

PROBABILITAS KEJADIAN GEMPABUMI PADA MASA MENDATANG DI ZONA SESAR SUMATRA

Restu Faizah^{*1}, Amrul Wahdi Habib^{*1}, Widodo^{*2}

^{*1} Program Beasiswa Unggulan BPKLN, Magister Teknik Sipil, UII

^{*2} Pengajar Magister Teknik Sipil FTSP UII

Email : resfaiz@yahoo.co.id, amrul_ihsan@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pulau Sumatra merupakan salah satu pulau di Indonesia yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap ancaman gempabumi. Hal itu dikarenakan pada bagian barat pulau Sumatra terdapat zona subduksi yang merupakan pertemuan antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah lempeng Eurasia dengan arah miring sekitar 45° , dan bergerak sekitar 50-70 cm/tahun (Prawirodirjo, et.al, 2000). Kondisi ini menyebabkan terbentuknya Sesar Sumatra dari Selat Sunda sampai dengan Kepulauan Andaman di bagian barat Provinsi Aceh, yang terdiri dari 19 segmen dan panjang total 1900 km (Sieh and Natawidjaya, 2000). Pergerakan lempeng Indo-Australia secara terus menerus telah menyebabkan adanya stress di sepanjang zona subduksi dan menimbulkan ancaman gempabumi pada daerah sekitar Sesar Sumatra. Kejadian gempabumi akibat aktifitas sesar sudah beberapa kali terjadi di Indonesia dan menimbulkan kerusakan, diantaranya adalah Gempa Liwa pada 16 Februari 1994 dan Gempa Solok pada 6 Maret 2007 akibat aktifitas Sesar Sumatra. Dalam penelitian ini dilakukan analisis probabilitas kejadian gempa akibat aktifitas Sesar Sumatra dengan menggunakan metode Conditional Probability. Data kejadian gempa diambil dengan intensitas gempa $M > 4.5$ SR, didasarkan pada intensitas gempa merusak. Hasil analisis menunjukkan bahwa 19 Segmen pada Sesar Sumatra memiliki likelihood of occurrence pada level likely, kemudian terdapat 3 segmen teraktif berturut – turut yaitu Sesar Sunda, Sesar Aceh dan Sesar Tripa.

Kata kunci: ancaman gempabumi, sesar sumatra, probabilitas kejadian.

ABSTRACT

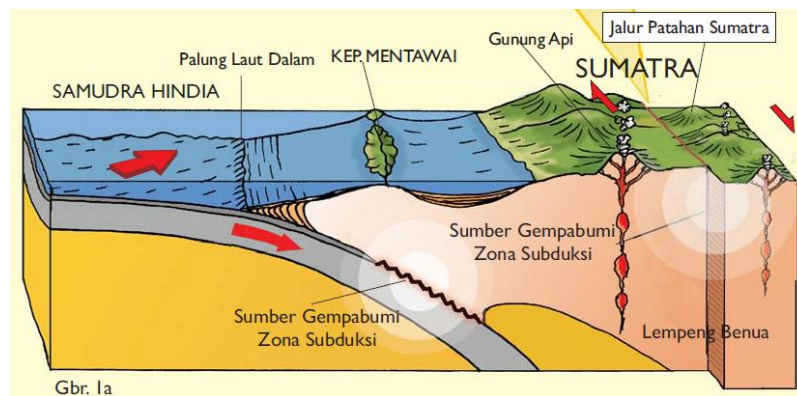
Sumatra Island is an island in Indonesia, that has a severe impact to earthquake hazard. That is because in the western part of the sumatra island have the subduction zones which is a meeting between Indo-Australian plate which is embedded under the Eurasian plate into the direction tilted about 45° , and move around 50-70 cm/year (Prawirodirjo, et.al, 2000). This condition led to the forming of the Sumatra Faults from Sunda Strait to the Andaman Island at the west side of Aceh province. The Sumatra Faults consists of 19 segments and a total length of 1,900 km (Sieh and Natawidjaya, 2000). The movement of Indo-Australian plate has continually caused stress along the subduction zone and also pose earthquake hazard at around Sumatra Faults areas. Earthquake caused by the fault activity has occurred several times in Indonesia and it cause building damages, such as Liwa earthquake on February 16th, 1994 and Solok Earthquake on March 6th, 2007 due to Sumatra Fault activity. In this research, analysis of earthquake probability occurrence caused by the Sumatra Faults activity use the Conditional Probability Method. History of earthquakes taken in this research is of the earthquake intensity with magnitude $M > 4.5$ SR, based on the intensity of the quake damage. The analysis showed that 19 Segment on Sumatra Fault have a likelihood of occurrence Likely level, then there are 3 active segments respectively - were the Sunda Fault, Fault and Fault Tripa in Aceh.

