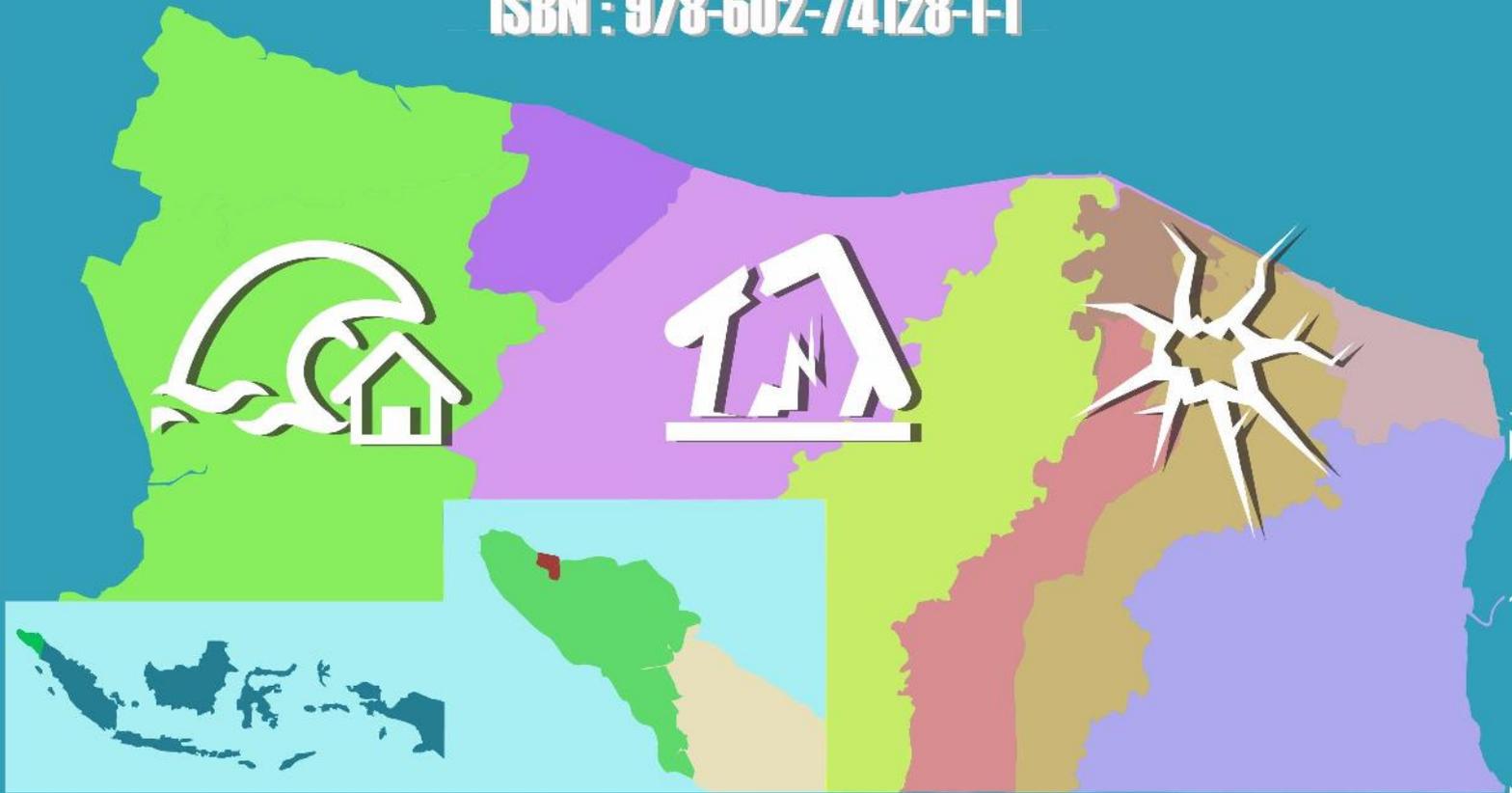


SEMINAR NASIONAL **KOTA SADAR BENCANA** **PROSIDING**

ISBN : 978-602-74128-1-1



BANDA ACEH **11 APRIL 2017**

**FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SYIAH KUALA
LABORATORIUM PERENCANAAN DAN PERANCANGAN KOTA
PROGRAM STUDI PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA
JURUSAN ARSITEKTUR DAN PERENCANAAN**

PANITIA PENYELENGGARA :



**IKATAN
ARSITEK
INDONESIA
ACEH**

PROSIDING
KOTA SADAR BENCANA

Judul Asli:

KOTA SADAR BENCANA

Hak Cipta 2017 dalam bahasa Indonesia

Editor:

Husnus Sawab

Azrul Sidiq

Desain Sampul:

Fakhry Perdana

Buku ini diset oleh

Lab. Perencanaan dan Perancangan Kota dan Lab. Desain dan Model Struktur

Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah

Dengan Microsoft Office 2010 – Arial 11 pt

228 halaman

Cetakan Pertama, April 2017

ISBN: 978-602-74128-1-1

Diterbitkan Oleh

Lab. Perencanaan dan Perancangan Kota

Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah

Dilarang mengutip sebagian ataupun seluruh buku ini serta menjual belikannya tanpa izin tertulis dari Lab. Perencanaan dan Perancangan Kota Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah

@ Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Prosiding
Seminar Nasional Kota Sadar Bencana
11 April 2017
Banda Aceh, Indonesia

Steering Committe:
Ir. Azhar A Arif, MT
Ir. Mirza Irwansyah, MBA. MLA. PhD
Ir. Izziah, MSc. PhD
Dr. Ashfa, ST. MT

Direview oleh:
Dr. Abdul Munir, ST. MT
Dr. Mirza Fuady, ST. MT
Dr. Cut Dewi, ST. M.Sc

