prone, Shelter in the area with a radius of 500 meters from primary/secondary/tertiary road and Shelter in an affected location that has a population of more than 500 inhabitants/km². The entire series of data processing end up with the intersection stage of the four criteria. The conclusion of this research is that there are 4 shelter locations recommended when a tsunami occurs due to an earthquake in the Maluku Subduction Zone. Two locations are in West Bitung Village and Pancuran Village District of Bitung, North Sulawesi Province and two other locations are in Takofi Village and Kalumpang Village, District of Ternate, North Maluku Province.

Key Words: Run-up, Inundation, GIS, Mitigation, Subduction

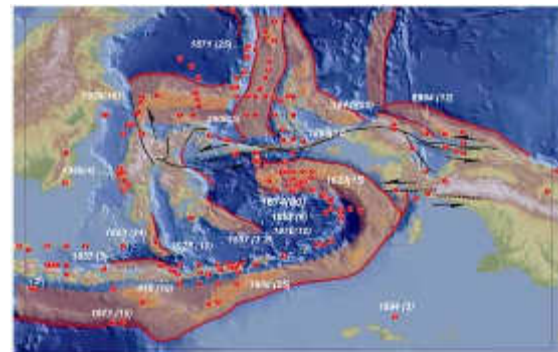
Pendahuluan

Potensi mengenai bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia tidak hanya terdapat di Sumatera dan Jawa, tetapi di Indonesia timur seperti Sulawesi, Maluku dan Papua juga mempunyai potensi bencana gempa bumi dan tsunami yang lebih besar. Hal ini dibuktikan berdasarkan hasil penelitian kondisi geologi dan geofisika di Indonesia oleh para ahli kebumihantoran. Yudhicara (2014) mengungkapkan bahwa kegempaan di kawasan timur Indonesia harus banyak diteliti, karena selain ancamannya, aktivitas geologi di kawasan itu sangat kompleks⁴.

Salah satu potensi bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia timur adalah adanya jalur tabrakan lem-

peng dari Timor menerus dan melengkung berlawanan arah jarum jam melingkari Laut Maluku⁵.

Hasil penelitian Latief (2002) juga menunjukkan lokasi rawan sumber gempa bumi dan tsunami di Indonesia Timur seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gempabumi dan Tsunami di Indonesia Timur
(Sumber: Latief, 2002)

Pada Gambar 1, titik orange menunjukkan sumber gempa bumi yang pernah terjadi, garis merah menunjukkan batas zona penunjaman -

4 Yudhicara, Zona Kegempaan Maluku Sangat Kompleks, 2014, (<http://rumahpengetahuan.web.id/zona-kegempaan-maluku-sangat-kompleks/>), diakses tanggal 21 agustus 2017).

5 Danny Hilman Natawidjaja, Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Sumber Gempa dan Tsunami, 2007, Geoteknologi-LIPI, Laporan Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami, RISTEK, 20-24 Agustus 2007.

lempeng samudra terhadap lempeng benua (subduksi), sedangkan bayangan orange muda menunjukkan zona gempabumi yang berpotensi tsunami, dan text berwarna putih menunjukkan tahun sejarah tsunami yang pernah terjadi dengan nilai *run-up* nya.

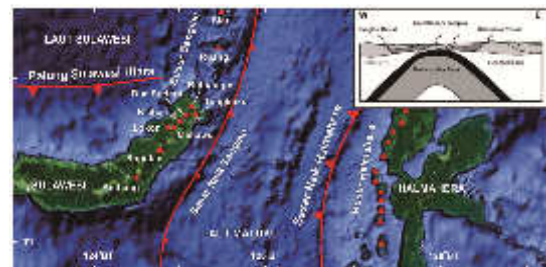
Menurut Yudhicara (2014), mekanisme kegempaan di Indonesia, terutama di kawasan Indonesia Timur belum terpetakan dengan baik, sehingga butuh banyak penelitian untuk memahami mekanisme dan potensi ancamannya pada masa mendatang, mengingat banyaknya catatan gempabumi dan tsunami besar di kawasan timur itu⁶.

Belum banyaknya publikasi tentang potensi bencana gempabumi dan tsunami di Indonesia timur, membuat informasi tentang pentingnya kesiapsiagaan menghadapi tsunami menjadi minim diterima oleh pemerintah dan masyarakat, padahal dari segi geografi yang dihubungkan dengan pertahanan nasional, Indonesia timur mempunyai letak strategis yang berbatasan dengan negara lain, yang membutuhkan sistem pertahanan nasional ketika ada bagian dari negara kita yang dilanda bencana. Sistem perta

6 Yudhicara, Op.Cit., hlm 2.

hanan nasional ini penting, agar stabilitas dan keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia dapat terjaga dari segala jenis ancaman yang datang, baik langsung maupun dampaknya secara tidak langsung.

Salah satu potensi bencana yang mengancam di Indonesia Timur adalah potensi tsunami yang bersumber dari gempabumi yang terjadi di bawah Laut Maluku, karena pada lokasi ini terdapat Zona Tumbukan Maluku (*Molucca Collision Zone*). Zona ini sangat unik karena pada zona ini terdapat subduksi ganda (*double subduction*) yang mengapit Laut Maluku yaitu di bagian barat terdapat Sesar Sangihe dan di bagian timur terdapat Sesar Halmahera (Meilano, 2014)⁷. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2, hasil penelitian Macpherson et al (2003).



Gambar 2. Letak Sesar Sangihe dan Sesar Halmahera

(Sumber: Macpherson et al, 2003)

Keberadaan 2(dua) zona subduksi

7 Meilano Irwan. Gempa Halmahera. Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung, 2014, (<http://rumahpengetahuan.web.id/gempa-halmahera>, diakses tanggal 21 agustus 2017)

di Laut Maluku ini diperkuat oleh hasil penelitian Shiddiq et al. (2015)⁸, yang menggunakan teknik pencitraan tomografi tingkat tinggi, berhasil menunjukkan dengan jelas posisi Zona Subduksi Maluku.

Zona subduksi ini menjadi latar belakang lokasi penelitian karena zona ini mempunyai potensi bencana gempabumi pembangkit tsunami, yang akan mengancam timbulnya korban jiwa dan kerusakan di kepulauan Sulawesi, Maluku dan sekitarnya, sehingga perlu kewaspadaan terhadap perioda ulang sejarah terjadinya suatu kejadian gempabumi besar yang dapat membangkitkan tsunami di Laut Maluku ini.

Latar belakang penelitian mengambil tema tentang Tsunami, karena Tsunami merupakan salah satu potensi bencana alam yang kejadiannya sangat singkat tapi dampaknya sangat merugikan, yang dalam waktu sekejap menyebabkan kerusakan sarana-prasarana, memakan banyaknya korban jiwa dan proses penanggulangan benca

na sampai rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana membutuhkan waktu yang sangat lama. Hal itu terjadi karena ketika gelombang tsunami yang datang dari tengah lautan melaju dengan sangat cepat dan ketika mendekati pantai, ketinggian gelombang tsunami akan semakin tinggi dan dengan volume air yang besar dapat merusak dan menghanyutkan apa saja yang dilaluinya. Salah satu faktanya yaitu kejadian Tsunami Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, tsunami ini terjadi akibat gempa maha dahsyat dengan kekuatan 9,3 SR yang mengguncang di Samudra Hindia, lepas pantai barat Aceh. Gempa ini menimbulkan gelombang tsunami yang meluluhlantahkan Aceh sampai ke Sumatera Utara, Pantai Barat Semenanjung Malaysia, Thailand, Pantai Timur India, Sri Lanka, bahkan sampai Pantai Timur Afrika (Trianawati, 2008)⁹.

Latar belakang penelitian mengenai Mitigasi agar penelitian ini tidak hanya berhenti menunjukkan potensi yang berbahaya saja tetapi dapat menunjukkan lokasi evakuasi yang aman dengan akses yang mudah.

8 H.A. Shiddiq, Sri Widiyantoro, A.D. Nugraha, M. Ramdhan, Wandono, Sutiyono, T.Handayani, 2015, Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters, The 9th International Workshop on Statistical Seismology Potsdam, Germany, 14 – 18 June 2015.

9 Sugito Trianawati, N., Tsunami, Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, 2008.

Latar belakang kondisi real dari aspek geografi, geologi dan geofisika serta ilmu kebencanaan yang telah diuraikan diatas menjadi bahan dalam penelitian ini, dengan diawali proses menentukan nilai *run-up* dan inundasi hasil simulasi tsunami dari studi kasus gempabumi besar di Zona Subduksi Maluku, kemudian untuk langkah mitigasi sebagai kesiapsiagaan menghadapi potensi ancaman ini, akan diteliti menggunakan sistem informasi geografi, agar risiko dari potensi ancaman tersebut dapat diketahui daerah yang terdampak tsunami dan daerah yang terbaik untuk dijadikan shelter sesuai kondisi dan jumlah penduduk di area terdampak, sehingga judul tesis ini adalah “Penentuan Run-Up Dan Inundasi Diaplikasikan Dalam SIG Untuk Mitigasi Tsunami Di Zona Subduksi Maluku.