Keywords: earthquake hazard, Sumatra faults, conditonal probability.

PENDAHULUAN

Sesar Sumatra (*Sumatra fault*) membentang sepanjang 1900 km di bagian barat Pulau Sumatra, berawal dari Selat Sunda hingga Kepulauan Andaman di bagian barat Provinsi Aceh (*Sieh and Natawidjaya, 2000*). *Sieh and Natawidjaya (2000)* membagi Sesar Sumatra menjadi 20 segmen, dengan panjang tiap segmen adalah 35 – 200 km, terpisahkan satu dengan lainnya oleh banyak sekali *diskontinuitas* selebar 4 sampai 12 km. Dari teori mekanika gempa, adanya *diskontinuitas* ini mempengaruhi/membatasi besar maksimum gempa yang dapat terjadi (*Harris and Day, 1993*).

Pergerakan sesar sumatra dipicu oleh aktifitas lempeng pada zona subduksi barat Sumatra (lihat Gambar 1), yaitu lempeng *Indo-Australia* yang bergerak menunjam ke bawah lempeng *Eurasia*, sehingga menyebabkan timbulnya tekanan yang mendorong daerah Sumatra ke arah utara. Dorongan tersebut tidak bisa diserap oleh zona Subduksi, tetapi harus di tanggung oleh sebuah jalur patahan yang membentang di sepanjang Bukit Barisan di Pulau Sumatra. (*Natawidjaya, 2007*).



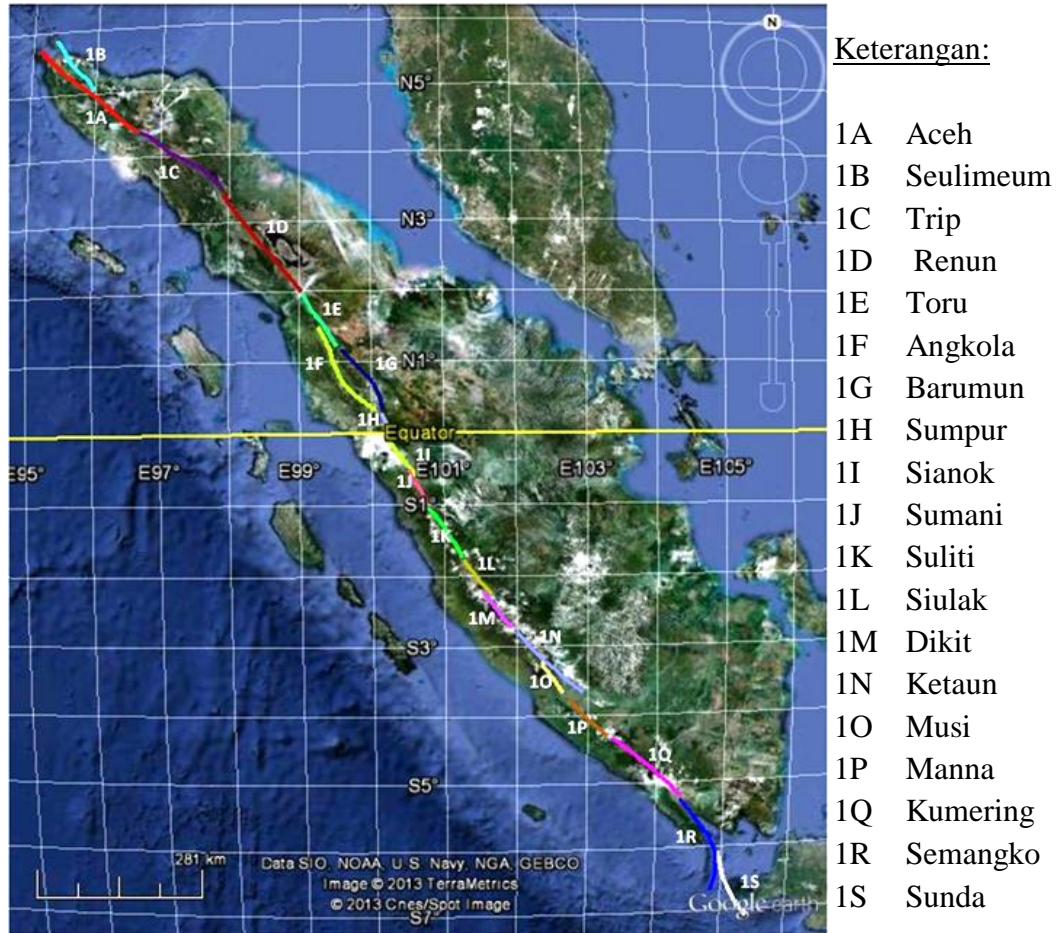
Gambar 1. Pergerakan Lempeng zona subduksi barat Sumatra
(Puslit Geoteknologi LIPI, 2007)

