

Analisis Seismisitas dan Energi Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Yogyakarta

Nugroho Budi Wibowo* dan Juwita Nur Sembri

BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta

Jl. Wates Km 8 Jitengan Balekatur Gamping Sleman D.I. Yogyakarta

*Email: nugrohobudiwibowo@gmail.com

ABSTRACT

The earthquake that occurred in the Region of Yogyakarta caused by fault activity on the surface, such as Opak-Oyo Fault, Dengkeng Fault, Menoreh Fault and plate tectonic activity in South of Java. Opak-Oyo fault activity reflected from epicenter distribution and earthquake energy. This research aims to analyze the earthquake energy which has epicenter around the Opak-Oyo Fault in spatial and temporal. Based on earthquake catalog from 2008 – 2017, there were 66 earthquake event. Epicenter distribution reflected in seismicity map and for the tectonic parameter use least square method. Seismicity map of Opak-Oyo Fault area show that distribution of epicenter in the East and Southeast of fault line with the calculation result of b value by least square method is 0.4. In temporal, there is an increasing trend of events in 2008-2015 and decline trend of earthquake in 2015- 2017. Earthquake energy that released in Opak-Oyo Fault area has varies value about $10^{5.2} - 10^{12}$ Joules. Meanwhile, the energy that associated with the existence of Opak-Oyo Fault Lines has value between $10^{5.2} - 10^{9.6}$ Joule with 10-20 km of hypocenter. The distribution energy has similar pattern with geological formations in that area.

Keywords: Opak-Oyo Fault, Epicenter, Seismicity, Least Square, Energy.

ABSTRAK

Gempa bumi yang terjadi di wilayah D.I Yogyakarta terjadi akibat aktifitas sesar yang terdapat dipermukaan, seperti Sesar Opak-Oyo, Sesar Dengkeng dan Sesar yang terdapat di Perbukitan Menoreh serta aktifitas lempeng tektonik yang terdapat di Selatan Pulau Jawa. Aktifitas Sesar Opak-Oyo dapat tercermin dari distribusi episenter dan energi gempabumi yang terjadi. Penelitian ini bertujuan menganalisis energi gempabumi yang memiliki episenter disekitar Sesar Opak-Oyo secara spasial dan temporal. Berdasarkan data gempabumi tahun 2008 – 2017 terdapat 66 event gempabumi. Distribusi episenter tergambar dalam peta seismisitas dan untuk parameter tektonik digunakan metode *least square*. Peta seismisitas kawasan Sesar Opak-Oyo menunjukkan distribusi episenter lebih banyak di sebelah Timur dan Tenggara Jalur Sesar dengan nilai b hasil perhitungan metode *least square* yaitu 0.4. Secara temporal, terdapat trend peningkatan kejadian dari tahun 2008 hingga 2015 dan penurunan trend kejadian gempabumi dari tahun 2015 hingga 2017. Energi yang dihasilkan dari gempa pada kawasan Sesar Opak-Oyo bervariasi dari $10^{5.2} - 10^{12}$ Joule. Sedangkan, energi yang berasosiasi dengan keberadaan Jalur Sesar Opak-Oyo memiliki nilai berkisar antara $10^{5.2} - 10^{9.6}$ Joule dengan hiposenter 10 - 20 Km. Pola sebaran energi memiliki pola yang hampir sama dengan formasi geologi dikawasan tersebut.

Kata kunci: Sesar Opak-Oyo, Episenter, Seismisitas, *Least Square*, Energi.

PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan wilayah yang termasuk dekat dengan zona tumbukan lempeng serta memiliki struktur geologi yang kompleks. Kondisi tatanan tektonik yang begitu kompleks menyebabkan wilayah Yogyakarta dan sekitarnya telah menjadi kawasan seismik aktif dengan frekuensi kegempaan yang cukup tinggi. Gempabumi yang terjadi di wilayah D.I Yogyakarta terjadi akibat aktifitas sesar yang terdapat dipermukaan, seperti Sesar Opak-Oyo, Sesar Dengkeng dan Sesar yang terdapat di Perbukitan Menoreh. Selain itu, gempabumi di wilayah D.I Yogyakarta juga diakibatkan aktifitas lempeng tektonik yang terdapat di Selatan Pulau Jawa. Gempabumi yang berasosiasi dengan keberadaan sesar Opak-Oyo memiliki karakteristik kedalaman gempa (hiposenter) dangkal, yaitu 10 – 30 km dengan kekuatan bervariasi antara 2 – 3 SR. Hasil kajian deformasi koseismik dengan metode survei GPS yang dilakukan oleh tim peneliti dari Teknik Geodesi ITB dan UGM bekerja sama dengan *Nagoya University* menyimpulkan bahwa sesar penyebab gempa bumi 27 Mei 2006 adalah sesar jenis sinistral dengan panjang 18 km lebar 10 km *strike* 48° dan *dip* 89° dan berada 3-4 km di sebelah timur dari lokasi Sesar Opak-Oyo yang biasa digambarkan pada peta geologi^[1]. Penelitian *aftershock* yang datanya diambil selama 3 bulan mulai hari ke empat setelah gempa, sesar penyebab gempa berada kurang lebih 10 km-20 km di sebelah timur dari rendahan Sesar Opak-Oyo^[2]. Hasil kajian pemetaan Sesar Opak-Oyo dengan metode gravitasi (studi kasus daerah Parangtritis dan sekitarnya), lokasi Sesar Opak-Oyo yang diperkirakan dari metode gravity secara umum berada di sebelah barat Sesar Opak-Oyo yang ditunjukkan dalam peta geologi lembar Yogyakarta. Keberadaan Sesar Opak-Oyo berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya, seharusnya menunjukkan korelasi dengan episenter gempabumi yang diakibatkan aktivitas Sesar Opak-Oyo. Korelasi tersebut dapat tercermin berdasarkan distribusi episenter dan energi gempabumi yang terjadi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis energi gempabumi yang memiliki episenter disekitar Sesar Opak-Oyo secara spasial dan temporal dari Tahun 2008 – 2017.

METODE

Penelitian ini menggunakan data gempabumi PGR VII hasil analisa seiscomp3 dengan periode tahun 2008 – 2017. Batasan wilayah penelitian 7,76⁰- 8,16⁰ LS hingga 110,3⁰ – 110,8⁰ BT. Jumlah data gempabumi yang digunakan sebanyak 66 event gempabumi.

Seismisitas

Seismisitas adalah aktivitas seismik (gempabumi) atau banyaknya gempabumi dalam kurun waktu tertentu. Studi pola seismisitas ditujukan untuk memperoleh gambaran pola perbandingan aktivitas seismik suatu daerah dalam periode yang cukup panjang. Metode untuk mengetahui parameter seismik dan tektonik suatu wilayah adalah dengan hubungan Gutenberg-Richter atau *magnitude-frequency relation* (MFR) yang dituliskan sebagai:

$$\log n(M) = a - bM \quad (1)$$

dengan $n(M)$ adalah jumlah gempabumi dengan *magnitude* M . Nilai- a merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung pada banyaknya kejadian gempabumi dan untuk wilayah tertentu bergantung pada penentuan volume dan *time window*. Nilai- b (biasanya mendekati 1) merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan yang besar. Nilai- b dapat ditentukan dengan metode *least square* atau *maximum likelihood*. Metode *maximum likelihood* menggunakan persamaan yang diberikan Utsu (1967) yaitu^[3]:

$$b = \frac{\log e}{\overline{M} - M_{min}} = \frac{0,4343}{\overline{M} - M_{min}} \quad (2)$$

Dengan \overline{M} adalah *magnitude* rata-rata dan M_{min} adalah *magnitude minimum*.

Energi Gempabumi

Dalam Rumus Gutenberg – Richter, energi dapat ditentukan dengan menggunakan input parameter magnitudo melalui persamaan: $\log E_s = a + b M$, dimana a dan b merupakan konstanta. Berdasarkan persamaan Choy dan Boatwright (1995) persamaan energi adalah ^[4]:

$$\log E_s = 4,4 + 1,5 M_s \quad (3)$$

dimana M_s merupakan magnitudo gelombang permukaan.

Persamaan konversi magnitudo dari m, mb, M_l menjadi M_s berdasarkan Ambrasseys (1990) sebagai berikut ^[4]:

$$m - 2,5 = 0,63 M_s \quad (4)$$

$$0,86 mb - 1,94 = 0,49 M_s \quad (5)$$

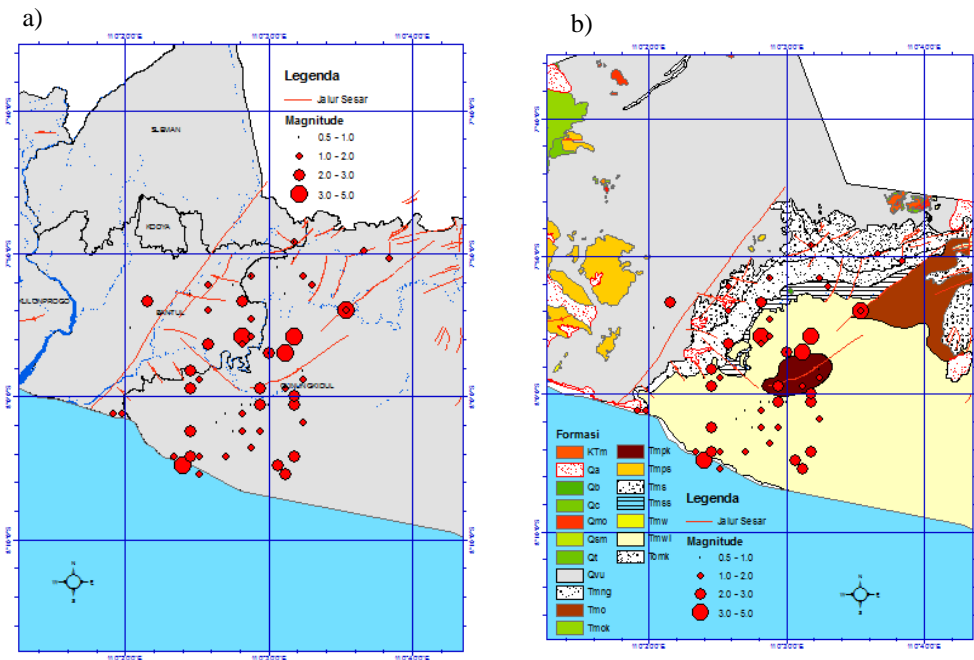
$$0,80 M_l - 1,04 = 0,6 M_s \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

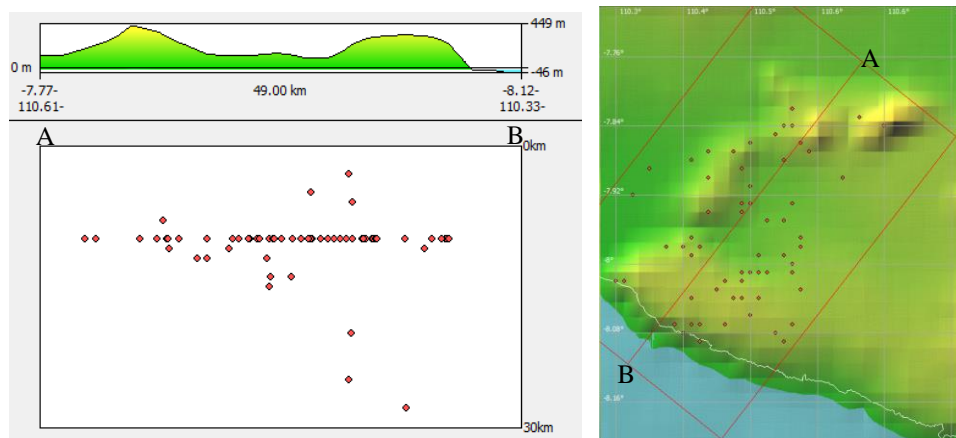
Analisa Seismisitas kawasan Sesar Opak-Oyo

Gempabumi dengan magnitudo kecil dan kedalaman dangkal merupakan bentuk manifestasi keberadaan Jalur Sesar di Yogyakarta. Jalur Sesar Opak-Oyo merupakan jalur sesar yang diduga sebagai penyebab terjadinya gempabumi Yogyakarta Tahun 2006. Berdasarkan data gempabumi hasil analisa seiscomp3 PGR VII dari Tahun 2008 hingga 2017 terdapat 66 event gempabumi dengan episenter didarat yang berasosiasi dengan keberadaan jalur sesar. Namun, berdasarkan peta seismisitas pada Gambar 1, distribusi episenter lebih banyak di sebelah Timur dan Tenggara Jalur Sesar Opak-Oyo. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya yang menginterpretasikan jalur Sesar Opak-Oyo berada di sebelah Timur dari Jalur Sesar Opak-Oyo yang terdapat di peta geologi. Gempa – gempa tersebut memiliki kekuatan bervariasi dari 1 – 5 SR dengan kedalaman 5 – 30 km. Distribusi epicenter sebagian berasosiasi dengan keberadaan sesar – sesar minor yang terdapat di wilayah Gunung Kidul. Namun, sebagian besar berada kawasan perbukitan seribu (gunung sewu) yang berada diluar kawasan jalur sesar minor.

Distribusi episenter gempabumi di kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo pada peta geologi, menunjukkan bahwa episenter sebagian besar berada pada formasi wonosari. Formasi Wonosari terdiri dari Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu. Epicenter yang terdapat pada Subzona Wonosari terdapat 4 event gempabumi, sedangkan pada Subzona Gunung Sewu terdapat 40 event gempabumi. Subzona Wonosari merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan dengan material endapan permukaannya berupa lempung hitam dan danau purba, sedangkan batuan dasar berupa batugamping. Pada Subzona Gunung Sewu dengan karakteristik perbukitan batu gamping membuat kawasan ini menjadi kawasan dengan betang alam karts. Formasi Wonosari berdasarkan surono, dkk (1992) memiliki ketebalan lapisan 800 meter. Berdasarkan Gambar 2, hiposenter gempa pada formasi wonosari bervariasi 10 – 28 Km, hal ini menunjukkan bahwa sumber gempa tidak berasal dari patahan yang terdapat pada Formasi Wonosari, namun dimungkinkan dapat berasal dari formasi lain yang lebih tua yang berada di bawah Formasi Wonosari.