Metodologi

Penelitian ini merupakan sebuah konsep penelitian yang diolah secara kuantitatif (menggunakan data angka)¹⁰.

Secara kuantitatif penelitian berawal dari pencarian data history gempabumi dan tsunami untuk menen-

tukan batas koordinat maksimum area terdampak tsunami, kemudian dicari data topografi (bathymetri)-nya berdasarkan batas koordinat maksimum area terdampak tsunami tersebut melalui software Geodas, suatu software yang sudah terintegrasi dengan data topografi (bathymetri) seluruh permukaan bumi.

Selain itu dari data batas koordinat maksimum area berpotensi terdampak tsunami ini juga diteliti untuk menentukan jalur seismik aktif, pencarian data ini menggunakan aplikasi *Seismicity Analysis System*, kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan Database Gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan divalidasi menggunakan Database Gempabumi GeoForschungsZentrum (GFZ), GFZ adalah suatu institusi dari negara Jerman yang melakukan pengamatan gempabumi. Dari data history tersebut kemudian ditentukan gempabumi dan parameternya yang akan dijadikan input simulasi penjalaran gelombang tsunami. Ketika simulasi tsunami akan dilakukan, semua parameter data topografi (bathymetri) dan data gempabumi serta parameter bidang patahan ada yang diinput langsung

10 Kuntjojo Metodologi Penelitian, 2009 hal.11

kedalam software tsunami-L dan ada juga yang sebelum diinput, harus diolah melalui perumusan matematis yaitu persamaan Papazachos et al. (2004)¹¹, persamaan Wells and Coppersmith (1994)¹² dan persamaan Hanks and Kanamory (1979)¹³. Setelah itu dilakukan simulasi penjalaran gelombang tsunaminya berdasarkan studi kasus gempabumi tersebut menggunakan software Tsunami-L yaitu suatu software pemodelan tsunami, kemudian diperoleh waktu penjalaran dan nilai *Run-Up*. Dari hasil simulasi ini diperoleh area terdampak dan data *Run-Up* tsunami.

Software terakhir yang digunakan adalah software SIG, untuk mengolah data hasil software pemodelan tsunami. Dalam pengolahan ini dibuat 4 (empat) kriteria penentuan shelter yaitu sebagai berikut:

- Shelter berada di area klasifikasi nilai run-up tsunami tinggi > 6 meter (Sengaji dan Nababan, 2009)¹⁴
- Shelter berada klasifikasi DEM rawan tsunami tinggi
- Shelter berada pada lokasi dengan radius 500 m dari jalan primer, sekunder, tersier (Sugimoto, 2003)¹⁵.
- Shelter berada dilokasi terdampak yang mempunyai jumlah penduduk > 500 jiwa/km²

Data dan Hasil Pengolahan Data

1. Penentuan Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami

Dari data historis tsunami Maluku:

- a. Jurnal Wallansha et al. (2015)¹⁶:
 - Tsunami 17 Februari 1964 melanda Ambon (127°-129°BT; 3°-4°LS)
 - Tsunami 12 Oktober 1899 melanda Amahai (128°-129°BT; 2°-4°LS)

11 B.C. Papazachos, E.M. Scordilis, D. G Panagiotopoulos, and G. F. Karakaisis, Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXVI. Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004th.

12 D.L. Wells, dan K.J. Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements: Bulletin of the Seismological Society of America, 1994, v. 84, p. 974-1002.

13 Thomas C. Hanks, H. Kanamori, "Moment magnitude scale". Journal of Geophysical Research, 1979 p.84 (B5): 2348-2350. Retrieved 2007-10-06.

14 Ernawati Sengaji dan Bisman Nababan, Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami di Kabupaten Sikka, NTT, 2009.

15 Sugimoto (2003) dalam Titi Kurniati, et al., Studi Tingkat Aksesibilitas Masyarakat Menuju Bangunan Penyelamatan (Shelter) Pada Daerah Rawan Tsunami (Studi Kasus: Kota Painan, SumBar), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Andalas Vol.20 No. 1 April 2013 ISSN : 0854-8471

16 R. Wallansha, dan W. Setyonegoro, Skenario Tsunami Menggunakan Data Parameter Gempabumi Berdasarkan Kondisi Batimetri (Studi Kasus: Gempabumi Maluku 28 Januari 2004). Jurnal Segara Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP), 2015, ISSN: 1907-0659, Vol.11, No.2, page: 159-168.

b. Katalog Tsunami Indonesia 416-2014 (Deputi Bidang Geofisika BMKG, 2015)¹⁷:

- Tsunami 1673 melanda Gamkonora (127° - 128° BT; 1° - 2° LU)
- Tsunami 1871 melanda Kepulauan Sangihe, Tagulandang, Buhias (123° - 127° BT; 1° - 5° LU)
- Tsunami 1889 melanda Kepulauan Sangihe dan Ruang (123° - 127° BT; 3° - 5° LU)
- Tsunami 4 Mei 2000 melanda Pulau Peleng dan Kepulauan Banggai (123° - 124° BT; 1° - 3° LS)

c. Catatan Sejarah Tsunami Maluku Utara (Daryono, 2015)¹⁸

- Tsunami 1858 melanda Sulawesi-Utara, Banggai-Sangihe - Ternate (123° - 128° BT; 2° LU- 2° LS)
- Tsunami 1859 melanda Kema-Minahasa (123° - 125° BT; 1° - 2° LU)
- Tsunami 1871 melanda Gorontalo (121° - 123° BT; 0° - 2° LU)

- Tsunami 1889 melanda Tahuna (123° - 127° BT; 3° - 5° LU)
- Tsunami 1907 melanda Kepulauan Talaud (125° - 129° BT; 3° - 5° LU)
- Tsunami 1936 melanda Pulau Salebabu (125° - 127° BT; 3° - 4° LU)

Maka dengan menggunakan data historis tsunami, batasan square dan asumsi kekuatan gempabumi 9 SR, koordinat area penelitian yang berpotensi terdampak tsunami berada pada koordinat: **7° LU- 7° LS dan 119° BT- 133° BT.**

2. Penentuan Kejadian Gempabumi dan Parameternya

a. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Earthquake Catalog ERI¹⁹

Aplikasi pengolahan data ini merupakan aplikasi *Earthquake Catalog-Seismicity Analysis System* menggunakan database gempabumi *Harvard* yang berada satu paket dalam aplikasi ini. Dengan menggunakan koordinat lokasi penelitian: **7° LU- 7° LS dan 119° BT- 133° BT** pada aplikasi ini, maka diperoleh hasil pengolahan data batasan area untuk mencari kejadian/event gempabumi yang akan -

17 Kedeputian Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Katalog Tsunami Indonesia tahun 416-2014., 2015, ISSN 2477-1805

18 Daryono. Catatan Sejarah Gempabumi Dan Tsunami Maluku Utara, 2015. (<http://rumahpengetahuan.web.id/lempeng-tekonik-di-kawasan-maluku-aktif-tinggi>, diakses tanggal 21 agustus 2017)

19 ERI - Seismicity Analysis System (earthquake catalog). (<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/db/harvard>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).

dijadikan input simulasi tsunami, berada pada koordinat $1^{\circ}\text{LS} - 4^{\circ}\text{LU}$ dan $125^{\circ}\text{BT} - 127^{\circ}\text{BT}$.

b. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Database Gempabumi BMKG

Pada database ini, hasil analisis pengolahan aplikasi sebelumnya yang menunjukkan koordinat $1^{\circ}\text{LS} - 4^{\circ}\text{LU}$ dan $125^{\circ}\text{BT} - 127^{\circ}\text{BT}$ dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan database gempabumi BMKG untuk melihat seluruh gempabumi yang pernah terjadi pada area koordinat tersebut, kemudian dipilih salah satu event gempabumi yang akan divalidasi dan dianalisis parameternya menggunakan database gempabumi GFZ.

Berdasarkan hasil pengolahan database gempabumi BMKG maka event gempabumi dari data terbaru dengan magnitude terbesar yang akan dijadikan input untuk dianalisis parameternya yaitu event gempabumi yang terjadi pada **15 November 2014**, pukul **02:31:44.3 UTC** dengan **Magnitude=7.2 Mw**, koordinat **1.95°LU dan 126.49°BT** , kedalaman **60 km**.

c. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Database Gempabumi GFZ

Event gempabumi hasil analisis database gempabumi BMKG, dianalisis dan divalidasi lebih lanjut dengan

database gempabumi GFZ yang mempunyai data parameter lengkap untuk kebutuhan pengolahan data di software tsunami-L. Hasil pengolahan database gempabumi GFZ ditunjukkan pada gambar 4



Gambar 4. Event Gempabumi Yang Menjadi Parameter

(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dari event gempabumi ini, lebih lanjut dilihat juga parameter bidang patahannya yaitu nilai Strike= **204** dan Dip= **50** untuk input simulasi tsunami.