Disunting oleh:
Husnus Sawab, ST. MT
Asrul Sidiq, ST. MSc

Desain Sampul oleh:
Fakhry Perdana

Diterbitkan Oleh:
LABORATORIUM PERENCANAAN DAN PERANCANGAN KOTA
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan
Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Darussalam, Banda Aceh 23111
HP: +62811684801
Email: azhar_aarif@yahoo.com

DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar	i
Kata Sambutan	ii
Daftar Isi	iii
ANALISIS PENGGUNAAN LAHAN BERDASARKAN RENCANA TATA RUANG WILAYAH 2009-2029 PADA KAWASAN BENCANA TSUNAMI KOTA BANDA ACEH Fenny¹⁾, Mirza Irwansyah²⁾, Nizamuddin³⁾	1 - 9
1) Magister Ilmu Kebencanaan Program Pascasarjana Universitas Syiah Kuala	
2) Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala	
3) Fakultas MIPA Universitas Syiah Kuala	
ANALISIS KONSISTENSI PROSES LELANG JASA KONSTRUKSI PADA PROYEK PENANGGULANGAN BENCANA ALAM DI SULAWESI TENGAH Tutang Muhtar	10 – 23
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu - Sulawesi Tengah	
PERAN KEARIFAN LOKAL DALAM PERENCANAAN TATA RUANG KOTA SADAR BENCANA DI INDONESIA Elysa Wulandari, Muhammad Haiqal	24 – 30
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah	
ALTERNATIF HUTAN BAKAU UNTUK PERLINDUNGAN DAERAH PESISIR Cut Azmah Fithri	31 – 36
Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh – Lhokseumawe	
PENGARUH BENTUK MASJID SATU LANTAI TERHADAP TINGKAT KERUSAKAN AKIBAT GEMPA DI PIDIE JAYA Burhan Nasution, Sofyan	37 – 44
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah	
TSUNAMIFRONT CITY (Sebuah Gagasan Kota Sadar Tsunami) Halis Agussaini	45 – 51
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah	
SUSTAINABILITY IN POST-DISASTER RECONSTRUCTION Laina Hilma Sari, Siti Zulfa Yuzni	52 – 58
Architecture and Planning Department, Syiah Kuala university	
KAJIAN PERBAIKAN KERUSAKAN STRUKTUR GEDUNG PALANG MERAH INDONESIA CABANG ACEH BARAT AKIBAT GEMPA BUMI Sofyan, Burhan Nasution	59 – 68
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah	
KONSEP PENGEMBANGAN KOTA SADAR BENCANA DI INDONESIA Bustari dan Elysa Wulandari	69 – 75
Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah	

EVALUASI KECUKUPAN RUANG TERBUKA HIJAU KOTA BANDA ACEH PASCA BENCANA Mirza Fuady <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah</i>	76 - 86
TIPOLOGI RUMAH DI KELURAHAN TOGAFO KOTA TERNATE YANG BERADA PADA KAWASAN RAWAN BENCANA GUNUNG API GAMALAMA Firdawaty Marasabessy¹, Edward Rizky Ahadian², M. Adil Husen¹ ¹ <i>Program Studi Arsitektur, Universitas Khairun</i> ² <i>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun</i>	87 – 95
IDENTIFIKASI KARAKTER ELEMEN FAÇADE BANGUNAN KUNO DIKAWASAN HERITAGE PEUNAYONG DAN RESPON MASYARAKAT TERHADAP UPAYA SOSIALISASI OLEH PEMERINTAH Ardian Ariatsyah <i>Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala</i>	96 – 102
UPAYA KONSERVASI UNTUK PELESTARIAN KAWASAN WAT ARUN SEBAGAI LANDMARK KOTA BANGKOK Nasrullah Ridwan <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah - Banda Aceh</i>	103 – 111
KONSEP RUANG TERBUKA BERBASIS MITIGASI BENCANA DI KECAMATAN MEURAXA KOTA BANDA ACEH Azhar Abdullah Arif¹, Donny Arief Sumarto² ¹ <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan, FT Universitas Syiah Kuala</i> ² <i>Program Studi Arsitektur, Universitas Ubudiyah Indonesia</i>	112 – 120
PERMODELAN JALUR RUPTURE DAN TSUNAMI DALAM UPAYA MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI (STUDI KASUS GEMPA JEPANG 11 MARET 2011 PUKUL 05.46 UTC) Deassy Siska, Nova Purnama Lisa <i>Universitas malikussaleh</i>	121 – 130
TSUNAMI ESCAPE BUILDING SEBAGAI PERWUJUDAN PENERAPAN FUNGSI MENURUT GEOFFREY BROADBENT Armelia Dafrina <i>Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh</i>	131 – 138
PENGARUH INTRUSI AIR LAUT AKIBAT TSUNAMI TERHADAP PRODUKTIVITAS PADI SAWAH DI DAERAH IRIGASI (D.I) KRUENG GEUPU, KECAMATAN LEUPUNG, KABUPATEN ACEH BESAR Susi Chairani <i>Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Unsyiah</i>	139 – 148
KINERJA RELAWAN BENCANA ACEH YANG BERAFILIASI PADA ORGANISASI NON PROFIT Elida Syahriati <i>Fakultas Kedokteran, Universitas Syiah Kuala</i>	149 – 155
PEMBANGUNAN KOTA DAN BANGUNAN BERSEJARAH PASCA- BENCANA: SEBUAH TELAAH KRITIS Cut Dewi <i>Staff Pengajar di Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Peneliti di Pusat Penelitian Ilmu Sosial dan Budaya (PPISB) Unsyiah</i>	156 – 165