Adapun catatan sejarah yang menunjukkan pergerakan sesar sumatra diantaranya adalah Gempa Liwa pada 16 Februari 1994 dengan kekuatan gempa 6.5 SR. Gempabumi tersebut dipicu oleh pergerakan sesar semanko, yang merupakan salah satu segmen dari sesar Sumatra (*Naryanto, 2007*). Guncangan gempabumi di Liwa menyebabkan korban jiwa 201 orang dan 411 luka berat serta 1871 rumah penduduk rusak total dan 4915 rusak berat. Pada 6 Maret 2007 juga terjadi Gempabumi di Solok, menurut sumber BMKG kekuatan tersebut berkekuatan 5.8 SR dan mengakibatkan korban jiwa sebanyak 72 orang meninggal dan 803 luka-luka, serta mengakibatkan juga kerusakan bangunan di Kota Solok, retakan tanah dan tanah longsor yang tersebar di sepanjang jalan dari Padang – Bukittinggi. (*Supartoyo, 2007*)

Melihat fenomena tersebut, perlu kiranya dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang aktifitas Sesar Sumatra, sebagai bagian dari langkah mitigasi. Informasi tentang aktifitas Sesar Sumatra ini dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam *risk reduction*, sehingga jatuhnya korban jiwa serta kerugian harta benda akibat gempabumi di masa mendatang dapat ditekan sekecil mungkin.

SEGMENTASI SESAR SUMATRA

Menurut *Sieh and Natawidjaya (2000)*, Sesar Sumatra terdiri dari 19 segmen seperti ditunjukkan pada Gambar 2, dengan karakteristik per segmen pada Tabel 1.



Gambar 2. Segmentasi Sesar Sumatra. (*Google earth*)

Tabel 1. Segmentasi Sesar Sumatra dan karakteristiknya
(*Natawidjaya dan Triyoso, 2007*)

No	Section	Index #	Location		Length (km)	Historical Earthquakes	Magnitude		Slip Rate by Geol. mm/yr	Slip Rate by GPS mm/yr
			Y1	Y2			Year (M)	MMax ¹		
1	Sunda	1S	-6.75	-5.9	150	None - but many recent M4-6	7.6	7.7	n/a	n/a
2	Semangko	1R	-5.9	-5.25	65	1908	7.2	7.2	n/a	n/a
3	Kumering	1Q	-5.3	-4.35	150	1933 (Ms=7,5); 1994 (Mw=7,0)	7.6	7.7	n/a	n/a
4	Manna	1P	-4.35	-3.8	85	1893	7.3	7.4	n/a	n/a
5	Musi	1O	-3.65	-3.25	70	1979(Ms=6,6)	7.2	7.3	11	n/a

6	Ketaun	1N	-3.35	-2.75	85	1943 (Ms=7,3); 1952 (Ms=6,8)	7.3	7.4	11	n/a
7	Dikit	1M	-2.5	-2.4	60	no record	7.2	7.2	11	n/a
8	Siulak	1L	-2.25	-1.7	70	1909 (Ms=7,6); 1995 (Mw=7,0)	7.2	7.3	11	23
9	Suliti	1K	-1.75	-1	95	1943(Ms=7,4)	7.4	7.4	11	23 ± 5
10	Sumani	1J	-1	-0.5	60	1943(Ms=7,6); 1926(Ms~7)	7.2	7.2	11	23
11	Sianok	1I	-0.7	0.1	90	1926(Ms~7)	7.3	7.4	11	23 ± 3
12	Sumpur	1H	0	0.3	35	no record	6.9	6.9	n/a	n/a
13	Barumun	1G	0.3	1.2	125	no record	7.5	7.6	n/a	4
14	Angkola	1F	0.3	1.8	160	1892 (Ms=7,7)	7.6	7.7	n/a	19 ± 4
15	Toru	1E	1.2	2	95	1987 (Ms=6,6)	7.4	7.4	n/a	24
16	Renun	1D	2	3.5	220	1916; 1921 (Mb=6,8); 1936 (Ms=7,2)	7.8	7.9	27	26 ± 2
17	Tripa	1C	3.4	4.4	180	1936 (Ms=7,2); 1990 (Ms=6?)	7.7	7.8	n/a	n/a
18	Aceh	1A	4.4	5.4	200	no record	7.7	7.9	n/a	n/a
19	Seulimeum	1B	5	5.9	120	1964 (Ms=6,5)	7.5	7.6	n/a	13