3. Penentuan Area Terdampak Run-Up Tsunami

Untuk menentukan area terdampak Run-up tsunami, maka point 1 dan 2 akan diolah dan diinput pada tahap ini. Proses tersebut adalah sebagai berikut:

3.1. Penentuan Data Angka Topografi (Bathymetri)

Penentuan data ini merupakan tahapan sebelum melakukan pemodelan tsunami. Pengolahannya menggunakan **Software Geodas**, dengan input data Koordinat Area Berpotensi Terdampak

Untuk nilai Z_{eq} yaitu nilai kedalaman (hypocenter) akan dibuat skenario dengan kedalaman **10 km** yang merupakan kategori dangkal berbahaya, kemudian nilai strike dan dip langsung diinputkan pada form ini. Nilai strike dan dip diperoleh dari parameter database gempabumi GFZ yaitu: Strike= 204, Dip= 50. Nilai Slip= 83° tidak digunakan karena satuannya adalah derajat, sedangkan yang harus diinput adalah slip dalam satuan panjang.

Dalam menghitung Slip dalam satuan panjang, dibuatkan skenario dengan kekuatan gempa $M_w=9$ SR, yang termasuk kategori kekuatan gempa paling besar dalam skala richter. Secara sistematis urutan perhitungan Slip adalah sebagai berikut:

1) Persamaan Papazahos et.al (2004) untuk $M_w = 9$

➤ Panjang bidang patahan (L) diperoleh dgn rumus :

$$\text{Log}(L) = -2.42 + (0.58 * M_w)$$

$$\text{Log}(L) = -2.42 + (0.58 * 9) = 2.8,$$

$$L = 630.957 \text{ Km}$$

➤ Lebar bidang patahan (W) diperoleh dgn rumus :

$$\text{Log}(W) = -1.61 + (0.41 * M_w)$$

$$\text{Log}(W) = -1.61 + (0.41 * 9) = 2.08$$

$$W = 120.226 \text{ Km}$$

➤ Luas bidang patahan (A) diperoleh dgn rumus :

$$A = L * W$$

$$A = 630.957 * 120.226$$

$$A = 75,857.758 \text{ Km}^2 = 7.586 \times 10^{10} \text{ m}^2$$

2) Persamaan Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979) untuk $M_w = 9$

➤ Momen seismik (M_o) diperoleh dgn rumus :

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 6.07$$

$$\frac{2}{3} \log M_o = M_w + 6.07$$

$$\frac{2}{3} \log M_o = 9 + 6.07$$

$$\frac{2}{3} \log M_o = 15.07$$

$$\text{Log } M_o = 15.07 * \frac{3}{2}$$

$$\text{Log } M_o = 22.605$$

$$M_o = 4.027 \times 10^{22} \text{ Nm}$$

3) Persamaan (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994)

➤ Slip (S) atau Displacement (D) diperoleh dengan rumus :

$$M_o = \mu A D$$

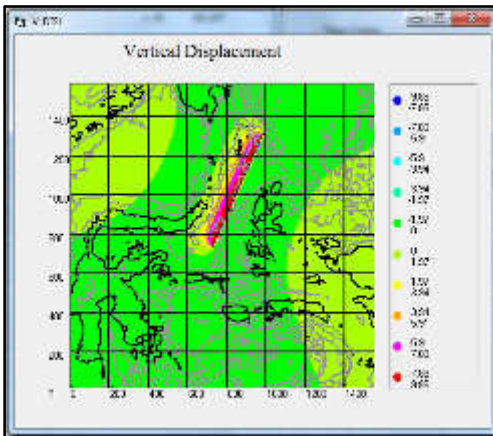
Dengan μ konstanta = $3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

maka D atau Slip (S) = $M_o / \mu A$

$$D = 4.027 \times 10^{22} / (3 \times 10^{10} * 7.586 \times 10^{10})$$

$$D = 17.696 \text{ m}$$

Semua parameter tersebut dimasukkan kedalam form Fault kemudian klik Displacement kembali. Hasil displacement sesudah input parameter dan hasil perhitungannya ini terlihat pada Gambar 6.



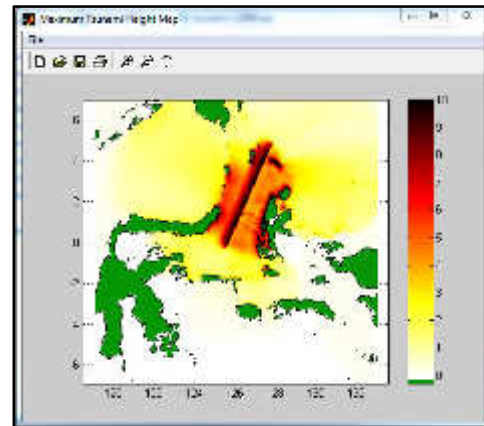
Gambar. 6. Hasil Displacement after setting parameter dengan Mw=9 (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

c. Simulasi Tsunami

Dari hasil point **a** dan hasil skenario point **b** pada tahapan software Tsunami-L sebelumnya, kemudian masuk kedalam tahapan input form Tsunami. Dalam tahapan input form tsunami ini, agar dapat melihat *Run-Up*, maka klik non linear. Maksimum waktu penalaran yang ingin dilakukan, penulis tentukan dalam waktu 1 jam (3600 detik), dengan graph interval 60 detik. Batas warna ketinggian maksimum tsunami dibatasi dengan degradasi warna untuk ketinggian maksimum 10 meter. Kemudian data ini disimpan dengan interval waktu 60 detik dalam format bmp, csv dan time, agar diperoleh datanya dalam bentuk angka untuk dianalisis lebih lanjut.

Setelah pengisian form Tsunami sesuai scenario yang ditentukan, maka klik Tsunami sehingga proses simulasi akan berlangsung. Hasil pengolahan

simulasi *Run-Up* ini dalam bentuk raster ditunjukkan dalam Gambar 7



Gambar 7. Hasil Pengolahan Data Peta Ketinggian Maksimum Tsunami (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Pada hasil pengolahan data yang ditunjukkan pada Gambar 7 jelas terlihat bahwa pulau yang berada di atas sepanjang bidang patahan, mempunyai risiko paling tinggi.

Setelah simulasi selesai, data ini disimpan dalam format dat untuk dicari nilai *Run-Up* tertinggi.

4. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Shelter

4.1. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami

a. Penentuan Lokasi Terdampak Tsunami Secara Total

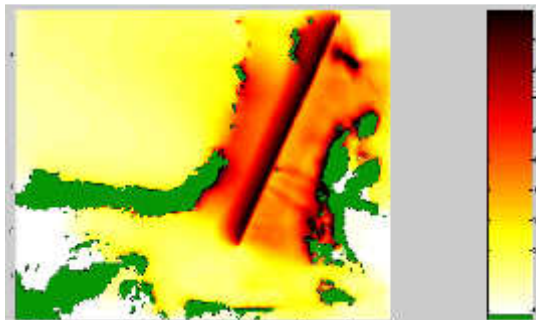
Pengolahan data ini menggunakan software Quantum GIS, Dalam software Quantum GIS, hasil dampak *Run-Up* dapat di-georeferensi-kan sehingga dapat diketahui nama letak geografi yang terdampak *Run-Up* dengan teknik

overlay. Tahapan penentuan ini sebagai berikut:

- **Fokus Area Dampak Run-Up Tsunami Berdasarkan Hasil Raster**

Karena data dampak tsunami yang begitu besar maka fokus data area terdampak menjadi sangat penting agar proses pengolahan nanti menjadi lebih teliti dan efektif. Semakin kecil fokus data, maka semakin akurat hasil pengolahannya, sehingga dapat mengetahui nama geografi terdampak dalam skala geografi yang lebih kecil.

