

Reaktivitas Sesar Kaligarang, Semarang

S. POEDJOPRAJITNO, J. WAHYUDIONO, dan A. CITA

Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung

SARI

Sesar Kaligarang yang membelah Kota Semarang pada arah utara - selatan telah mengalami sejarah kegiatan yang panjang. Pada zaman Tersier, Sesar Kaligarang merupakan sesar jurus mendatar menganan. Pergeseran sesar ini diakibatkan oleh tektonika pada zaman itu yang mempunyai tegasan utama terbesar (σ_1^1) berarah timur laut - barat daya. Pada zaman Kuartar sesar ini teraktifkan kembali sebagai sesar jurus mendatar mengiri. Pengaktifan kembali sesar ini diakibatkan oleh tegasan utama terbesar (σ_1^2) yang berarah relatif barat laut - tenggara.

Kata kunci: reaktivitas, tegasan utama, tektonika, sesar aktif

ABSTRACT

Kaligarang Fault which cuts across Semarang City in a north-south direction has been activated for long periods. During Tertiary time, the Kaligarang Fault experienced a dextral wrench movement, which was triggered by a tectonic activity during that time, with a maximum principal stress (σ_1^1) in a northeast - southwest direction. While on Quaternary time, this fault was reactivated as a sinistral wrench fault. Reactivation of this fault was caused by a principal stress (σ_1^2) in a north east - south last direction.

Keywords: reactivation, main principal stress, tectonic, active fault

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai Kaligarang membelah wilayah Semarang pada arah hampir utara - selatan. Lembah sungai ini diduga merupakan sesar yang aktif sejak zaman Tersier hingga Kuartar. Penelitian morfotektonik secara terperinci yang mengarah ke deformasi *landform* di daerah ini sangat diperlukan terutama untuk perencanaan pengembangan kota.

Permasalahan yang penting ditampilkan adalah memisahkan *landform* sebagai hasil sesar selama Kuartar dari produk sesar selama Tersier. Penulisan makalah ini bertujuan memisahkan kedudukan Sesar aktif Kaligarang dari sesar lainnya yang kurang atau tidak aktif dengan dukungan bukti-bukti lapangan.

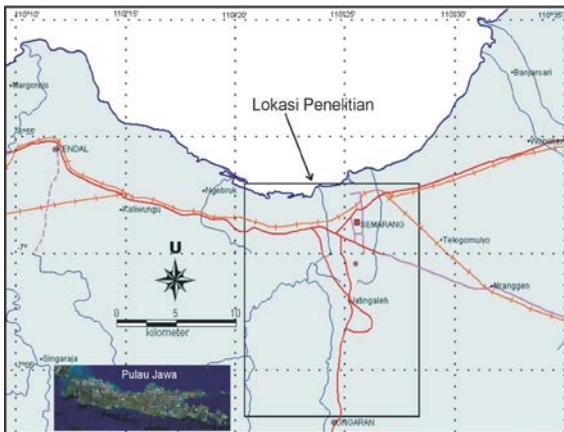
Lokasi penelitian terletak di sekitar Kota Semarang, yang dibatasi oleh koordinat 110°20'25"

BT - 110°28'25" BT dan 06°57'00" LS - 07°07'00" LS (Gambar 1).

Metode Penelitian

Penelitian struktur geologi di sekitar Kaligarang diawali dengan analisis pada citra *Landsat*. Kelurusan struktur yang diperoleh, digunakan untuk menentukan domain-domain dan lokasi kunci pengambilan data lapangan.

Pengamatan lapangan terhadap bentang alam yang berkaitan dengan struktur geologi menjadi prioritas, ditambah informasi geologi lainnya. Pengukuran unsur-unsur struktur yang dilakukan meliputi bidang perlapisan, sesar, kekar, dan lipatan. Data ini kemudian dianalisis menggunakan *Wulf net*, sehingga menghasilkan klasifikasi sesar, arah gaya utama, dan evolusinya.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