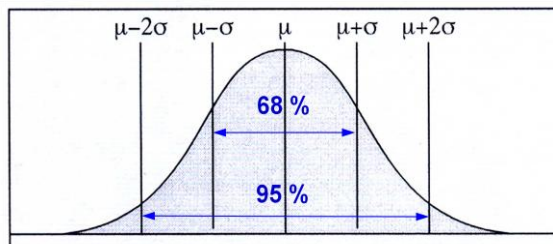
METODE CONDITIONAL PROBABILITY

Conditional Probability dapat didefinisikan sebagai kemungkinan suatu peristiwa yang akan terjadi, dalam kasus ini adalah peristiwa gempabumi yang akan terjadi pada periode waktu tertentu. (WGCEP, 1995)

Conditional Probability dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa aktifitas/kejadian gempabumi di masa yang akan datang mengikuti pola/ritme kejadian pada masa lalu, sehingga keakuratan hasil perhitungan sangat dipengaruhi oleh kelengkapan data gempa pada masa lalu. Interval kejadian gempa diasumsikan mengikuti distribusi normal seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 (WGCEP, 1995), sehingga *normalized value* $N(T)$ dapat dihitung dengan persamaan 1 (Groebner, 2007).

$$N(T) = \frac{T-\mu}{\sigma} \dots\dots\dots (1)$$

T adalah interval kejadian gempa, μ adalah rata-rata, dan σ adalah standar deviasi.



Gambar 3. Distribusi normal (WGCEP, 1995)

Standar deviasi (σ) dapat dihitung dengan persamaan 2. (Makrup, 2007).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana x_i adalah interval ke- i , μ adalah *mean* (rata-rata) interval, dan n adalah jumlah data.

Probabilitas kumulatif dari *normalized value* $N(T)$ dapat diketahui dengan menggunakan table distribusi normal sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2. Selain menggunakan Tabel 2, menurut *Abramowitz* dan *Stegun* dapat didekati dengan persamaan 3. (Makrup, 2007).

$$P(t) = 1 - \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{0.43618}{1 + 0.33267t} - \frac{0.12017}{(1 + 0.33267t)^2} + \frac{0.9373}{(1 + 0.33267t)^3} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana t adalah *normalized value* $N(T)$ yang dihitung dengan persamaan 2, dan e adalah bilangan natural (2,71828).

Tabel 2. Tabel Distribusi Normal (Makrup, 2007)

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.50000	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
0.1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
0.2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61026	.61409
0.3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
0.4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793
0.5	.69146	.69497	.69847	.70194	.70540	.70884	.71226	.71566	.71904	.72240
0.6	.72575	.72907	.73237	.73565	.73891	.74215	.74537	.74857	.75175	.75490
0.7	.75804	.76115	.76424	.76730	.77035	.77337	.77637	.77935	.78230	.78524
0.8	.78814	.79103	.79389	.79673	.79955	.80234	.80511	.80785	.81057	.81327
0.9	.81594	.81859	.82121	.82381	.82639	.82894	.83147	.83398	.83646	.83891
1.0	.84134	.84375	.84614	.84849	.85083	.85314	.85543	.85769	.85993	.86214
1.1	.86433	.86650	.86864	.87076	.87286	.87493	.87698	.87900	.88100	.88298
1.2	.88493	.88686	.88877	.89065	.89251	.89435	.89617	.89796	.89973	.90147
1.3	.90320	.90490	.90658	.90824	.90988	.91149	.91309	.91466	.91621	.91774
1.4	.91924	.92073	.92220	.92364	.92507	.92647	.92785	.92922	.93056	.93189
1.5	.93319	.93448	.93574	.93699	.93822	.93943	.94062	.94179	.94295	.94408
1.6	.94520	.94630	.94738	.94845	.94950	.95053	.95154	.95254	.95352	.95449
1.7	.95543	.95637	.95728	.95818	.95907	.95994	.96080	.96164	.96246	.96327
1.8	.96407	.96485	.96562	.96638	.96712	.96784	.96856	.96926	.96995	.97062
1.9	.97128	.97193	.97257	.97320	.97381	.97441	.97500	.97558	.97615	.97670