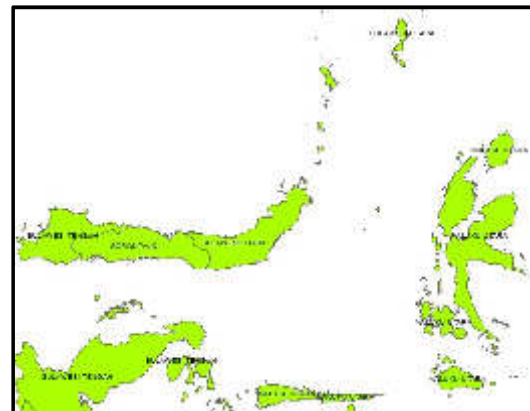
Fokus area dampak ini ditentukan berdasarkan degradasi warna kuning sampai warna hitam pada Gambar 7. Kemudian dari hasil analisis diperoleh koordinat fokus dampak run-up yaitu: $120.5^{\circ}\text{BT} - 129^{\circ}\text{BT}$; $2^{\circ}\text{LS} - 5^{\circ}\text{LU}$. Penentuan fokus area dampak Run-Up tsunami ini dilakukan dalam tahapan di software tsunami-L, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Fokus Dampak Run-Up Tsunami
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

- **Overlay Fokus Dampak Run-Up Kedalam Informasi Geografi**

Dengan tujuan untuk mendapatkan informasi tentang Run-Up disuatu letak geografi, seperti propinsi, kabupaten/kota, kecamatan atau desa, maka hasil pada gambar 8 harus diolah dengan cara meng-overlay-kan dengan data letak geografi. Pengolahan data letak geografi dalam software Quantum GIS ini dibatasi sesuai koordinat Fokus Dampak Run-Up Tsunami. Hasil pengolahan letak geografi propinsi ini ditunjukkan pada Gambar 9.

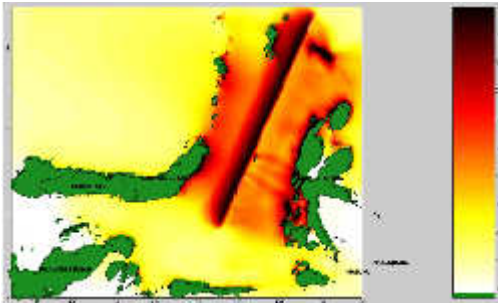


Gambar 9. Data Geografi Propinsi Sesuai Koordinat Dampak Run-Up
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Pada Gambar 9, terlihat secara geografi ada 4 propinsi di Indonesia yang nampak dalam batas koordinat tersebut, yaitu Propinsi Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Maluku Utara.

Kemudian data geografi pada Gambar 9 ini akan di-overlay dengan fokus

dampak run-up pada Gambar 8. Hasil overlay ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Overlay Dampak Run-Up Terhadap Letak Geografi (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

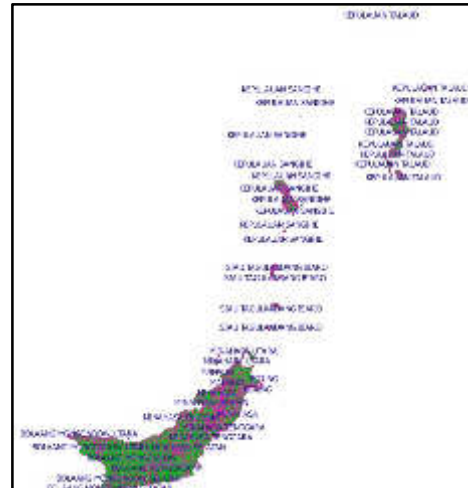
Dari hasil overlay terlihat dari 4 propinsi tersebut hanya propinsi Sulawesi Tengah yang tidak semua pesisir pantainya terkena dampak Run-Up yang ditandai warna putih. Sedangkan pesisir pantai propinsi yang terdampak Run-Up sangat parah terjadi di Propinsi Maluku Utara terutama di posisi lintang utara yang ditandai warna hitam pekat.

b. Penentuan Lokasi Terdampak Tsunami Setiap Propinsi

Untuk memperoleh hasil Run-Up dalam setiap propinsi, maka hasil fokus dampak run-up harus diolah lagi lebih detail, sehingga langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah fokus mencari dampak Run-Up dengan melakukan overlay terhadap data kabupaten/kota yang ada dalam propinsi tersebut.

• Overlay Geografi Propinsi Sulawesi Utara dengan Dampak Run-Up Terhadap Propinsi Sulawesi Utara

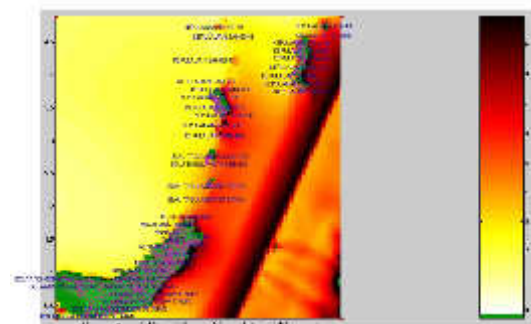
Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Sulawesi Utara ditunjukkan pada Gambar 11



Gambar 11 Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Utara

(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak Run-Up di Propinsi Sulawesi Utara yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12. Dampak Run-Up Terhadap Propinsi Sulawesi Utara

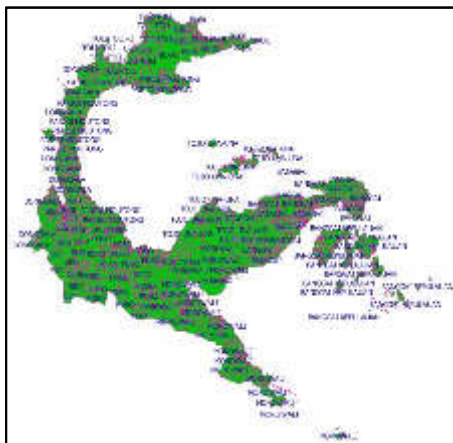
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dari degradasi warna dalam Gambar 12 terlihat untuk Propinsi

Sulawesi Utara nilai *Run-Up* sangat menyebar dan bervariasi sangat signifikan. Warna kuning yaitu dengan nilai *Run-Up* berkisar 2 m terjadi di pesisir pantai kabupaten/kota Bolaang Mongondow Utara dan Selatan, semakin ke Utara dan pulau-pulau kecil di atasnya yang mendekati bidang patahan nilai *Run-Up* cenderung tinggi. Nilai *Run-Up* yang tinggi yang ditandai warna hitam pekat terjadi di pesisir pantai kabupaten/kota Bolaang Mongondow Timur, Minahasa, Bitung, Siau Tagulandang Biaro, Kepulauan Sangihe dan Kepulauan Talaud.

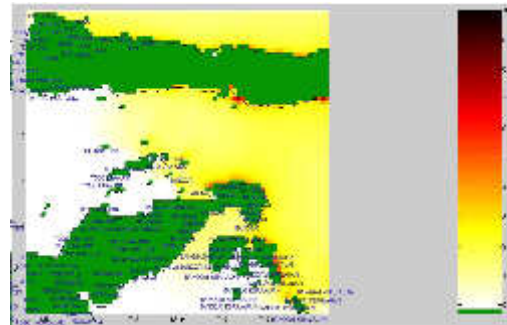
- **Overlay Geografi Propinsi Sulawesi Tengah Dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Tengah**

Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Sulawesi Tengah ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Tengah
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Tengah yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 14.

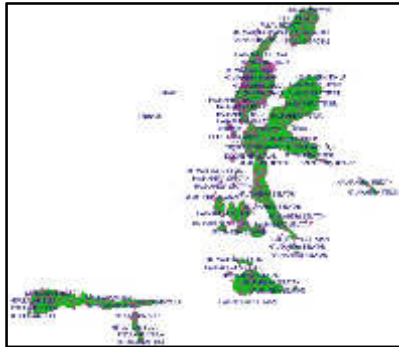


Gambar 14. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Tengah
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dalam Gambar 14 dampak *Run-Up* terhadap propinsi Sulawesi Tengah hanya terjadi pada sebagian pantai di kabupaten/kota Buol, Tojo Una-Una, Banggai dan Banggai Kepulauan dengan ketinggian *Run-Up* merata dengan dominasi warna kuning. Fokus dampak *Run-Up* tertinggi yang ditandai warna kuning mendekati merah yaitu berkisar nilai run-up 4-5 meter terjadi di sepanjang pantai Banggai dan Banggai Kepulauan.

- **Overlay Geografi Propinsi Maluku Utara Dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Maluku Utara**

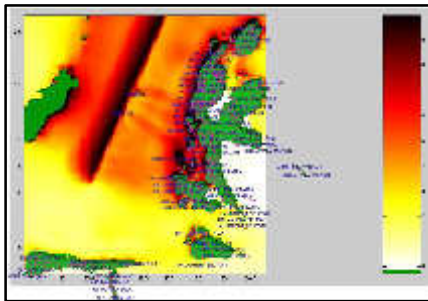
Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Maluku Utara ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Kabupaten/Kota Propinsi Maluku Utara

(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Maluku Utara

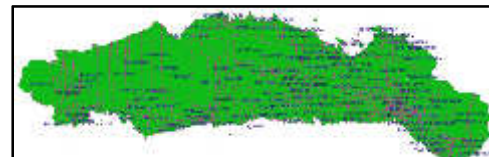
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dalam Gambar 16 dampak *Run-Up* terhadap propinsi Maluku Utara terjadi hampir disepanjang pantai yang menghadap Zona Subduksi Maluku. Dampak ketinggian *Run-Up* pada setiap pulau tidak merata yang dimulai dari warna kuning sampai dengan hitam pekat. Dampak *Run-Up* yang terjadi di pulau dibagian bawah yang berada di lintang Selatan yaitu di sepanjang pantai Kepulauan Sula yang menghadap Zona Subduksi Maluku

ditandai dominasi warna kuning dengan nilai run-up berkisar 2-4 meter. Sedangkan untuk pesisir pantai di pulau dibagian paling timur dari lintang selatan sampai dengan lintang utara, dampak *Run-Up* bervariasi dengan banyak pulau kecil, semakin ke utara mendekati Zona Subduksi Maluku semakin hitam pekat, menunjukkan nilai run-up yang semakin tinggi diatas 10 meter.