<p>ANALYZING HAZARD RISK AREA USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) TOOLS: A Planning Scheme Project in Noosa Council Queensland Australia Related to Bushfire Hazard Evalina Z., ST, MURP. <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Universitas Syiah Kuala</i></p>	166 - 170
<p>PENDEKATAN NORMA DI DALAM KEHIDUPAN BERMASYARAKAT PADA PENCEGAHAN DAN MITIGASI BENCANA TSUNAMI Era Nopera Rauzi <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Unsyiah</i></p>	171 – 181
<p>PENILAIAN KENYAMANAN RUANG KULIAH UMUM UNSYIAH Muslimsyah <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah</i></p>	182 – 189
<p>EVALUASI KINERJA TERMAL HUNIAN PADA RUMAH BANTUAN TSUNAMI PADA BULAN-BULAN PANAS Husnus Sawab, Teuku Ivan <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah</i></p>	190 – 195
<p>THE HERITAGE AREA REVITALIZATION EFFORTS PEUNAYONG BANDA ACEH Muftiadi <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah</i></p>	196 – 206
<p>FAKTOR LAYAK HUNI DAN KESIAPAN PENGHUNI TERHADAP BENCANA DI RUMAH SUSUN KEUDAH, BANDA ACEH Zahriah, Siti Zulfa Yuzni, Husnus Sawab <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan FT Unsyiah</i></p>	207 – 215
<p>KAJIAN ELEMEN PEMBENTUK CITRA KAWASAN WISATA TSUNAMI ULEE LHEUE Zainuddin, Mirza Mahmud, Irzaidi <i>Jurusan Arsitektur dan Perencanaan Fakultas Teknik Unsyiah</i></p>	216 – 228

PERMODELAN JALUR RUPTURE DAN TSUNAMI DALAM UPAYA MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI (STUDI KASUS GEMPA JEPANG 11 MARET 2011 PUKUL 05.46 UTC)

Deassy Siska¹, Nova Purnama Lisa²

Universitas malikussaleh

Email: deassy@ymail.com¹, novapurnama@unimal.ac.id²

ABSTRAK

Bencana tsunami terbesar melanda Aceh Desember 2004 silam. Hampir 13 tahun sudah bencana besar ini tetap terekam dalam ingatan dengan ribuan korban jiwa dan miliaran kerugian harta benda. Peristiwa ini dan kejadian gempa lainnya seperti gempa Jogja 2006 dan gempa Flores 1992, kini kita kenang kembali. Selain itu, Bencana dahsyat yang terjadi di Jepang Jumat 11 Maret 2011 telah menggemparkan dunia dan tentunya seluruh penduduk Jepang. Peristiwa bencana alam paling besar yang terjadi pertama kali dalam sejarah Jepang, merupakan bencana bersusulan dari mulai bencana gempa dan tsunami. Peristiwa gempa yang terakhir lainnya di Aceh tepatnya di Pidie Jaya adalah Pada tanggal 7 Desember 2016 telah terjadi gempabumi dengan kekuatan 6.5 Mw yang epicenternya berada di 5.281°N dan 96.108°E (Sumber USGS) dengan kedalaman pusat gempabumi diperkirakan berada di sekitar 8.7 km. *Rupture* adalah rekahan gempa bumi yang sudah terpola dan muncul pada saat terjadinya gempa. Jalur *rupture* ini memiliki struktur tanah yang cenderung tidak stabil bila dibandingkan dengan kawasan lainnya diluar area rekahan. Dengan menganalisa jalur *rupture*, maka perencanaan perumahan dan permukiman dengan struktur bangunan tahan gempa diharapkan dapat lebih terfokus pada wilayah yang diperkirakan memiliki struktur tanah yang tidak stabil dan berpotensi terjadi hentakan serta *rupture* yang besar. Sehingga lebih tepat sasaran dan dapat meminimalisir kerusakan bangunan dan korban jiwa pada saat terjadinya gempa bumi. Penelitian ini dilakukan di laboratorium geofisika UGM pada tahun 2012. Penelitian ini mengambil data sekunder sinyal seismogram dari beberapa posisi seismograf di stasiun BMKG Sumatera Barat pada tanggal 11 Maret 2011. Melalui analisa seismic, sinyal seismogram ini di olah dengan software geopsy yang dipadukan dengan peta digital sehingga menghasilkan permodelan *rupture* dan tsunami.

Kata Kunci : *Rupture, gempa bumi tektonik, jalur rekahan gempa, tsunami.*

PENDAHULUAN

Jepang diapit oleh 4 lempeng yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, Filipina dan Amerika Utara. Di bagian Selatan, lempeng Filipina bergerak menghunjam lempeng Eurasia yang memotong Pulau Honshu di daerah Kansai. Bagian tengah dan Utara merupakan Lempeng Amerika Utara yang bergerak juga bergerak kearah Lempeng Eurasia, dimana lempeng Amerika Utara pun dihunjam oleh Lempeng Pasifik. Hal ini menjadikan Jepang memiliki frekuensi gempa yang termasuk paling tinggi di dunia.