Sedangkan probabilitas kejadian gempa pada v -tahun setelah sekarang, dapat dihitung dengan persamaan 4. (WGCEP, 1995).

$$P[v|u] = \frac{P[u]-P[T]}{P[u]} \dots\dots\dots (4)$$

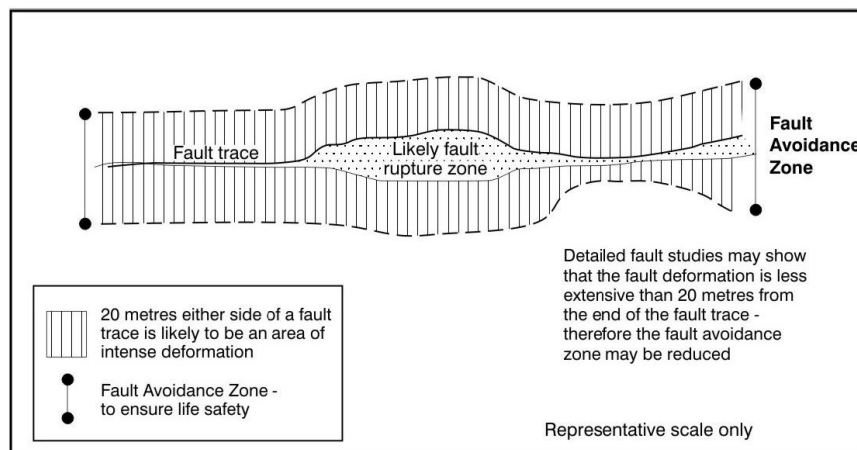
$P[v | u]$ adalah probabilitas kejadian gempa pada v -tahun setelah sekarang, dimana u adalah interval terakhir kejadian gempa hingga sekarang dan T adalah interval kejadian gempa atau $T = u + v$.

Penentuan estimasi kejadian gempa bumi pada masa yang akan datang merupakan bagian dari *seismic hazard assessment*, sehingga perlu pengklasifikasian "*likelihood of occurrence*" terhadap terjadinya gempa bumi yang didasarkan pada fakta-fakta gempa bumi di daerah tersebut, seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Likelihood of Occurrence (Widodo, 2012).

No.	Likelihood of Occurrence	Description
1.	Highly Likely	near 100% probability in the next year
2.	Likely	between 10%-100% probability in the next year, or at least one chance in the next ten years
3.	Possible	between 1%-10% probability in the next year, or at least one chance in the next 100 years
4.	Unlikely	less than 1% probability in the next year, or less than one chance in the next 100 years

Zonasi bahaya (*set-back*) jalur patahan aktif yang sudah diberlakukan di U.S.A dan New Zealand adalah selebar 20 meter di kanan-kiri jalur patahan, ditunjukkan pada Gambar 4. Meskipun demikian, lebar zonasi bahaya ini bisa lebih dipersempit apabila ada studi yang lebih detil yang menunjukkan bahwa resiko bahaya akibat pergerakan patahan aktif tersebut lebih terkonsentrasi pada zona yang lebih sempit. (*Kerr, et.al. 2003*)



Gambar 4. Zonasi bahaya jalur patahan aktif (*Kerr, et.al. 2003*)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada akhir tahun 2012, sehingga yang dimaksud dengan tahun sekarang adalah tahun 2012. Probabilitas ditinjau pada 1 tahun ke depan (2013) dan 10 tahun ke depan (2022).