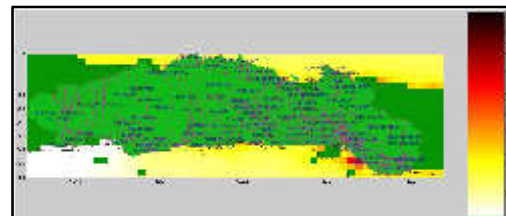
• **Overlay Geografi Propinsi Gorontalo Dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Gorontalo**

Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Gorontalo ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Kabupaten/Kota Propinsi Gorontalo.
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Gorontalo yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Gorontalo

(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Degradasi warna dalam Gambar 18 tidak terlalu tampak signifikan karena didominasi warna kuning, dengan nilai *Run-Up* berkisar 2 m terjadi pada pinggir pantai kabupaten/kota Bolaemo, Bone Bolango, Gorontalo dan Gorontalo Utara ini menunjukkan bahwa dampak *Run-Up* pada Propinsi Gorontalo tidak berbahaya dari ancaman tsunami. Nilai run-up tertinggi berkisar 5-6 m terjadi hanya sedikit dari pesisir pantai Bone Bolango.

c. Hasil Digitasi Dampak *Run-Up* Berdasarkan Overlay Setiap Propinsi

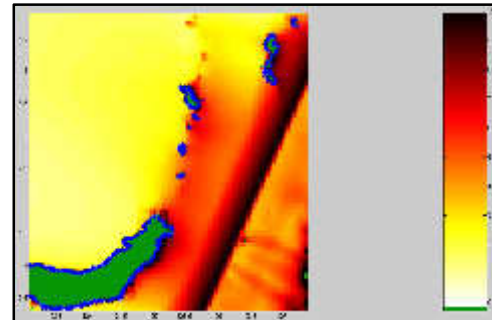
Tahapan selanjutnya adalah melakukan digitasi agar dapat diketahui nilai *Run-Up* nya. Ada 2 cara pengolahan data digitasi, yaitu poyline dan point, dalam penelitian ini pengolahan data digitasi menggunakan digitasi point, karena akan dicari secara detail nilai *Run-Up* dalam skala kecil per-point yaitu di sepanjang pantai setiap propinsi terdampak tersebut.

Pada hasil pengolahan overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi 4 propinsi maka pembagian digitasi inipun dibagi menjadi 4 (empat) blok propinsi sebagai berikut:

- **Blok 1: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Utara**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi

Sulawesi Utara, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 123.1° - 127.4° BT, 0.3° - 4.9° LU. Pengolahan data digitasi blok 1 terlihat pada Gambar 19..

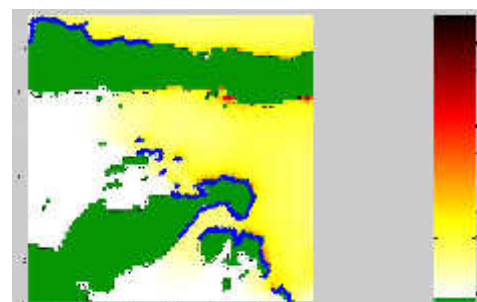


Gambar 19. Digitasi Points Blok 1
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Hasil digitasi points, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 125.68° BT; 3.41° LU dengan nilai *Run-Up* 18.23 m yaitu berada di Kepulauan Sangihe. Nilai *Run-Up* yang paling banyak terjadi berada diantara ketinggian 6-7 m.

- **Blok 2: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Tengah**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Sulawesi Tengah, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 120.8° – 124.2° BT, -2° – 1.4° LU. Pengolahan data digitasi blok 2 terlihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Digitasi Points Blok 2
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Hasil digitasi blok 2 di Propinsi Sulawesi Tengah nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 123.57°BT ; 1.44°LS dengan nilai *Run-Up* 5.02 m yang terletak di kab/kota Banggai Kepulauan. Sedangkan nilai *Run-Up* 2 m adalah yang banyak terjadi. Secara umum propinsi Sulawesi Tengah cukup aman dari ancaman tsunami, dan berdasarkan catatan sejarah tsunami memang hanya pesisir pantai Kab/Kota Banggai dan Banggai Kepulauan saja yang perlu kewaspadaan dalam menghadapi ancaman tsunami.

- **Blok 3: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara**

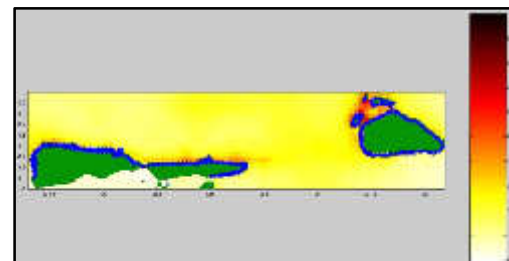
Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Maluku Utara, maka fokus digitasi berada pada koordinat $124.3^{\circ} - 128.8^{\circ}\text{BT}$, $-2^{\circ} - 2.8^{\circ}\text{LU}$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16. Fokus digitasi yang harus dilakukan pada gambar 16 ini terlalu kompleks terutama dibagian bujur timur dan lintang utara, dimana dampak run-up terjadi mengitari pulau-pulau kecil. Banyaknya titik yang harus didigitasi membuat Blok 3 Propinsi Maluku Utara ini harus dilakukan pembagian digitasi menjadi 2 blok.

Pembagian digitasi dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara dapat dilakukan dengan melihat fokus perbedaan

degradasi warna yang signifikan antara Propinsi Maluku Utara bagian bawah (lintang selatan) dan bagian atas (lintang utara), sehingga pembagian blok yang dilakukan adalah blok 3.1 dengan batas koordinat: $124.3^{\circ} - 128.2^{\circ}\text{BT}$, $2^{\circ} - 1.1^{\circ}\text{LS}$ dan blok 3.2 dengan batas koordinat: $127^{\circ} - 128.8^{\circ}\text{BT}$, $-1^{\circ} - 2.8^{\circ}\text{LU}$.

Pertama. Digitasi points dampak *Run-Up* di Blok 3.1

Koordinat blok 3.1 berada pada $124.3^{\circ} - 128.2^{\circ}\text{BT}$, $2^{\circ} - 1.1^{\circ}\text{LS}$. Pengolahan data digitasi blok 3.1 terlihat pada Gambar 21.

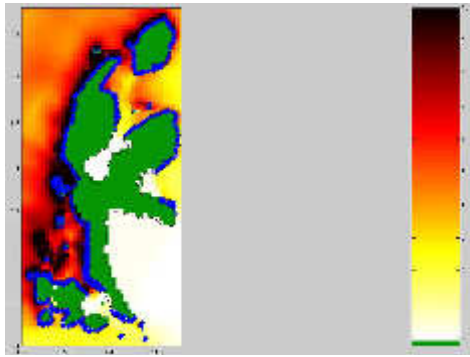


Gambar 21. Digitasi Points Blok 3.1
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dari hasil digitasi, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.44°BT ; 1.39°LS dengan nilai *Run-Up* 6.61 m yang terletak di kab/kota Halmahera Selatan, sedangkan di Kepulauan Sula nilai *Run-Up* rata-rata sekitar 2 meter.

Kedua. Digitasi points dampak *Run-Up* di blok 3.2

Koordinat blok 3.2 berada pada $127-128.8^{\circ}\text{BT}$, $1^{\circ}\text{LS}-2.8^{\circ}\text{LU}$. Pengolahan data digitasi blok 3.2 terlihat pada Gambar 22.

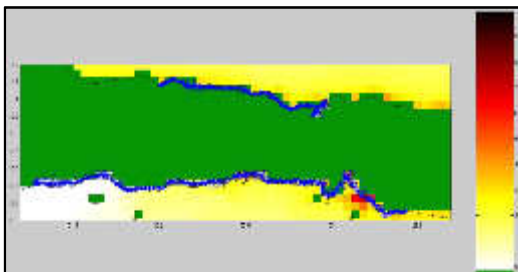


Gambar 22. Digitasi Points Blok 3.2
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dari hasil digitasi, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.57°BT ; 0.76°LU dengan nilai *Run-Up* 27.64 m. Koordinat tersebut berada di pantai Kepulauan Tidore.