GEOLOGI

Geomorfologi Regional

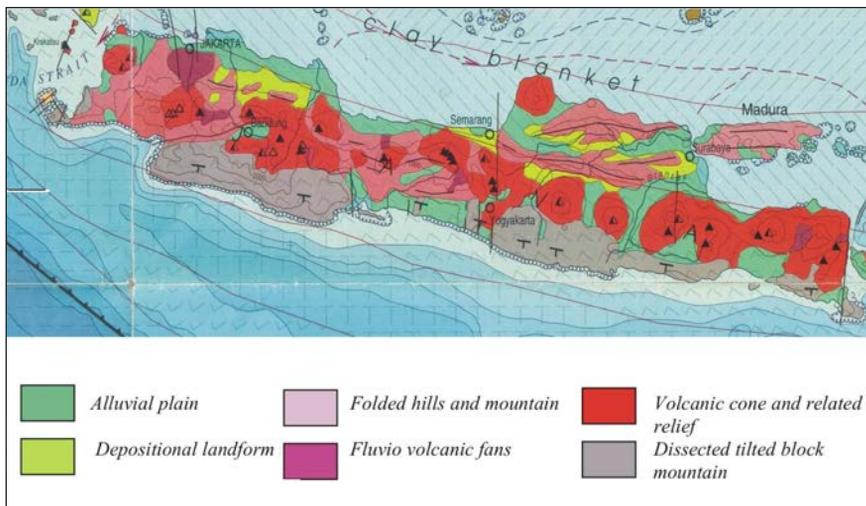
Dalam Peta Geomorfologi Indonesia (Verstappen, 2000) disebutkan bahwa daerah Semarang dan sekitarnya, pada umumnya ditempati oleh dataran aluvium dengan beberapa pematang dan rawa buri (Gambar 2). Endapan yang merupakan isian pada cekungan antar-pegunungan dan kompleks perbukitan lipatan terdapat di sebagian Semarang selatan dan timur. Wilayah lainnya merupakan morfologi kompleks endapan gunung api.

Sesar berarah utara - selatan yang memanjang di sebelah timur Semarang memotong endapan Kuartar hasil Gunung Api Merbabu dan Merapi hingga dasar Laut Jawa di sebelah utara Semarang. Santoso dan Kusumadinata (1999) dalam Peta Geomorfologi Lembar Semarang dan Bagian Utara Ungaran, memperlihatkan bahwa Semarang bagian utara, dari Kecamatan Tugu sampai Kecamatan Semarang Timur bagian utara, dan sebagian daerah aliran Sungai Kaligarang terbentuk oleh satuan bentukan asal struktur. Satuan bentukan asal gunung api terdapat di bagian barat daya Semarang selatan, sementara satuan bentukan asal sungai tersebar luas terutama di bagian timur.

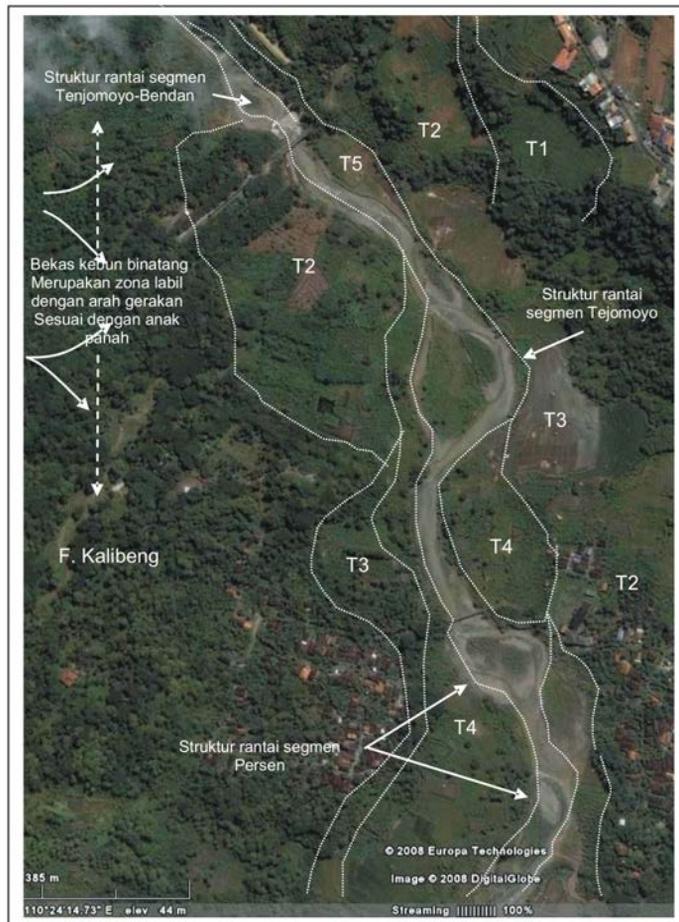
Daerah Penelitian

Fenomena morfologi tektonik di daerah Kaligarang dan sekitarnya ditunjukkan antara lain dengan ditemukannya struktur rantai alur Sungai Kaligarang sepanjang kebun binatang Tenjomoyo, teras tektonik di sekitar alur sungai segmen Bendan, begitu juga yang terjadi di alur sungai segmen Persen, dan kemudian perbukitan blok struktur di tepian Sungai Kaligarang (Gambar 3, 4, dan 5).