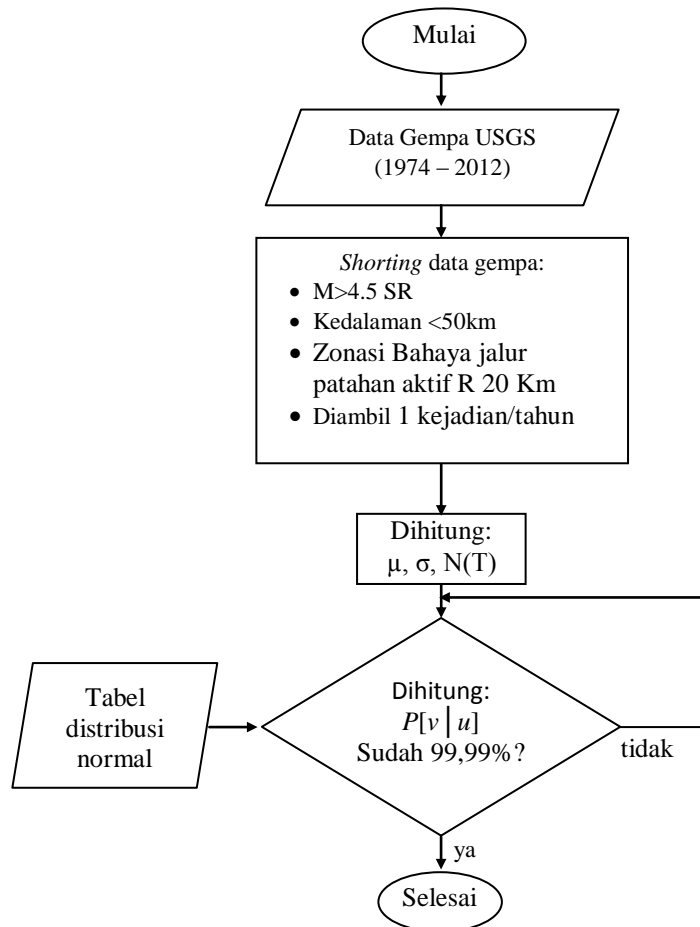
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Conditional Probability*, dengan sumber data kejadian gempa pada masa lalu di sekitar sesar Sumatra, diambil dari <http://www.usgs.gov>, dengan batasan *magnitude* minimal 4.5 *Skala Richter* dan kedalaman kurang dari 50 km. Batasan ditentukan

berdasarkan pertimbangan bahwa gempa bumi signifikan dan merusak antara tahun 1821 – 2009 rata-rata terjadi pada kedalaman kurang dari 50 km dengan *magnitude* minimal 4.5 *Skala Richter*. (BMKG, 2010).

Data gempa kemudian diambil 1 kejadian dalam 1 tahun (*time window*), dipilih kejadian yang memiliki *magnitude* terbesar, kemudian dilakukan analisis dengan metode *Conditional Probability* pada tiap-tiap segmen. Zonasi bahaya jalur patahan aktif (*Fault avoidance zone*) diambil 20 km (*distance window*) sepanjang jalur Sesar Sumatra, dengan mengadopsi metode penentuan zonasi di USA dan New Zealand, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4 .

Hasil analisis kemudian diklasifikasikan untuk melihat *likelihood of occurrence* seperti terdapat pada Tabel 3.

Analisis secara keseluruhan ditampilkan dengan *flow chart* Gambar 5.



Gambar 5. Alur penelitian (*Flow chart*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan *conditional probability* terhadap Sesar Sumatra, diperoleh nilai $P[v | u]$ yaitu probabilitas kejadian gempa pada v -tahun setelah sekarang sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 6.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan tahun dimana $P[v | u]$ mencapai 99.99% pada tiap segmen di zona Sesar Sumatra. Dari 19 segmen tersebut,

ternyata Sesar Sunda merupakan sesar teraktif dengan probabilitas kejadian mencapai 99.99% pada tahun 2017. Peringkat kedua adalah Sesar Aceh pada tahun 2018, disusul peringkat ketiga yaitu Sesar Tripa pada tahun 2022, dan urutan terakhir adalah Sesar Manna pada tahun 2077. Melihat hasil ini, maka analisis lebih di fokuskan kepada Sesar Sunda sebagai sesar teraktif.

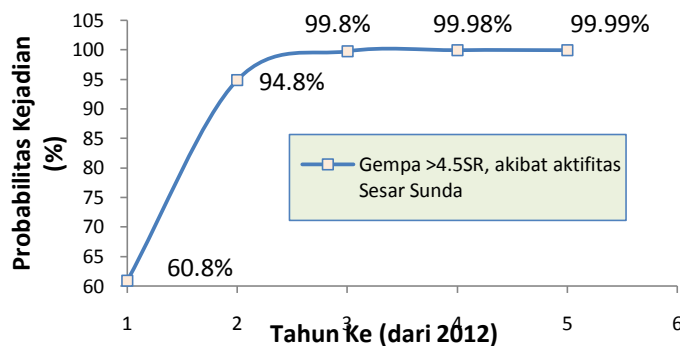
Conditional Probability Sesar Sunda yang dihitung sejak sekarang hingga tercapai probabilitas 99.99% (Gambar 7), menunjukkan bahwa probabilitas kejadian gempa bumi di sekitar Sesar Sunda pada tahun 2013 mencapai 60.8% dan probabilitas 99.99% tercapai pada tahun 2017. Informasi ini dapat diartikan bahwa berdasarkan kejadian gempa masa lalu, diprediksi akan terjadi gempa bumi dengan magnitude >4.5 SR di sekitar Sesar Sunda pada tahun 2017 dengan probabilitas 99.99%. Analisis dengan metode *Conditional Probability* ini termasuk dalam kategori *quantitative hazard analysis*, sehingga hasil prediksi ini akan lebih baik jika diikuti dengan *qualitative hazard analysis* sebelum digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mitigasi bencana gempa bumi di zona Sesar Sumatra.