- **Blok 4: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Gorontalo**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Gorontalo, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 121.2° - 123.7° BT, 0.3° - 1.2°LU . Pengolahan data digitasi blok 4 terlihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Digitasi Points Blok 4
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Dari hasil digitasi, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 123.21°BT ; 0.40°LU dengan nilai *Run-Up* 5.73 m yang terjadi di Desa Bilungala Kab/Kota Bonebolango. Nilai *Run-Up*

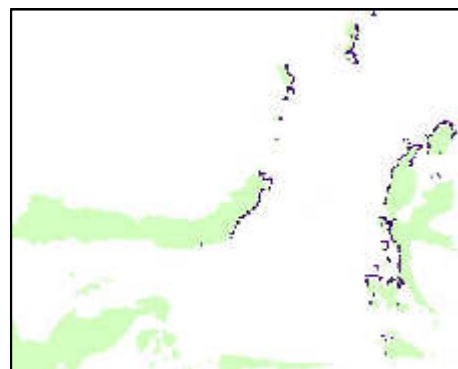
rata-rata, berkisar 2 m. Sehingga propinsi ini tidak terlalu berbahaya dari ancaman tsunami.

4.2. Penentuan Tempat Evakuasi Vertikal (Shelter)

a. Hasil Data Kriteria Pertama.

Pengolahan data pertama ini menggunakan data hasil pengolahan digitasi sebelumnya. Langkah-langkah pengolahan data ini adalah sebagai berikut:

- Dengan menggunakan Ms Excel, gabungkan data digitasi setiap propinsi, kemudian sortir menjadi 3 klasifikasi yaitu: 0-2 m (rendah), 2-6 m (sedang), dan > 6m tinggi;
- Pada software ArcGIS, klik **File**, klik **Add Data**, klik **Add XY Data**, masukkan data koordinat run-up >6m, dengan X adalah nilai Longitude, Y adalah nilai Latitude dan Z adalah nilai Run-Up. Outputnya beri nama **RunUp_Tinggi**. Hasil pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 24.



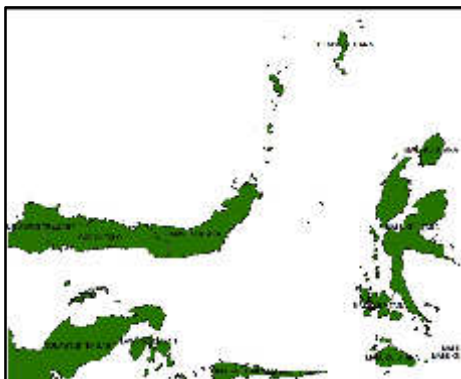
Gambar 24. Nilai Run-Up Klasifikasi Tinggi
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

b. Hasil data kriteria kedua.

Pertama. Pengolahan data fokus area terdampak

Proses pengolahan data fokus area terdampak ini adalah sebagai berikut:

- **Add data** batas administrasi Indonesia
- **Select features by rectangle** untuk menentukan fokus batas area terdampak ($120.5^{\circ} - 129^{\circ}$ BT, 2° LS - 5° LU)
- Klik kanan, pilih **Data** kemudian **Export Data**, simpan output nya dengan nama **Export_Output_Data_Batas_Admin** dalam suatu folder untuk ditambahkan dalam peta layer kemudian zoom untuk memperjelas.
- Klik data Export tersebut, lakukan **Geoprocessing** kemudian **Dissolve** berdasarkan Propinsi dan outputnya beri nama **Dissolve_Propinsi**. Hasil pengolahan terlihat pada Gambar 25

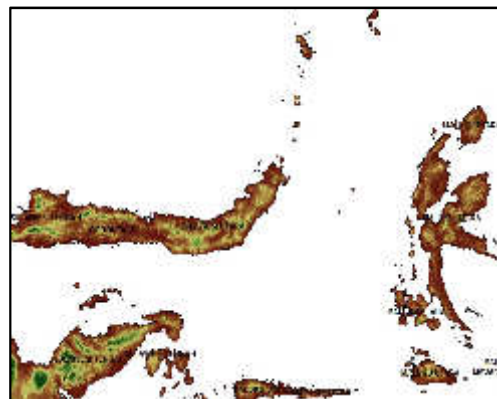


Gambar 25. Fokus Area Terdampak Tsunami Berdasarkan Propinsi
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Kedua. Pengolahan data DEM

Proses Pengolahan data DEM adalah sebagai berikut:

- Input data DEM area penelitian, data yang sudah di clip sesuai batas koordinat fokus area terdampak (dalam format Tiff) dengan **Add Data** (Gambar 26), search **Conversion**, pilih **Raster to Point** yaitu merubah format raster menjadi format vektor (point), dan beri nama outputnya **PointDEM**.



Gambar 26. Data DEM Fokus Area Terdampak
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Ketiga. Pengolahan data Identity Analysis PointDEM

Searching Identity pilih Identity Analysis, pilih PointDEM untuk Input Features dan Export_Output_Data_Batas_Admin untuk Identity Features dan beri nama outputnya **PointDEMIdentity**

Keempat. Pengolahan Data untuk klasifikasi Rawan Tsunami.

Data PointDEMIdentity ini kemudian akan digunakan untuk membuat

klasifikasi rawan tsunami rendah, sedang dan tinggi melalui suatu formula menggunakan tinggi maksimum run-up. Berdasarkan hasil sortir format dat dari simulasi tsunami, diperoleh nilai maksimum run-up 27.4904. nilai maksimum run-up ini dimasukkan dalam Data PointDEMIdentity untuk dibagi menjadi 3 daerah DEM. Jika nilai run-up maksimum 27 m maka nilai DEM yang diatas 27, sudah tidak perlu lagi dihitung karena sudah pasti aman dari run-up tsunami, sehingga dibuatkan suatu formula untuk seluruh nilai DEM yang dibawah dan sama dengan 27 m yang dibagi 3 daerah rawan yaitu rendah sedang dan tinggi. Proses pengolahan data DEM kurang dari 27 m adalah sebagai berikut:

Klik kanan **Open atribut table** kemudian pilih **Select by Atribut** kemudian ketik rumus dengan menuliskan seluruh daerah batas administrasi yang masing-masing daerah admistrasi diakhiri `grid_code <=27`. Setelah selesai input semua lakukan klik kanan, pilih **Data**, kemudian **Export Data** dan hasilnya beri nama **GC27Rn**, yang dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Data Dem Dibawah 27 m
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

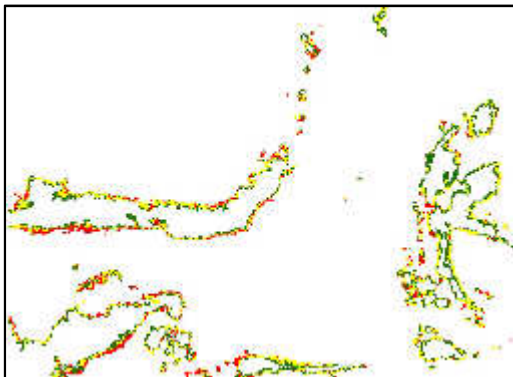
Kelima. Pengolahan Data Kelas Inundasi.

Setelah mendapatkan data DEM dibawah 27 m, kemudian dilakukan klasifikasi kelas inundasi, pengolahan datanya adalah sebagai berikut:

- Klik **Open Atribut Table**, klik **Add Field** beri nama **kelas_inun**, kemudian klik **Select By Atribut**, klik **grid code**, lalu masukkan:
 - **“grid code” < “9”**, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan 3 (rawan tinggi warna merah);
 - **“grid code” ≥ “9” AND “grid code” ≤ “18”**, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan 2 (rawan sedang warna kuning);
 - **“grid code” > “18”**, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan 1 (rawan rendah warna hijau).

Hasil point klasifikasi kelas inundasi dalam bentuk point diubah kedalam bentuk raster, dengan pengolahan data sebagai berikut:

- Search **Point to Raster**, masukkan data **GC27Rn** yang sudah diklasifikasi kelas inundasinya dalam bentuk point, **kelas_inun** sebagai **value field** yaitu nilai yang ingin ditunjukkan dan beri nama **output** dengan **GC27RnRaster1.tif**. hasil pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 28.

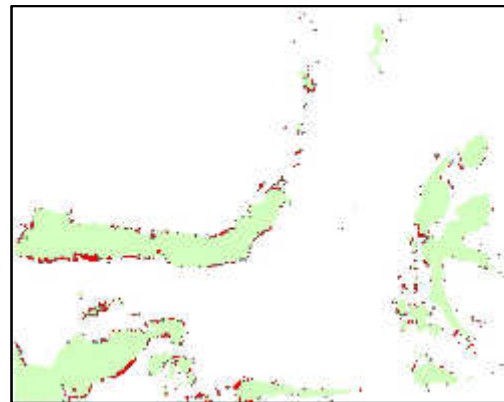


Gambar 28. Klasifikasi Kelas Inundasi
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Keenam. Pengolahan data klasifikasi DEM rawan tsunami tinggi.