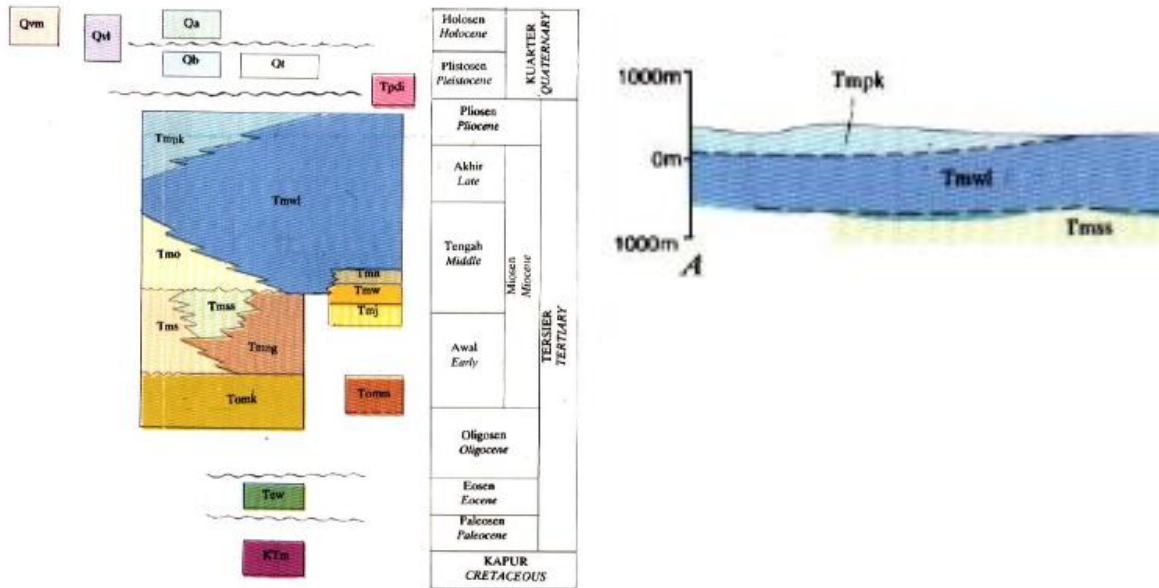
Gambar 1. (Colour online) (a) Peta Seismisitas di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Tahun 2008 -2017, (b) Peta Seismisitas di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo pada Formasi Geologi



Gambar 2. (Colour online) Cross Section hiposenter gempa di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Tahun 2008 - 2017

Merujuk pada susunan stratigrafi (Gambar 3) pada peta geologi lembar Surakarta dan Giritontro, Formasi yang terdapat dibawah formasi Wonosari (Tmwl) antara lain formasi Oyo (Tmo), Semilir (Tms), Sambipitu (Tmss), Nglanggran (Tmng), Kebobutak (Tomk), Gamping Wungkal (Tew) dan Malihan(Ktm). Sehingga, hiposenter gempa yang terdapat pada formasi Wonosari seperti pada Gambar 1 (b), dapat diduga berasosiasi dengan formasi Gamping Wungkal dan Malihan yang memiliki umur paling tua dan berada pada kedalaman lebih dari 1 Km. Secara temporal, event gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo tertinggi pada tahun 2015 sebanyak 23 event. Terdapat trend peningkatan kejadian dari tahun 2008 hingga 2015 dan penurunan trend kejadian

gempabumi dari tahun 2015 hingga 2017. Nilai b hasil perhitungan dengan metode *least square* yaitu 0,4. Nilai tersebut merupakan parameter tektonik yang merepresentasikan aktifitas tektonik di kawasan tersebut, nilai 0,4 menunjukkan bahwa dalam kurun waktu sembilan tahun aktifitas tektonik di kawasan Sesar Opak-Oyo tidak cukup signifikan atau 7 event gempa per tahun.