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak diantara beberapa patahan lempeng besar benua yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Filipina di sebelah utara, lempeng Australia di bagian selatan, dan lempeng Pasifik di bagian timur kepulauan. Hal ini mengakibatkan Indonesia menjadi salah satu kawasan dengan zona seismic tertinggi di dunia. Gempa bumi adalah peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba didalam kerak bumi yang mengakibatkan getaran di permukaan tanah. Getaran tersebut menjalar ke segala arah sebagai

gelombang seismik yang merambat dari pusat gempa melalui bagian dalam hingga ke permukaan bumi. Perambatan gelombang seismik dari pusat gempa ke stasiun pengamatan ditangkap pada sebuah alat yang dinamakan seismometer. Seismometer merekam gerakan tanah akibat gempa bumi dan rekaman datanya disebut dengan seismogram. Seismogram ini dapat digunakan untuk menentukan parameter gempa bumi, diantaranya waktu kejadian gempa, kedalaman hiposenter, posisi episenter, intensitas dan kekuatan gempa bumi. Secara umum gempabumi seringkali berdampak pada rekah dan patahnya permukaan bumi yang secara regional dikenal sebagai deformasi kerakbumi. Deformasi kerakbumi dapat mengakibatkan permukaan daratan rekah dan terpatahkan hingga mencapai areal yang sangat luas. Salah satu bukti nyata terjadinya rekahan (ground rupture) adalah di kota Los Angeles dengan nama rekahannya San Andreas. Disana terlihat rekahan panjang pada jalur patahan. Rekahan panjang ini disebabkan oleh gempa yang terjadi pada bulan Februari tahun 1976 pada areal seluas 12.000 km² yang terletak di jalur patahan San Andreas, 65 km di sebelah utara kota Los Angeles. Jalur rekahan ini terjadi karena mengalami pengangkatan (uplifted) oleh pergeseran sesar San Andreas. Contoh lain dari deformasi kerakbumi ini adalah gempa bumi yang terjadi pada tahun 1964 di Alaska yang menghasilkan suatu rekahan dan patahan serta deformasi batuan seluas 260.000 km² yang terdiri dari dataran pantai dan dasar laut secara lokal terangkat setinggi 2 meter dan secara regional mencapai 16 meter. Runtuhnya tanah akibat rekahan gempa ini dapat berdampak pada bangunan dan sarana permukiman.

Potensi bencana gempabumi dan tsunami di Indonesia Indonesia, karena terletak pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik bumi yang sangat aktif, merupakan wilayah sangat rawan terhadap gempa-gempa tektonik. Sebagian sumber gempa buminya berada di bawah laut sehingga berpotensi tsunami. Daerah dengan potensi gempa tinggi ini dapat dikaji dengan beberapa metoda, utamanya: metoda geologi (paleoseismik, paleogeodesi), seismik, dan geodesi (GPS). Studi paleoseismik dan paleogeodesi dapat menguak sejarah siklus gempabumi di suatu wilayah selama ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga kita dapat mengetahui status suatu sumber gempabumi besar dalam siklusnya. Dari data seismik kita dapat mengetahui dimana terdapat "seismic gap" yang artinya wilayah yang sepi gempa dalam angka waktu cukup lama tetapi mungkin sudah mengakumulasi energi regangan yang sangat besar. Data GPS (Global Positioning System) memberikan indikasi langsung apakah suatu zona patahan terkunci (= "locked zone") atau berpotensi seismik atau tidak. Sumatra Lempeng Hindia-Australia menunjam dengan kecepatan sekitar 50 sampai dengan 70 mm/tahun di sepanjang palung Sunda (Sumatra-Jawa-NTT) yang merupakan zona subduksi. Potensi gempa "megathrust" dari zona subduksi bervariasi di sepanjang jalur tergantung dari segmentasi patahan dan besarnya wilayah yang terkunci ("locked zone"), dan juga sejarah siklus gempanya. Tiga parameter ini menentukan dimana terdapat banyak akumulasi energi regangan (tektonik) yang dapat menghasilkan gempa besar di kemudian hari.

Rupture/rekahan Pada saat terjadinya gempa tektonik, adalah suatu hentakan pada hiposenter yang mengalirkan gelombang seismik secara sirkular yang menyebar ke segala arah. Penyebaran gelombang seismik ini akan menyebabkan terjadinya robekan-robekan kecil pada kerak bumi dibawah permukaan sepanjang bidang robekan. Robekan kecil inilah yang dinamakan dengan rupture/rekahan. Pada bidang patahan, rekahan baru akan terlihat setelah deformasi batuan bergeser. Pada saat pergeseran deformasi batuan diantara kedua lempeng tersebut, maka terjadilah robekan-robekan disepanjang

bidang patahan. Robekan ini terjadi karena struktur batuan yang kaku dan tidak elastis. Dibawah ini adalah beberapa contoh *rupture* yang terjadi pada saat gempa bumi berlangsung.



Gambar 1 Rekahan gempa disepanjang bidang patahan di wilayah Arab Saudi sepanjang 8 km akibat gempa tanggal 19 Mei 2009 (<http://www.livescience.com/29710-unexpected-volcanic-activity-saudi-arabia.html>)



Gambar 2. Rekahan gempa San Andreas di California.



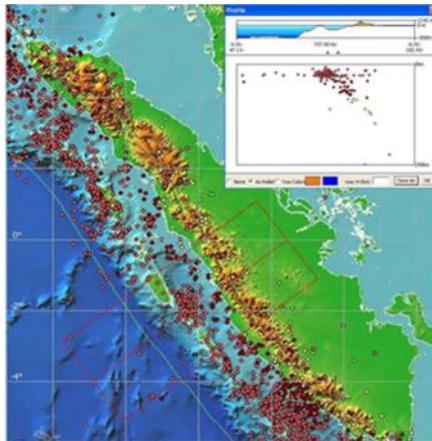
Gambar 3 Jalur rekahan gempa yang terlihat di perkebunan Canterbury New Zealand akibat gempa Darfield yang terjadi pada tanggal 4 Sep 2010



Gambar 4. Rupture gempa bumi 7 Desember 2016 di Pidie jaya, Aceh. (<https://www.theweathernetwork.com/us/news/articles/indonesia-earthquake-leaves-scores-dead-many-injured/75641/>).

Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam berada dalam wilayah rawan gempabumi. Jumlah kejadian gempabumi cukup tinggi rata-rata 13 kali per bulan untuk gempabumi berkekuatan di atas 4 SR (BMKG Aceh, 2011). Dari catatan terjadinya gempabumi tektonik sejak tahun 1900 sampai dengan 2010 sekitar 95% sumber gempa berada di bawah Samudra Hindia (BMKG Aceh, 2010). Dengan jarak yang relatif lebih dekat ke arah sumber gempabumi, wilayah pantai merupakan zona yang lebih besar kemungkinan menerima energi gempabumi dan akan berimplikasi pada kerusakan yang lebih besar dibandingkan dengan daratan yang menuju ke arah timur. Dari peta sebaran pusat gempabumi di Pulau Sumatra dari tahun 2000 sampai dengan 2010 (lihat

Gambar 5) ada kecenderungan konsentrasi pusat gempa bumi lebih banyak di wilayah lepas pantai.

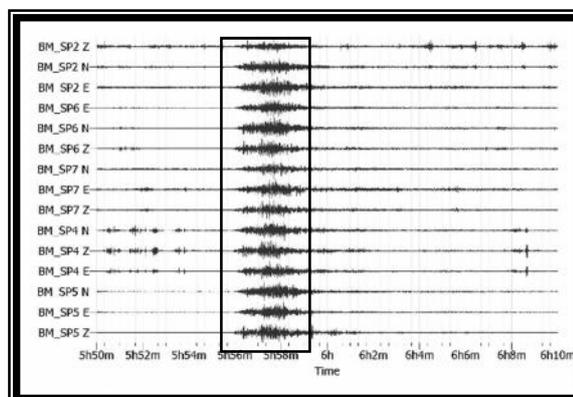


Gambar 5. Sebaran pusat gempa bumi di P. Sumatra dari Tahun 2000 sampai 2010 (USGS, 2010)

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk *event* gempa pada tanggal 11 Maret 2011 dari stasiun Geofisika Padang, Sumatera Barat, dengan sumber gempa bumi Tohoku, Jepang pada pukul 05:46 UTC (pukul 14:46 waktu setempat), kedalaman 24 km, magnitudo M_w 9.0. Data parameter sumber didapat dari situs web USGS (<http://earthquake.usgs.gov>). Perangkat lunak yang digunakan adalah:

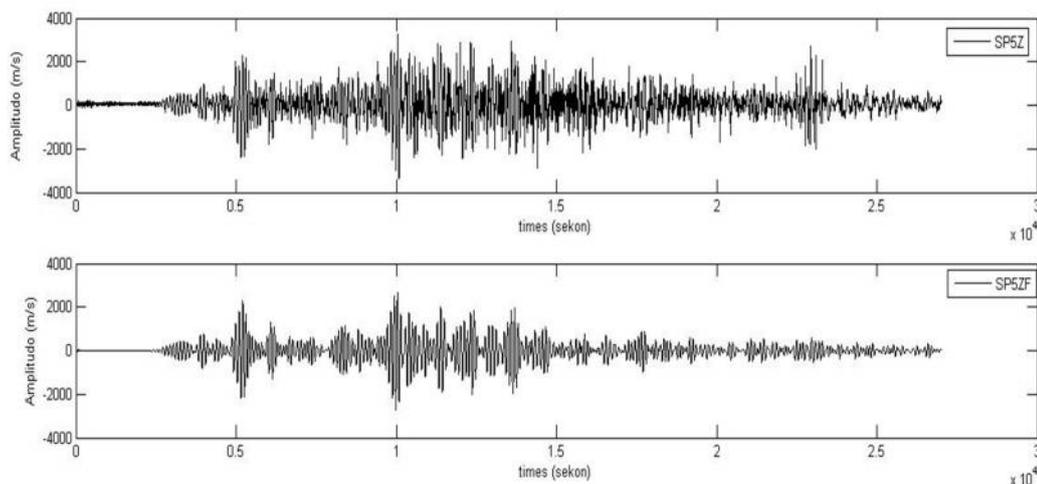
- **Geopsy**: perangkat lunak yang digunakan untuk menampilkan bentuk gelombang dan pengolahan sinyal dalam bidang seismologi dan geofisika.
- **Warangps**: digunakan untuk menganalisis bentuk *Array Response Function* dari posisi stasiun array.
- **Matlab 7 (2010)**
- **SeisGram2k**: digunakan untuk *picking* waktu tiba gelombang *P* dan gelombang *spada* sinyal gempa 11 maret 2011 yang berpusat di Tohoku, Jepang.
- **Google Earth dan ArcGis**, digunakan untuk membuat peta arah dan jalur rekahan gempa.



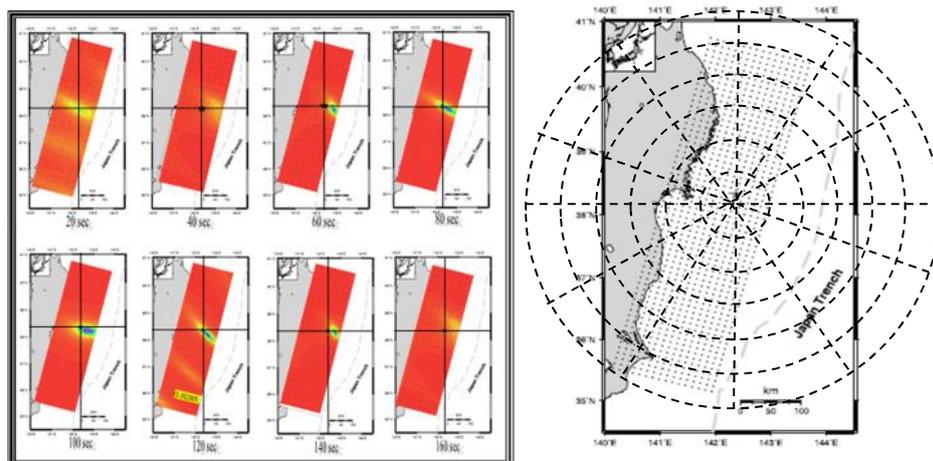
Gambar 6. Sebaran pusat gempa bumi di P. Sumatra dari Tahun 2000 sampai 2010 (USGS, 2010)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gelombang seismik yang dibangkitkan oleh gempa Tohoku 2011 terekam oleh jaringan seismometer seluruh dunia. Perubahan muka bumi secara vertikal maupun horizontal terekam di stasiun Global Positioning System (GPS) kontinu yang sangat padat yang berada di seluruh Jepang (GEONET). Satelit dengan sensor SAR seperti ALOS/PALSAR merekam perubahan muka bumi relatif terhadap arah pandang satelit. Getaran pergerakan permukaan bumi yang dikarenakan oleh gempa terekam oleh jaringan stasiun yang dikoordinir oleh Center for Engineering Strong Motion Data (CESMD). Tsunami yang dibangkitkan oleh gempa menjaral ke seluruh penjuru samudra pasifik, penjalaran tsunami ini terekam di stasiun pengamatan muka air yang dikelola oleh beberapa lembaga (NOAA, JMA, JAMSTEC). Keseluruh data yang terekam ini dapat digunakan untuk mengestimasi model sumber gempa Tohoku 2011.