Tabel 4. *Conditional Probability* Sesar Sumatra

No.	Nama	P(vlu)= 99,99% pada tahun:	tahun ke: (stlh 2012)
1	Sunda	2017	5
2	Aceh	2018	6
3	Tripa	2022	10
4	Angkola	2026	14
5	Toru	2028	16
6	Suliti	2028	16
7	Seulimeum	2030	18
8	Semangko	2030	18
9	Kumering	2033	21
10	Renun	2034	22
11	Barumun	2035	23
12	Siulak	2037	25
13	Sianok	2050	38
14	Sempur	2052	40
15	Dikit	2053	41
16	Sumani	2059	47
17	Ketaun	2059	47
18	Musi	2071	59
19	Manna	2077	65



Gambar 6. Probabilitas tahun kejadian Gempa yang akan datang di sesar sumatra. (Google Earth)



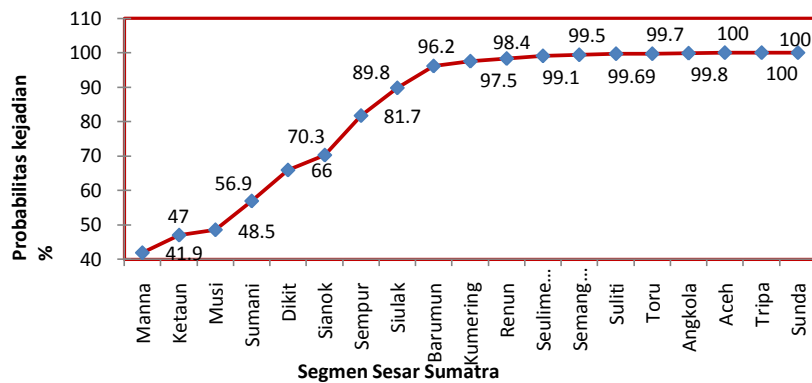
Gambar 7. Conditional Probability Sesar Sunda

Berdasarkan data dari *usgs*, kejadian gempabumi dengan $M > 4.5$ SR pada masa lalu di sekitar jalur Sesar Sunda rata-rata terjadi dengan interval 1.563 tahun, dan gempabumi terakhir terjadi pada tahun 2011. Interval kejadian tersebut menunjukkan periode ulang gempa yang pendek, sehingga sangat besar kemungkinan terjadi gempabumi lagi pada masa yang akan datang. Berbeda dengan kejadian gempa masa lalu di sesar paling tidak aktif (Sesar Manna), interval kejadian gempabumi menunjukkan periode ulang gempa yang lebih lama yaitu 11.33 tahun. Sehingga kemungkinan kejadian gempa di sekitar Sesar Manna pada masa yang akan datang relatif lebih kecil.

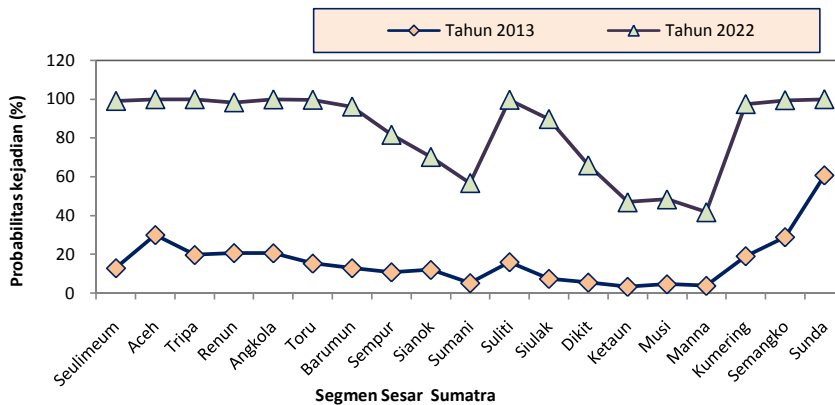
Hasil dari estimasi probabilitas kejadian gempabumi pada sesar sumatra menunjukkan level *likely*, dimana pada tahun 2022 (10 tahun berikutnya)

persentase probabilitas di semua segmen berada pada ring antara 10 % - 100 %, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8. Adapun capaian persentase probabilitas hingga 100 % dalam kurun waktu 10 tahun tersebut terjadi pada 3 segmen yaitu Sesar Sunda , Sesar Aceh dan Sesar Tripa.