Gambar 3. (Colour online) Susunan Stratigrafi Peta Geologi Lembar Surakarta dan Giritontro [8]

Analisa Energi Gempabumi Di Kawasan Sesar Opak-Oyo

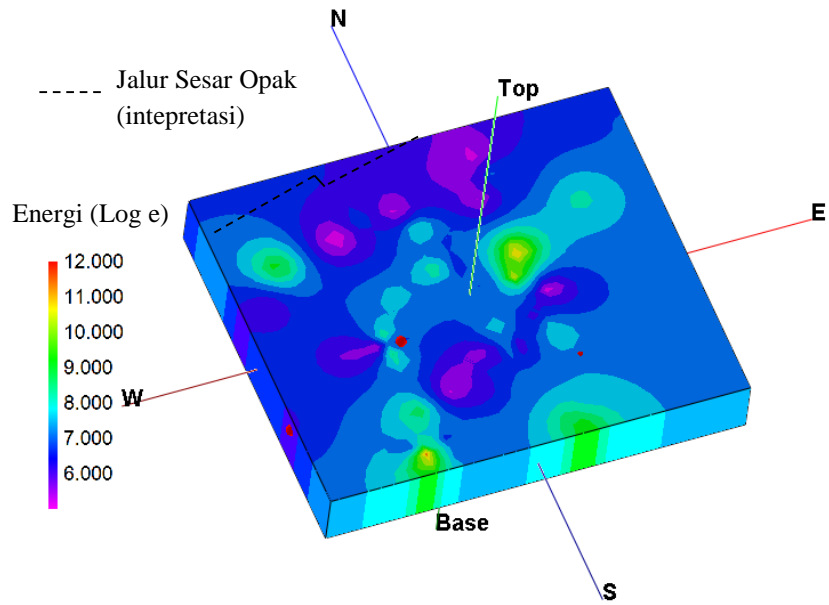
Energi gempabumi mencerminkan kekuatan gempa yang terjadi akibat adanya patahan. Material bidang patahan yang padat dan kompak berpotensi menghasilkan energi yang besar dan sebaliknya. Energi gempabumi dihitung berdasarkan persamaan empiris *Choy dan Boatwright* (1995). Energi yang dihasilkan dari gempa yang terjadi kawasan Sesar Opak-Oyo bervariasi dari $10^{5,2} - 10^{12}$ Joule. Sedangkan energi gempa yang berasosiasi dengan keberadaan Jalur Sesar Opak-Oyo bervariasi dari $10^{5,2} - 10^{9,6}$ Joule dengan hiposenter 10 -20 Km. Energi terbesar pada kawasan tersebut 10^{12} Joule terdapat pada kawasan Formasi Wonosari Sub Zona Gunung Sewu. Model 3D distribusi energi pada Kawasan Sesar Opak-Oyo (Gambar 4) menunjukkan blok energi yang besar terdapat di sebelah selatan dan timur laut kawasan tersebut. Pola sebaran energi memiliki pola yang hampir sama dengan formasi geologi di kawasan tersebut (Tabel 1). Gambar 5 (a), merupakan model distribusi energy 10^7-10^{12} Joule, dimana blok model yang kosong merupakan kawasan dengan energi $10^{5,2} - 10^6$ Joule. Kawasan dengan energi relatif rendah tersebut berada pada formasi Aluvial, Nglanggran, Sambipitu, Semilir dan Kepek. Sedangkan kawasan dengan energi 10^7-10^{12} Joule berada pada formasi Wonosari. Model pada Gambar 5 (b),(c), dan (d) menunjukkan distribusi blok energi menengah hingga tinggi pada kawasan tersebut. Keberadaan blok energi menengah hingga tinggi tersebut, berasosiasi dengan keberadaan Formasi Wonosari dipermukaan. Hal ini dikarenakan berdasar kedalaman sumber gempa pada blok tersebut, energi yang terlepas bersumber dari formasi yang lebih tua dari Formasi Wonosari. Pendugaan formasi yang bersesuaian dengan blok energi tersebut merupakan Formasi Gamping Wungkal dan Malihan.

Tabel 1. Energi Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Tahun 2008 – 2017