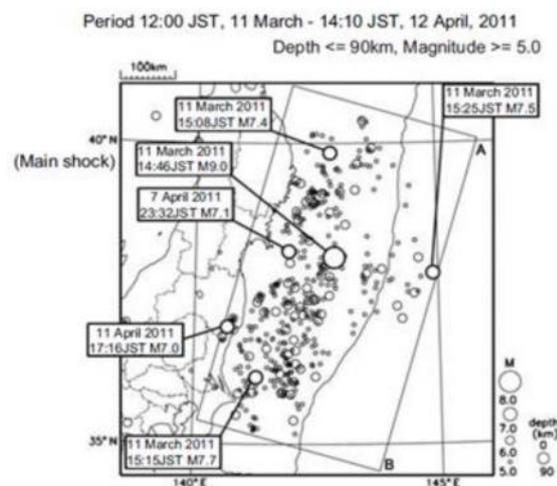
Gambar 7. Sinyal Seismogram pada stasiun SP5 untuk event gempa pada pukul 05.46 UTC (atas). Sinyal seismogram pada stasiun SP5 untuk event gempa pada pukul 05.46 UTC yang telah melalui tahapan filtering band pass 0,6 Hz – 1,3 Hz untuk event gempa 11 maret 2011 pukul 05.46 UTC (bawah).



Gambar 8. Arah rekahan energi maksimum gempa bumi Tohoku, Jepang (11 Maret 2011; 05.46.24 UTC; 142.372° BT; 38.297° LS; M_w 9,0) berawal dari $225,4^{\circ}$ timur laut episentrum menuju $220,3^{\circ}$ tenggara episentrum.

Runtutan gerakan rekahan gempa pada tanggal 11 Maret 2011 di Tohoku, Jepang menunjukkan arah yang signifikan menuju tenggara episentrum atau mendekati daerah palung laut yang kapasitas airnya sangat banyak sehingga terjadi perbedaan dasar laut di perbatasan lempeng antara lempeng Pasifik dan lempeng Amerika Utara. Terjadinya perubahan ketinggian dasar laut ini disebabkan energi gempa yang sangat besar sehingga terjadi sobekan di daerah sekitar patahan palung laut Jepang. Perubahan ketinggian dasar laut ini yang mengakibatkan melonjaknya jumlah air yang terhempas ke arah pantai yang disebut tsunami, karena hampasan air sangat besar, sehingga hampir seluruh daratan kepulauan Jepang terkena tsunami hebat. Tsunami inilah yang mengakibatkan jatuhnya ribuan korban jiwa serta rusaknya berbagai fasilitas infrastruktur serta yang terhebat adalah hancurnya reaktor nuklir Jepang.

Japan Meteorological Agency (JMA) mendistribusikan data hasil pengamatan berupa posisi pusat gempa dan sebaran gempa susulan dan intensitas gempa (Gambar 9) yang disebabkan oleh gempa 11 Maret 2011. Sebaran gempa susulan berada dalam area yang cukup luas yaitu dengan panjang sekitar 650 km dan lebar sekitar 400 km (termasuk *outer-rise*). Peta intensitas menunjukkan bahwa daerah yang diguncang gempa dengan intensitas di atas 6 (skala JMA) mencakup kawasan-kawasan Miyagi, Fukushima, Ibaraki, dan Tochigi.



Gambar 9. Peta lokasi pusat gempa dan distribusi gempa susulan kejadian tahun 2011 (JMA).

Model Sumber Gempa dan Tsunami

Saat ini sudah terdapat banyak model sumber gempa Tohoku 2011 yang diestimasi dengan menggunakan data-data seismologi, geodetik, dan/atau tsunami. Meskipun model-model ini secara detail ada perbedaan, tetapi secara garis besar dapat diperoleh kesamaan antara satu dengan yang lainnya. Disini akan diperlihatkan secara singkat mengenai model-model sumber gempa yang ada untuk kejadian gempa ini dengan menggunakan jenis data yang berbeda-beda. Berikut ini adalah beberapa hasil estimasi model sumber gempa 2011.

Model sumber gempa memerlukan waktu untuk diestimasi yang lebih lama dibandingkan dengan determinasi pusat gempa dan kekuatan gempa yang

dikeluarkan oleh JMA maupun USGS. Dengan menggunakan data yang lebih banyak maka model sumber gempa dapat memberikan proses gempa yang lebih teliti dibandingkan dengan determinasi pusat gempa dan kekuatan gempa dengan menggunakan gelombang seismik.