Untuk mengetahui pola hubungan antara dua segmen yang berdekatan, dibuat grafik *conditional probability* pada segmen zona Sesar Sumatra, dengan urutan sesuai lokasi, yang ditunjukkan pada Gambar 9. Kurva yang terbentuk, merupakan hasil hitungan pada tahun 2013 dan 2022. Semua kurva menunjukkan bahwa besarnya probabilitas kejadian pada suatu segmen sangat dipengaruhi oleh probabilitas segmen di sebelahnya, hal itu dikarenakan adanya ikatan antara pertemuan dua segmen yang membentuk suatu bidang. Goncangan yang terjadi pada sesar akan ikut menggoyang sesar di sebelahnya, walaupun relatif kecil.



Gambar 8. Probabilitas Kejadian gempa bumi tahun 2022 pada Sesar Sumatra



Gambar 9. Probabilitas kejadian gempa bumi tahun 2013 dan 2022 pada Sesar Sumatra.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Likelihood of occurrence* pada 19 segmen Sesar Sumatra menunjukkan level *likely*.
2. 3 Segmen teraktif pada Sesar Sumatra berturut – turut adalah Sesar Sunda, Sesar Aceh dan Sesar Tripa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih dan apresiasi yang tinggi penulis sampaikan kepada Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri (BPKLN), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas Beasiswa Unggulan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). 2010. Katalog per Wilayah: Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2009, Jakarta.
- Boyd, Oliver S, USGS, Golden KO. 2008. Earthquake Hazard on The Sumatran Fault in Light of The 2004 Sumatra Subduction Zone Earthquake. Prepared for The Computation Infrastructure for Geodynamics Workshop.
- Goggle Earth (2013). Peta Sumatra Indonesia di edit pada Juni 2013.
- Groebner, David F. 2007. Introduction to Continuous Probability Distribution. USA: Prentice Hall
- Harris, R. and S. Day. 1993. Dynamics of fault interaction: Parallel strike-slip faults, *J. Geophys. Res.*, 98, 4461–4472
- Kerr, et.al. 2003. Planning for Development of Land on or Close to Active Faults. GNS, New Zealand.
- Makrup, Lalu. 2007. Analisis Frekuensi dalam Hidrologi. Yogyakarta: Amara Books.
- Natawidjaja, et.al. 2007. Interseismic deformation above the Sunda Megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands, West Sumatra. *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, b02404.
- Natawidjaja, D and W. Triyoso. 2007. The Sumatran Fault Zone – From Source to Hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, Vol. 1, No. 1 (2007) 21–47.
- Natawidjaja, DH. 2008. Pedoman Analisis Bahaya dan Risiko Bencana Gempabumi, dipersiapkan untuk BNPB/SNCDRR, Interim Report Term I.
- Naryanto, H.S. 2007. Kajian Potensi Kegempaan di Liwa Kaitannya dengan Patahan Sumatra untuk Penataan Kawasan Berkelanjutan. *Alami* Vol. 12 No. 2 Tahun 2007.
- Puslit Geoteknologi LIPI. 2007. Sumatra Rawan Gempa, Bandung.
- Prawirodirdjo, L., et.al. 2000. One century of tectonic deformation along the Sumatran fault from triangulation and Global Positioning System surveys. *Journal of Geophysical Research*, 105, 28,343–28,363.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105, 28,295–28,326.
- Supartoyo, dan Abdurrachman, K. (2007). Kejadian Gempabumi Merusak di Indonesia tahun 2007. Hal 32 – 43.
- usgs.gov. Data Gempa didownload pada November 2012.
- WGCEP (Working Group on California Earthquake Probabilities). 1995. Seismic Hazards in Southern California: Probable Earthquakes, 1994 to 2024. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, No. 2, pp. 379-439, April 1995
- Widodo. (2012). Bahan Kuliah Analisis Risiko Bencana Alam. Magister Teknik Sipil UII. Yogyakarta.