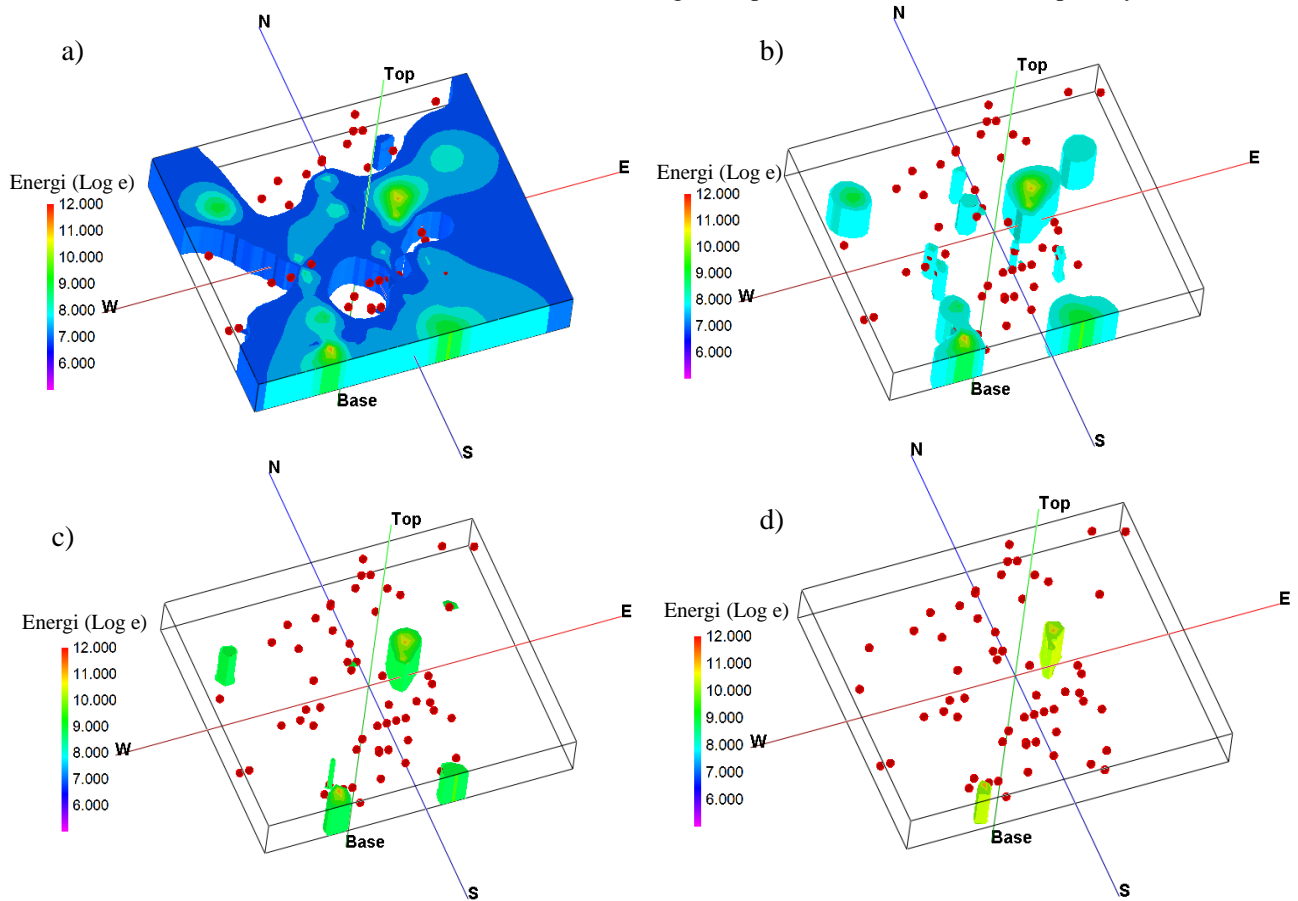
No	Tanggal	<i>Origin Time (UTC)</i>			<i>Epicenter</i>		Kedalaman (Km)	Mb (SR)	Ms (SR)	Log E	Energi (10 ⁶ Joule)
		Jam	Menit	Detik	Latitude (^o)	Longitude (^o)					
1	11/14/2008	0	58	38	-8,04	110,46	10	3,3	1,27	6,30	2,02
2	4/28/2009	1	10	24	-7,98	110,54	10	3,4	1,43	6,54	3,49
3	5/17/2009	23	8	13	-8,07	110,39	10	3,7	1,90	7,26	18,08
4	8/22/2009	4	35	25	-7,97	110,41	10	4,3	2,86	8,69	484,97
5	8/21/2010	11	41	41	-7,93	110,53	10	5	4,93	11,80	630957,00
6	9/12/2010	16	38	55	-8,08	110,4	10	5,1	5,07	12,00	1000000,00
7	10/10/2010	20	5	32	-8,09	110,52	10	3,9	3,47	9,60	3981,07
8	2/13/2011	12	51	8	-7,89	110,36	10	3,9	3,47	9,60	3981,07
9	11/6/2011	2	18	3	-8,04	110,41	28	3,8	3,33	9,40	2511,89
10	3/19/2012	2	19	38	-7,93	110,47	10	4,2	3,87	10,20	15848,93
11	5/19/2012	3	52	41	-7,9	110,59	10	2,3	1,33	6,40	2,51
12	12/19/2012	1	31	58	-8,08	110,51	10	3,6	3,07	9,00	1000,00
13	5/16/2013	21	16	57	-8,07	110,42	11	2,6	1,73	7,00	10,00
14	9/21/2013	8	47	34	-7,87	110,55	11	2,5	1,60	6,80	6,31
15	11/27/2013	12	29	32	-8,09	110,42	10	2,9	2,13	7,60	39,81
16	12/18/2013	9	46	40	-8,01	110,49	10	3,3	2,67	8,40	251,19
17	1/8/2014	0	50	5	-7,9	110,43	10	2,4	1,47	6,60	3,98
18	3/30/2014	17	39	31	-7,86	110,54	10	2,8	2,00	7,40	25,12
19	4/2/2014	11	21	56	-7,9	110,59	10	4,5	4,27	10,80	63095,73
20	7/9/2014	0	40	17	-7,91	110,48	10	2,6	1,73	7,00	10,00
21	8/14/2014	7	8	46	-7,92	110,34	20	2,2	1,20	6,20	1,58
22	8/19/2014	4	1	17	-8,02	110,32	10	2,3	1,33	6,40	2,51
23	9/2/2014	20	49	15	-8,07	110,41	10	3,3	2,67	8,40	251,19
24	10/28/2014	15	36	20	-8,01	110,53	10	3,2	2,53	8,20	158,49
25	11/17/2014	8	53	56	-7,88	110,41	14	1,7	0,53	5,20	0,16
26	5/28/2015	6	5	45	-7,95	110,5	15	3,4	2,80	8,60	398,11
27	5/31/2015	22	15	8	-8,07	110,53	10	3,1	2,40	8,00	100,00