Model sumber gempa oleh USGS

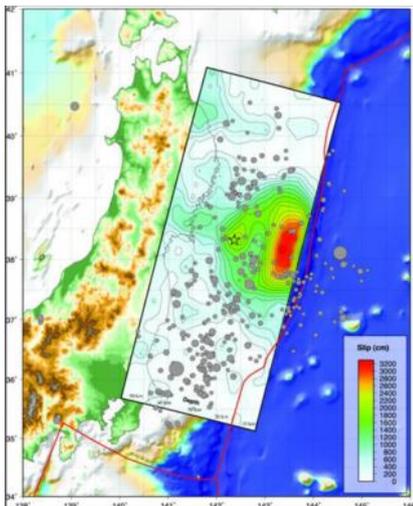
Model *finite fault* dari USGS menggunakan gelombang P, dan gelombang perioda panjang dari gelombang permukaan (*long period surface wave*). Model sumber gempa hasil inversi gelombang seismik ini ditunjukkan berupa seberapa besar bidang antar muka lempeng bergerak (slip) dikarenakan oleh gempa. Dalam model yang diestimasi oleh USGS memiliki nilai slip yang paling besar sebesar 33 meter di lokasi yang sangat dekat dengan palung Jepang (Error! Reference source not found.2.7).

Model ini menggunakan sudut strike 195° dan kemiringan dip 10° untuk memperoleh tingkat kecocokan terhadap data yang bagus. Momen seismik yang dilepaskan oleh gempa dengan model ini diestimasi sebesar $4,9 \times 10^{22}$ N.m yang setara dengan Mw 9,0.

Model sumber gempa oleh Yagi (2011)

Yagi (2011) memberikan estimasi model sumber gempa dengan menggunakan data seismik. Dalam model ini nilai slip maksimum sebesar 25 meter yang berada hampir tepat di hiposenter gempa yang berposisi di $38,103$ LU dan $142,860$ BT dan kedalaman 26 km. Dalam model ini ditunjukkan bagaimana perambatan slip ini terjadi disetiap interval waktu 1 detik. Perambatan gempa berawal dari pusat gempa kemudian ke arah palung Jepang kemudian ke arah selatan pusat gempa.

Model ini menggunakan sudut strike 200° , kemiringan dip 13° , dan arah slip 83° . Momen seismik yang dilepaskan oleh gempa dengan model ini diestimasi sebesar $4,5 \times 10^{22}$ N.m yang setara dengan Mw 9,0. Secara garis besar model gempa ini dapat menjelaskan gelombang seismik yang terekam.



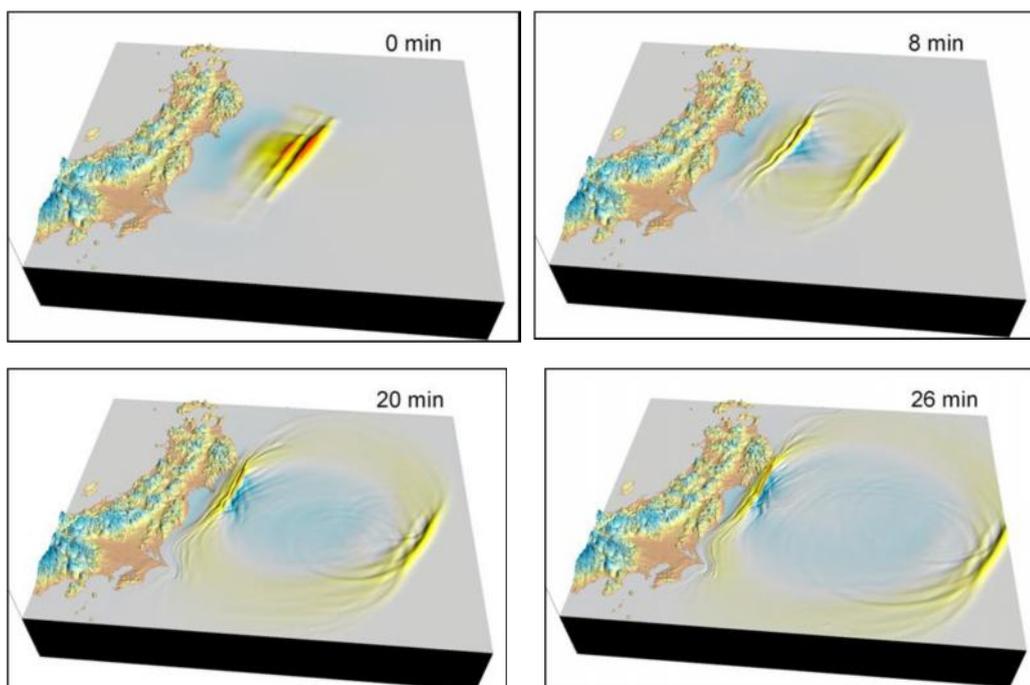
Gambar 10. Distribusi slip untuk gempa Tohoku 2011. Latar belakang adalah batimetri, bintang merepresentasikan pusat gempa ($38,32^\circ$ LU dan $142,37^\circ$ BT), lingkaran abu-abu merepresentasikan gempa susulan, dan garis merah merupakan batas lempeng tektonik (USGS).

Model penjaran dan rendaman tsunami

Dengan menggunakan model sumber gempa dapat dihitung perubahan dasar laut dan perubahan permukaan laut yang diakibatkan oleh gempa tersebut. Kemudian perubahan permukaan laut ini dapat dijadikan masukan untuk model penjaran dan rendaman tsunami. Disini digunakan model sumber gempa oleh Gusman dan Tanioka (2011) yang telah diimprovisasi untuk

simulasi penjalaran dan rendaman tsunami. Gambar 11 menunjukkan potongan animasi penjalaran gelombang tsunami 2011 dari waktu ke waktu. Dari potongan animasi ini tampak bahwa gelombang tsunami sudah sampai ke daratan setidaknya 20 menit setelah kejadian gempa. Dari animasi penjalaran tsunami dilautan lepas tampak bahwa tsunami merambat dengan kecepatan yang lebih tinggi ketika berada di perairan yang lebih dalam dibandingkan dengan penjalaran di perairan dangkal, tampak bahwa semakin dekat ke darat kedalaman perairan menjadi semakin dangkal.