Struktur rantai Sungai Kaligarang segmen Tenjomoyo-Persen (Gambar 3) merupakan salah satu ekspresi morfologi bentukan tektonik yang menyebabkan terjadinya perubahan pola alur sungai tersebut. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh gerak mendatar suatu sistem sesar. Diduga bahwa indikasi



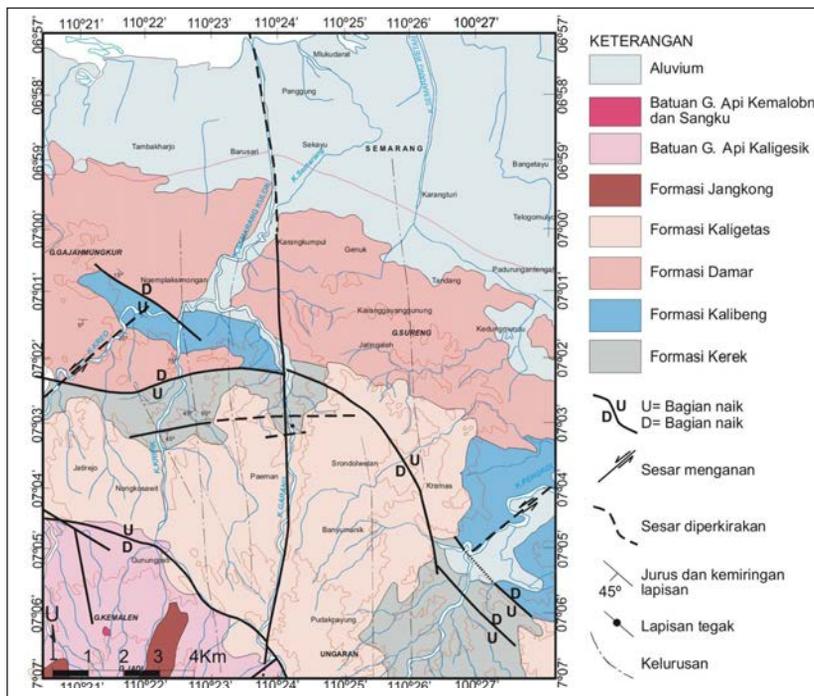
Gambar 2. Peta geomorfologi regional Pulau Jawa, diambil dari Peta Geomorfologi Indonesia (disederhanakan dari Verstappen, 2000).



Gambar 3. Struktur rantai alur Kaligarang di sekitar Desa Bendan, Tenjomoyo dan Persen. T1 - T5 adalah undak struktur, sedangkan di sekitar bekas kebun binatang Tenjomoyo terjadi rayapan tanah aktif (sumber data: Google earth 2008).



Gambar 4. Pandangan tegak lokasi perbukitan blok Sesar Stonen terhadap perkembangan undak struktur Kaligarang (T1 - T2) segmen Bendan (sumber data: Google earth, 2008).



Gambar 5. Peta geologi daerah Semarang dan sekitarnya (disederhanakan dari Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Thanden dr.,1996).

morfo-tektonik Resen tersebut merupakan manifestasi reaktivitas sesar tua. Di samping mempengaruhi litologi Kuarter, sesar tersebut juga mempengaruhi batuan yang lebih tua, Formasi Kerek berumur Miosen. Menurut Poedjoprajitno dr. (2007), Sesar Kaligarang ini diduga sebagai sesar utama daerah Semarang yang diklasifikasikan sebagai sesar jurus mendatar mengiri. Ciri morfologi tektonik lainnya yang diekspresikan oleh terungkitnya endapan banjir di sekitar alur Kaligarang segmen Tenjomoyo.

Perbukitan blok Sesar Stonen di Desa Bendan, tersusun oleh breksi gunung api berselingan dengan batupasir tufan kerikilan, dengan kedudukan lapisan hampir tegak sampai tegak merupakan bagian dari Formasi Damar berumur Kuarter (Gambar 4). Struktur internal yang membentuk morfologi ini secara umum berupa sesar naik (Gambar 5).