Lanjutan Tabel 1.

No	Tanggal	Origin Time (UTC)			Epicenter		Kedalaman (Km)	Mb (SR)	Ms (SR)	Log E	Energi (10 ⁶ Joule)
		Jam	Menit	Detik	Latitude (°)	Longitude (°)					
28	6/20/2015	21	45	50	-8,07	110,45	10	2,9	2,13	7,60	39,81
29	9/8/2015	11	38	26	-7,98	110,4	10	1,9	0,80	5,60	0,40
30	9/18/2015	13	10	58	-7,87	110,43	10	2,6	1,73	7,00	10,00
31	9/22/2015	0	49	52	-7,99	110,49	10	3,3	2,67	8,40	251,19
32	9/22/2015	8	31	19	-7,93	110,48	12	2,3	1,33	6,40	2,51
33	9/25/2015	13	28	54	-7,95	110,52	10	4,6	4,40	11,00	100000,00
34	9/25/2015	18	1	53	-7,94	110,47	10	2,5	1,60	6,80	6,31
35	9/27/2015	0	54	51	-8,06	110,48	10	2,9	2,13	7,60	39,81
36	10/1/2015	18	59	54	-7,84	110,53	10	1,7	0,53	5,20	0,16
37	10/2/2015	0	23	41	-8,01	110,47	10	1,9	0,80	5,60	0,40
38	10/18/2015	23	29	32	-7,98	110,38	10	2,1	1,07	6,00	1,00
39	10/26/2015	20	0	11	-8	110,53	10	3,1	2,40	8,00	100,00
40	10/28/2015	1	47	48	-8,04	110,47	10	2,5	1,60	6,80	6,31
41	11/9/2015	0	45	39	-7,83	110,61	10	2,5	1,60	6,80	6,31
42	11/12/2015	10	35	50	-7,87	110,46	11	1,8	0,67	5,40	0,25
43	11/17/2015	1	4	8	-8,03	110,44	10	1,8	0,67	5,40	0,25
44	11/30/2015	15	47	53	-7,86	110,48	12	2,2	1,20	6,20	1,58
45	12/7/2015	5	8	12	-7,89	110,47	10	3,4	2,80	8,60	398,11
46	12/7/2015	13	46	9	-7,88	110,52	12	1,9	0,80	5,60	0,40
47	12/7/2015	15	27	20	-7,82	110,53	10	2,3	1,33	6,40	2,51
48	12/14/2015	5	37	22	-7,82	110,53	10	2,1	1,07	6,00	1,00
49	1/4/2016	16	25	5	-7,99	110,52	14	2,3	1,33	6,40	2,51
50	1/17/2016	4	50	48	-7,94	110,43	10	3,1	2,40	8,00	100,00
51	2/20/2016	10	43	11	-8,02	110,45	10	2	0,93	5,80	0,63
52	2/27/2016	2	4	13	-7,84	110,64	10	2,7	1,87	7,20	15,85
53	4/30/2016	1	34	30	-7,94	110,47	10	2,8	2,00	7,40	25,12
54	5/6/2016	19	24	11	-7,95	110,5	15	2,1	1,07	6,00	1,00
55	5/14/2016	0	53	45	-7,97	110,54	10	1,7	0,53	5,20	0,16
56	6/2/2016	19	10	54	-7,84	110,52	8	2,2	1,20	6,20	1,58
57	6/3/2016	9	7	49	-8,01	110,48	10	2,1	1,07	6,00	1,00
58	6/20/2016	10	48	26	-7,85	110,51	10	2	0,93	5,80	0,63
59	8/29/2016	6	56	3	-8,01	110,5	10	2,1	1,07	6,00	1,00
60	11/3/2016	16	11	42	-8,04	110,49	6	2,9	2,13	7,60	39,81
61	12/22/2016	13	0	22	-8,03	110,54	5	2,9	2,13	7,60	39,81
62	1/11/2017	19	55	24	-7,98	110,42	3	2,6	1,73	7,00	10,00
63	1/13/2017	14	24	59	-7,99	110,41	10	3,6	3,07	9,00	1000,00
64	2/11/2017	13	25	36	-8,02	110,47	25	2,7	1,87	7,20	15,85
65	3/20/2017	10	56	35	-8,02	110,33	10	2,6	1,73	7,00	10,00
66	4/16/2017	16	23	36	-7,86	110,48	10	2,4	1,47	6,60	3,98