Model rendaman tsunami dilakukan untuk kawasan landai pesisir Sendai. Berdasarkan rekaman CCTV di bandara udara Sendai tsunami tiba pada pukul 15:57 JST atau sekitar 71 menit setelah gempa terjadi. Model rendaman menunjukkan bahwa tsunami merendam kawasan bandara udara Sendai 72 menit setelah gempa terjadi dengan tinggi sekitar 10 meter dari permukaan laut (Gambar 11). Hal ini menunjukkan bahwa model dapat merekonstruksi waktu tiba gelombang tsunami dengan sangat baik. Maka dari itu pemodelan penjalaran dan rendaman tsunami dengan menggunakan model yang lebih realistis mungkin dapat digunakan sebagai perangkat yang menunjang sistem peringatan dini tsunami jika estimasi sumber model dapat dilakukan dengan waktu yang lebih singkat.



Gambar 11 Potongan animasi penjalaran gelombang tsunami yang dibangkitkan oleh gempa Tohoku 2011. Waktu menunjukkan menit setelah gempa terjadi.

Model sumber gempa yang lebih detail dapat memberikan proses gempa serta sumber pembangkitan tsunami yang lebih akurat. Saat ini, untuk memperoleh model sumber gempa yang detail diperlukan waktu beberapa hari setelah gempa terjadi. Hal ini disebabkan pengolahan data seismik, tsunami, atau geodetik untuk pembuatan model masih belum dapat sepenuhnya dilakukan secara otomatis. Dari sumber pembangkitan tsunami dapat dilakukan model

penjalaran tsunami dan model rendaman tsunami dengan hasil yang mendekati dengan kejadian sebenarnya.

Saat ini sistem peringatan dini berisi informasi waktu tiba dan tiga kategori tinggi tsunami. Peringatan tsunami yang telah disebarakan tidak memuat estimasi mengenai daerah genangan tsunami yang akan dibangkitkan. Ini merupakan beberapa keterbatasan sistem peringatan dini yang ada. Dengan perkembangan teknologi komputasi maka tidak menutup kemungkinan dikemudian hari dapat terbangun sistem peringatan dini tsunami yang lebih handal yang dapat memberikan peringatan tambahan berupa tinggi tsunami yang lebih presisi serta rendaman tsunami di kawasan pesisir.

KESIMPULAN

Runtutan gerakan rekahan gempa pada tanggal 11 Maret 2011 di Tohoku, Jepang menunjukkan arah yang signifikan menuju tenggara episentrum atau mendekati daerah palung laut yang kapasitas massa airnya sangat banyak.

Model sumber gempa yang lebih detail dapat memberikan proses gempa serta sumber pembangkitan tsunami yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammon C. J., (2011), Seismicity animations, fault rupture model, etc. of the great 2011 Tohoku-oki earthquake sequence.
eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/Japan2011EQ/.
- BMKG NAD, (2010), *Sejarah Gempa Bumi NAD dari tahun 2000 – 2010*. BPS, 2008, *Posisi Geografis Provinsi NAD*.
- Gusman A. R. dan Tanioka Y., (2011), The 11 March 2011 off the Pacific coast of Tohoku region earthquake (M 9.0), tsunami waveforms analysis (Part III: 2011/4/18). www.sci.hokudai.ac.jp/isv/ev-news-flash/.
- Hanks T. C. and Kanamori H., (1979), A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, 84, 2348 – 2350.
- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), ALOS/PALSAR Observation Results of the Magnitude-9.0 Earthquake off the Pacific coast of Tohoku-Kanto District in Japan in 2011,
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/img_up/dis_pal_tohokueq_110315.htm.
- Japan Meteorological Agency (JMA),
http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake.html.
- Kulhanek O., (1990), Anatomy of seismograms, *Developments in solid geophysics* 18. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), DART® (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis), <http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>.
- Kruger, F., Ohnberger, M. (2005). *Tracking The Rupture Of The $M_w = 9,3$ Sumatra*

earthquake over 1,150 km at Teleseismic Distance. Vol 435/16 June 2005/doi:10.1038/nature03696. Institute of Geosciences, University of Potsdam, Germany.

Muhari, A., Gusman, AR., Istiyanto, DC., Triawan, F., Febriani, F., Hastiadi, FF., Putri, RF., Wiyono, RUA., Permana, S. (2011). *Belajar dari Bencana Jepang 11.03.2011 Gempabumi – Tsunami – Radiasi Nuklir*. Institute for Science and Technology Studies (ISTECS). Jepang.

Richter C. F., (1935), An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the American Geophysical Union* 33 seismological Society of America, 25, 1-32.

Rost, S., and Thomas, C. (2002). *Array Seismology. Methods and Applications*, Rev. of Geophysics.,40(3).

Satake K., (2007), Tsunamis, in: *Treatise on Geophysics*, 483-511

Tatehata H., (1997), The new tsunami warning system of the Japan Meteorological Agency, in: *Perspectives on tsunami hazards reduction*, 175-188.

United States Geological Survey (USGS), Magnitude 9.0 – near the east coast of Honshu, Japan,
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0001xgp/>.

Yagi Y., (2011), The 2011 Tohoku-oki earthquake (ver. 3).
www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/EQ/Tohoku/index-e.html.