Stratigrafi

Daerah Semarang sebagian besar tertutup oleh Formasi Damar yang berumur Plistosen dan sepanjang pantai utara oleh endapan aluvium. Menurut Van Bemmelen (1970a), Formasi Damar tersusun atas batupasir tufan, konglomerat, dan breksi gunung api. Batupasir tersusun atas mineral gelap, felspar,

dan kuarsa, serta sisa-sisa vertebrata. Van Bemmelen (1970a) juga menyebutkan adanya sesar di selatan Semarang sebagai akibat runtuhnya Gunung Ungaran pada Plistosen Akhir.

Sampurno (1979) menyatakan bahwa daerah Semarang bagian utara tersusun atas dataran aluvium pantai dan daerah selatannya berupa perbukitan. Pada umumnya daerah dataran tingginya membentuk perbukitan dengan permukaan hampir datar yang tersusun atas breksi gunung api, konglomerat, dan tuf hasil erupsi Gunung Ungaran. Ketinggian dataran tingginya sekitar 25 -100 m di atas permukaan laut. Pada batas antara dataran dengan daerah perbukitan umumnya terbentuk tebing yang terjal sampai vertikal.

Thanden dr. (1996) menyatakan bahwa kegiatan tektonik paling akhir di Semarang terjadi pada Plio-Plistosen. Struktur sesar terutama berkembang sepanjang batas antara batuan yang berumur Kuarter, yaitu Formasi Damar dengan Formasi Kaligetis maupun Kerek yang berumur Miosen Tengah. Sesar tersebut terutama didominasi oleh sesar normal di bagian timur. Sementara di bagian barat terutama didominasi oleh sesar naik. Beberapa sesar mendatar berarah barat laut - tenggara berkembang di

bagian barat Kecamatan Mijen (Gambar 5).

Menurut Simandjuntak (2003), di selatan Semarang terdapat sesar sungkup (*thrust fault*) yang menerus hingga ke Bogor di barat dan Kendeng di timur. Sesar sungkup ini dipotong oleh berbagai ukuran sesar jurus mendatar, yang berarah barat laut - tenggara atau timur laut - barat daya, di antaranya Sesar Kaligarang ini. Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang (Thanden drr. 1996) memperlihatkan adanya sesar yang memisahkan Formasi Damar berumur Kuartar dan Formasi Kerek berumur Miosen Tengah. Sesar tersebut muncul kembali di Desa Jatirejo dan Sronдолwetan memotong Sungai Kreo, Sungai Kripik, dan Sungai Garang. Ke arah timur sesar ini melengkung memotong Formasi Kaligetas berumur Kuartar di Desa Sronдол Wetan dan Kremas pada Peta Geologi Lembar Salatiga (Sukardi dan Budhitrisna, 1992).

Pramumijoyo (2000) menuliskan bahwa sesar-sesar aktif di Semarang adalah hasil tekanan pada arah utara - selatan. Sesar naik yang aktif memotong batuan berumur Plistosen Akhir maupun lebih muda.

PEMBAHASAN

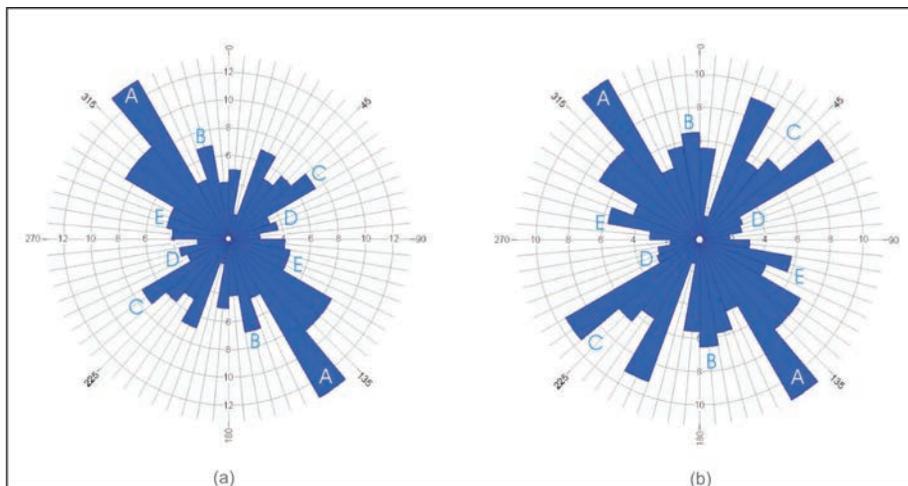
Daerah Semarang dan sekitarnya telah mengalami beberapa periode deformasi. Pola tegasan

di wilayah ini arahnya relatif utara - selatan sebagaimana tegasan regional Pulau Jawa. Arah ini tidak banyak mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Namun demikian, secara lokal telah terjadi beberapa perubahan.