- Search **raster to polygon**, pilih **GC27RnRaster1.tif** sebagai input raster, pilih **kelas_inun** sebagai fieldnya dan bernama output **GC27RnPolygon**
- Klik kanan, pilih **Symbology**, pilih Value Field **kelas_inun**, pilih **Add All Value**

- Klik kanan, **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, pilih **kelas_inun**. **Cari Get Uniq Value** pilih 3
- Klik kanan, **data**, klik **export data**, dan beri nama **Tsunami_RawanTinggi** yang ditandai warna merah. Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 29.

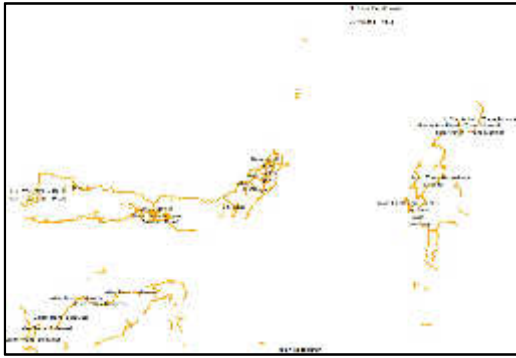


Gambar 29. DEM Rawan Tsunami Tinggi
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

c. Hasil data kriteria ketiga.

Pengolahan data kriteria ketiga adalah sebagai berikut:

Add Data jalan_penelitian, klik **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, kemudian masukkan **fclass = primary** OR **fclass = secondary**, beri nama **jln_primer_sekunder**, setelah itu klik **Geoprocessing**, masukkan input **jln_primer_sekunder**, kemudian ketik nilai **500** dalam satuan **meter**, beri nama **jln_primer_sekunder_buffer500**. Hasil pengolahan data ini ditunjukkan pada Gambar 30.



Gambar 30. Jalan Dengan Radius 500 m
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

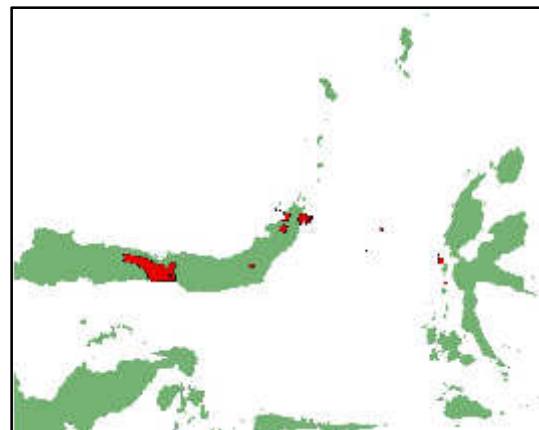
d. Hasil data kriteria keempat.

Pengolahan data jumlah kependudukan berdasarkan kabupaten/kota yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Klik **Add Data** cari **Dissolve_KabKota**, Klik **Open Atribut Table** klik **Add Field** beri nama **kpdttkabkot**, klik **Editor** lalu pilih **Start Editing**, Klik **Open Atribut Table** kembali, kemudian input semua data kependudukan per kabupaten/kota, setelah selesai Klik **Editor** lalu pilih **Stop Editing**.
- Klik **Open Atribut Table**, klik **Add Field** beri nama **klaskpdt**, kemudian klik **Select By Atribut**, klik **kpdttkabkot** dengan rumusan sebagai berikut:
 - “kpdttkabkot” = “<500”, klik kanan di **klaskpdt**, pilih **field calculator** isi **klaskpdt** dengan 1 (rawan rendah warna hijau)
 - “kpdttkabkot” = “500-1000”, klik kanan di **klaskpdt**, pilih **field**

calculator isi **klaskpdt** dengan 2 (rawan sedang warna kuning)

- “kpdttkabkot” = “>1000”, klik kanan di **klaskpdt**, pilih **field calculator** isi **klaskpdt** dengan 1 (rawan tinggi warna merah).
- Klik kanan, pilih **Data** kemudian **Export Data**, simpan output nya dengan nama **klskpdt** dalam suatu folder untuk ditambahkan dalam peta layer kemudian zoom untuk memperjelas.
- Klik kanan, **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, pilih **kelas_inun**. Cari **Get Uniq Value** pilih 3
- Klik kanan, **data**, klik **export data**, dan beri nama **kpdt23** yang ditandai warna merah. Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 31



Gambar 31. Penduduk/kabupaten >500 jiwa/km² (merah)
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

e. Hasil Intersection 4 (empat) Kriteria Penentuan Shelter

Pada pengolahan terakhir ini dilakukan intersection untuk

mengetahui perpotongan kriteria yang telah dilakukan. Proses pengolahannya adalah sebagai berikut:

- Klik **Geoprocessing**, pilih **Intersect** masukkan input kriteria kedua DEM **Tsunami_RawanTinggi** dan kriteria keempat jumlah penduduk **.500 jiwa.km2 kpd23**.
- Tampilkan kriteria pertama run-up klasifikasi tinggi **RunUp_Tinggi** dan kriteria ketiga buffer jalan primer, sekunder, tersier **500 m jln_primer_sekunder_buffers500**.

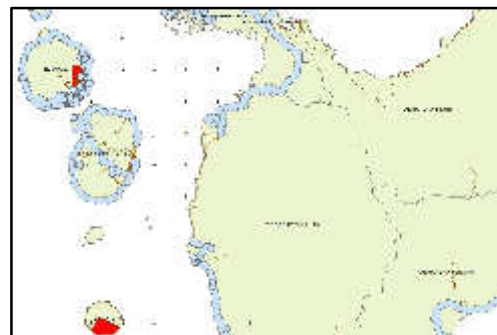
Hasil pengolahan dengan melakukan zooming ada 4 objek hasil intersection yang menunjukkan lokasi shelter yaitu 2 buah di Propinsi Sulawesi Utara yang ditunjukkan pada Gambar 32 dan 2 buah lagi di Propinsi Maluku Utara yang ditunjukkan pada Gambar 33.



Gambar 32. Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Sulawesi Utara (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Pada Gambar 32, lokasi penentuan shelter ditunjukkan warna merah. Dari hasil intersection tersebut

di Propinsi Sulawesi Utara ada 2 lokasi shelter yang dapat dijadikan tempat evakuasi ketika tsunami datang dengan cepat. kedua lokasi tersebut berada di Kabupaten/Kota Bitung. Dari 2 lokasi tersebut ada 1 lokasi penentuan shelter yang mempunyai jalan primer, sekunder dan tersier yang di tandai buffer warna biru muda. Lokasi penentuan shelter ini dapat terjangkau oleh penduduk yang berada pada area terdampak, karena sudah memperhitungkan posisinya berada di pusat area terdampak dengan radius 500 meter dari jalan primer, sekunder atau tersier, sehingga penduduk yang berada di lokasi ancaman tsunami ini dapat melakukan evakuasi di lokasi tanda warna merah tersebut jika shelter ada disana. Sedangkan 1 lagi lokasi shelter tidak mempunyai jalan primer, sekunder atau tersier, tetapi mempunyai jalan jenis lain untuk dilalui yang ditandai garis berwarna coklat.

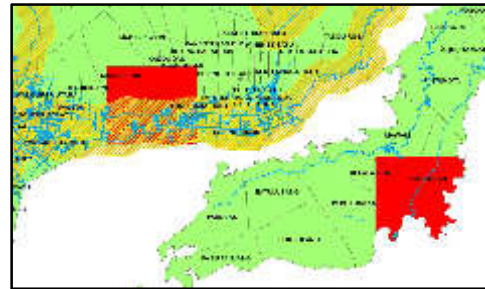


Gambar 33. Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Maluku Utara (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Pada Gambar 33 lokasi penentuan shelter hasil intersection ditunjukkan dengan warna merah. Hasil intersection menunjukkan bahwa di Propinsi Maluku Utara, ada 2 lokasi shelter, keduanya berada di kabupaten/kota Ternate. Dari 2 lokasi tersebut ada 1 lokasi penentuan shelter yang mempunyai jalan primer / sekunder / tersier yang di tandai buffer warna biru muda. Sedangkan 1 lokasi shelter lagi tidak mempunyai jalan primer / sekunder / tersier, tetapi mempunyai jalan jenis lain untuk dilalui yang ditandai garis berwarna coklat.

Untuk melihat keberadaan shelter tersebut dari letak geografi desa, maka fokus peta administrasi diperbesar dengan menggunakan atribut nama desa. Dari hasil fokus terhadap lokasi geografi desa yang harus di-zoom maka pengolahan data harus dibagi menjadi 3 (tiga) hasil pengolahan data, yaitu di Propinsi Sulawesi Utara dapat dijadikan 1 hasil pengolahan data karena jaraknya berdekatan yang ditunjukkan pada Gambar 34 dan untuk pengolahan data di Propinsi Maluku Utara harus dibagi menjadi 2 hasil pengolahan data, agar dapat menunjukkan dengan jelas posisi dan nama desanya tempat penentuan

shelter itu berada yang ditunjukkan Gambar 35 dan Gambar 36.