Gambar 4. (Colour online) Model 3D Energi Gempa di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo



Gambar 5. (Colour online) Model 3D Energi gempa dengan nilai (a) 10^7 - 10^{12} Joule, (b) 10^8 - 10^{12} Joule, (c) 10^9 - 10^{12} Joule, (d) 10^{10} - 10^{12} Joule

KESIMPULAN

Peta seismisitas kawasan Sesar Opak-Oyo menunjukkan distribusi episenter lebih banyak di sebelah Timur dan Tenggara Jalur Sesar Opak-Oyo yang sebagian besar berada pada Formasi Wonosari dan diduga berkorelasi dengan keberadaan Formasi Gamping Wungkal dan Malihan yang berada di bawah Formasi Wonosari. Parameter tektonik pada lokasi penelitian diperoleh sebesar $b = 0,4$. Energi yang dihasilkan dari gempa bervariasi dari $10^{5,2} - 10^{12}$ Joule. Sedangkan, energi yang berasosiasi dengan keberadaan Jalur Sesar Opak-Oyo bervariasi dari $10^{5,2} - 10^{9,6}$ Joule dengan hiposenter 10 -20 Km.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Stasiun Geofisika Yogyakarta dan Kepala Seksi Observasi Pusat Gempa Regional VII atas ijin yang diberikan untuk dapat mengakses dan mengolah data yang terdapat di Pusat Gempa Regional VII.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Abidin, Z. H., Andreas, H., Meliano, I., Gamal, M., Kusuma, MA., Kimata, F., Ando, M. 2007. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia. 4 (4), 275-284.
- 2 Chen, Fei-Poi., Newman, V, Andrew., Wu, Ren-Tso., dan Lin, Ching-Ching. 2008. *Earthquake Probabilities and Energy Characteristics of Seismicity Offshore Southwest Taiwan*. Terr Atmos Ocean Sci, 19 (6), 697-703.
- 3 Utsu, T., 1965, *A method for determining the value of b in a formula $\log N = a - bM$ showing the magnitude frequency for earthquakes*, Geophys. Bull. Hokkaido Univ, 13, 99-103.
- 4 Kusky, Timothy. 2008. *Earthquakes: Plate Tectonics and Earthquake Hazards*. New York: Infobase Publishing.
- 5 Bormann, Peter. 2002. *Manual Baru: Praktik Stasiun Pengamatan Seismologi (MBPS²)*. Jilid 1A. Diterjemahkan oleh: Ibnu Purwana. Jakarta: P.D. Hobie Karya.
- 6 Gutenberg, B. dan Richter, F C. 1942. *Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration*. *Bulletin of The Seismological Society of America*. 32 (3), 163-191.
- 7 Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I. dan Tabatabei, S.H. 2007. *Seismic Microzonation and Damage Assessment of Bam City*. Southern Iran: Journal of Earthquake Engineering. 11 (1), 110-132.
- 8 Rohadi, S., Hendra G., Mezak A.Ratag. 2007. *Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi*. Jakarta: Program Magister Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- 9 Surono, B, Toha, I., Sudarno. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta - Giritontro*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- 10 Walter, TR., Wang, R., Leuher, BG., Wassermann, J., Behr, Y., Parolais., Anggaini, A., Gunther, E., Sobiesiak, M., Grosser, H., Wetzel, H U., Mikereit, C PJ., Sri Broto, Puspito., K, Harjadi P., and Zcshau, J. 2008, *The 26 May magnitude 6,4 Yogyakarta Earthquake south of merapi Vulvano : did lahar deposit amplify ground shaking and thus lead to the disaster?*. AGU and The Geocheccimal Society. 9 (5), 1-9.