Gambar 34. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

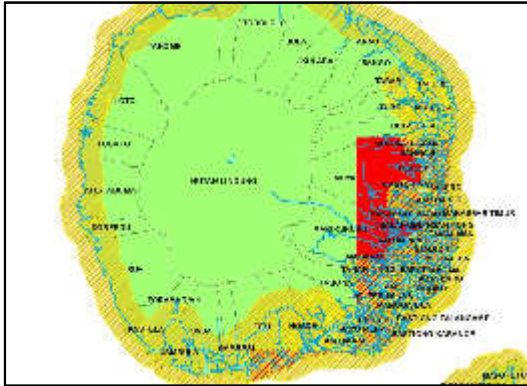
Pada gambar 34, dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa, maka lokasi shelter berwarna merah yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier yang ditandai arsir kuning berada di Desa Bitung Barat, dan 1 lokasi shelter lagi yang punya jenis jalan lain selain jalan primer/sekunder/tersier yang ditandai warna biru tanpa arsiran kuning berada di Desa Pancuran.



Gambar 35. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Bawah Propinsi Maluku Utara
(Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

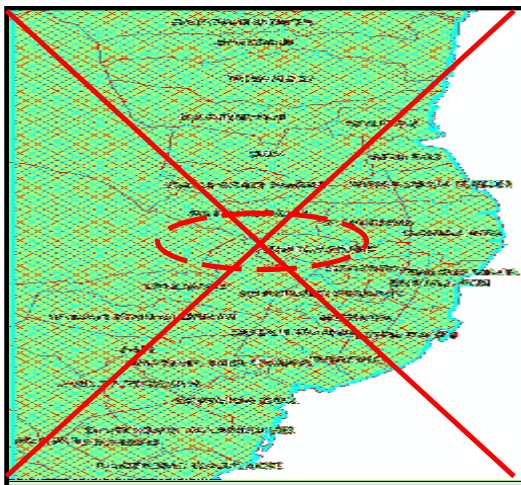
Pada gambar 35, dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa, menunjukkan lokasi shelter berwarna merah yang

mempunyai akses selain jalan primer/sekunder/tersier warna biru berada di Desa Takofi.



Gambar 36. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Atas Propinsi Maluku Utara (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Pada gambar 36, dari pengolahan data menggunakan nama atribut desa, untuk penentuan lokasi shelter berwarna merah yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier arsir kuning memerlukan analisis simetris yang ditunjukkan pada Gambar 4.37, hal ini terjadi karena dampak dari tsunami melanda banyak nama desa.



Gambar 4.37. Analisis Simetris Lokasi Shelter Bagian Atas Propinsi Maluku Utara (Sumber: Diolah oleh peneliti, 2017)

Berdasarkan analisis simetris pada gambar 4.37 menunjukkan lokasi shelter berada di Desa Kalumpang.

Kesimpulan

1. Koordinat lokasi yang mempunyai potensi terdampak tsunami berada pada koordinat 7°LU - 7°LS dan 119°BT - 133°BT ;
2. Kejadian gempa bumi yang akan dijadikan input pemodelan gelombang tsunami yaitu gempa bumi **15 November 2014**, pukul **02:31:43.8 UTC** dengan **Magnitude=7.0**, koordinat **1.98°LU dan 126.48°BT** , kedalaman **53 km**, **Strike= 204** dan **Dip= 50**;
3. Nilai run-up tertinggi adalah 27.49 m, dengan jarak inundasi maksimum 21.881 m yang terjadi pada koordinat 127.5721 BT ; 0.76359 LU pada menit 44.
4. Ada 4 lokasi shelter hasil intersction yang direkomendasikan sebagai tempat evakuasi sementara sampai tsunami surut, 2 berada di propinsi Sulawesi Utara dan 2 berada di Propinsi Maluku Utara.

Untuk di Propinsi Sulawesi Utara, kedua lokasi shelter tersebut berada di Kabupaten/Kota Bitung. Dari hasil pengolahan data menggunakan

nama atribut desa, maka lokasi shelter yang punya jenis jalan lain selain jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa Pancuran, sedangkan yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa Bitung Barat.

Untuk di Propinsi Maluku Utara, kedua lokasi shelter tersebut berada di Kabupaten/Kota Ternate. Dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa untuk lokasi shelter yang tidak mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa Takofi, sedangkan lokasi shelter yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier, berdasarkan analisis simetris berada di Desa Kalumpang.

Daftar Referensi

Buku

- Badan Pusat Statistik Gorontalo. 2017. Provinsi Gorontalo Dalam Angka. Katalog:1102001.75
- Badan Pusat Statistik Maluku Utara. 2017. Provinsi Maluku Utara Dalam Angka. Katalog:1102001.82
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Tengah. 2017. Provinsi Sulawesi Tengah Dalam Angka. Katalog:1102001.72
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Utara. 2017. Provinsi Sulawesi Utara Dalam Angka. Katalog:1102001.71
- Humanitarian Open Street Map Team. 2010. Menganalisis Data dengan Quantum GIS dan InaSafe Tingkat Dasar Unit 2 Modul 10, Analisis

Vektor untuk Pemecahan Masalah.

Kedepujian Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2015. Katalog Tsunami Indonesia tahun 416-2014. ISSN 2477-1805

Kuntjojo. 2009. Metodologi Penelitian. Kediri Jawa Timur

Latief Hamzah. 2002. Penyusunan Konsep Basis Data Sumber Tsunami dan Sistem Informasi Geografis Tsunami. Pusat Riset Tsunami. KPPKL-ITB.

Nakamura, M. 2006. Source fault model of the 1771 Yaeyama Tsunami Southern Ryukyu island Japan Inferred from Numerical Simulation, Pure Appl. Geophys., 163, 41-54

Puspito, N.T. 2000. Tsunami di Indonesia Program Studi Geofisika Institut Teknologi Bandung,

Triawanawati, Sugito. 2008. Tsunami, Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia.

The Sphere Project. 2011. Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response.

Jurnal, Artikel Dan Makalah

Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979. "Moment magnitude scale". Journal of Geophysical Research, 84 (B5): 2348-2350. Retrieved 2007-10-06.

Nakamura, M. 2009. Tsunami Numerical Simulation. Journal of Ryukyu University, Vol. 17, No. 1, 18-22.

Papazachos, B.C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G. F., 2004. Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXVI.

- Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004th.
- Titi et al., Studi Tingkat Aksesibilitas Masyarakat Menuju Bangunan Penyelamatan (Shelter) Pada Daerah Rawan Tsunami (Studi Kasus: Kota Painan, Sumatera Barat), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Andalas Vol. 20 No. 1 April 2013 ISSN : 0854-8471,
- Wallansha, R. dan Setyonegoro, W. 2015. Skenario Tsunami Menggunakan Data Parameter Gempabumi Berdasarkan Kondisi Batimetri (Studi Kasus: Gempabumi Maluku 28 Januari 2004). Jurnal Segara Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), ISSN: 1907-0659, Vol.11, No.2, page: 159-168.
- Wells, D.L., dan Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974-1002.
- Laporan Dan Publikasi Online**
- Colin G. Macpherson, Emily J. Forde, Robert Hall dan Matthew F. Thirlwall. (2003). Geochemical Evolution of Magmatism In An Arc-Arc Collision: The Halmahera and Sangihe Arcs, Eastern Indonesia.
- Daryono. (2015), Catatan Sejarah Gempabumi Dan Tsunami Maluku Utara. (<http://rumahpengetahuan.web.id/lempeng-tektunik-di-kawasan-maluku-aktif-tinggi>, diakses tanggal 21 agustus 2017)
- Database Repositori gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG): (<http://repogempa.bmkg.go.id/qu> ery.php, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- Database gempabumi GeoForschungsZentrum (GFZ): (<http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/form.php>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- ERI - Seismicity Analysis System (earthquake catalog). (<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/db/harvard>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- Meilano Irwan (2014). Gempa Halmahera. Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung, (<http://rumahpengetahuan.web.id/gempa-halmahera>, diakses tanggal 21 agustus 2017)
- Natawidjaja, D.H. (2007), Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Sumber Gempa dan Tsunami, Geoteknologi-LIPI, Laporan Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami, RISTEK, 20-24 Agustus 2007.
- Shiddiq, H.A., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., Ramdhan, M., Wandono, Sutiyono, Handayani, T. (2015), Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters, The 9th International Workshop on Statistical Seismology Potsdam, Germany, 14 – 18 June 2015.
- Yudhicara (2014). Zona Kegempaan Maluku Sangat Kompleks. (<http://rumahpengetahuan.web.id/zona-kegempaan-maluku-sangat-kompleks/>), diakses tanggal 21 agustus 2017).