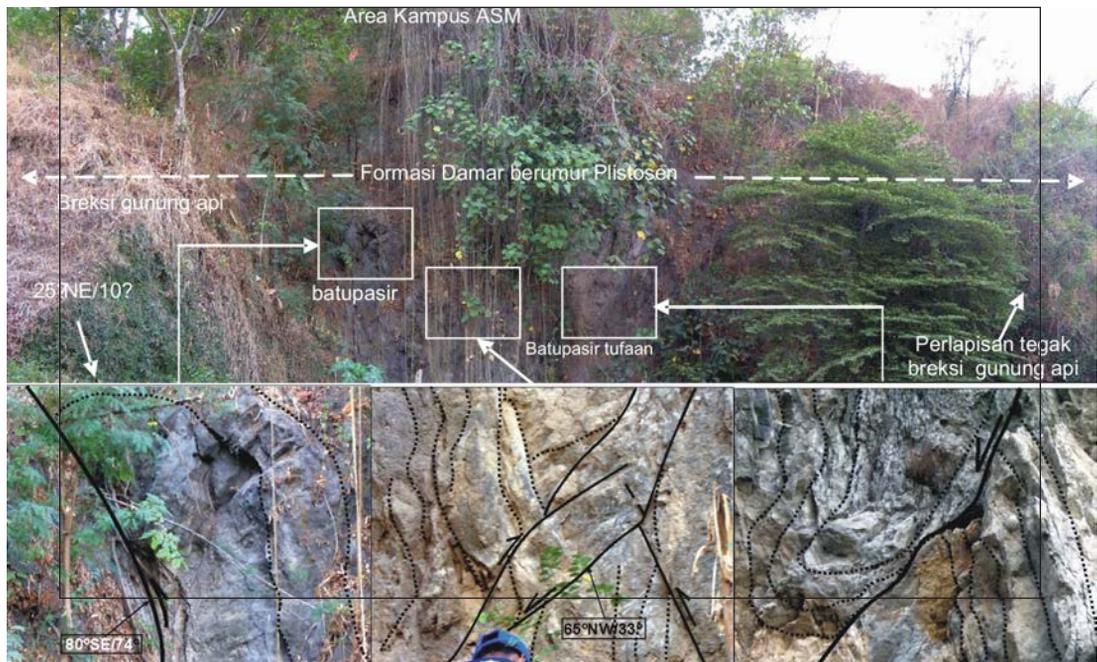
Pada zaman Tersier, tegasan utama terbesar (σ_1^1) di Semarang relatif berarah timur laut - barat daya. Analisis terhadap data yang dikumpulkan menghasilkan kedudukan (σ_1^1) = 27°, U215 °T, (σ_2^1) = 53°, U349 °T dan (σ_3^1) = 23°, U113 °T. Tegasan ini telah menghasilkan perubahan kedudukan lapisan batuan pada Formasi Kerek dan Formasi Kalibeng. Kemiringan batuan menjadi lebih tegak, sebagian mencapai 45° bahkan lebih (Gambar 6 dan 7).

Sesar-sesar yang dihasilkan pada zaman Tersier terutama berarah utara - selatan, timur laut - barat daya dan barat - timur. Sesar yang berarah umum utara - selatan merupakan sesar mengangan. Sesar yang berarah umum timur laut - barat daya merupakan sesar normal, sedangkan sesar yang berarah barat - timur merupakan sesar mengiri.

Pada zaman Kuartar, sesar-sesar ini teraktifkan kembali. Sesar yang berarah utara - selatan teraktifkan lagi sebagai sesar mengiri, dan Sesar Kaligarang termasuk dalam kelompok ini. Sesar yang berarah timur laut - barat daya teraktifkan lagi sebagai sesar naik, termasuk di dalamnya Sesar Kali Pengkol dan Sesar Kali Kreo, sedangkan sesar yang berarah barat - timur teraktifkan lagi sebagai sesar naik mengangan.



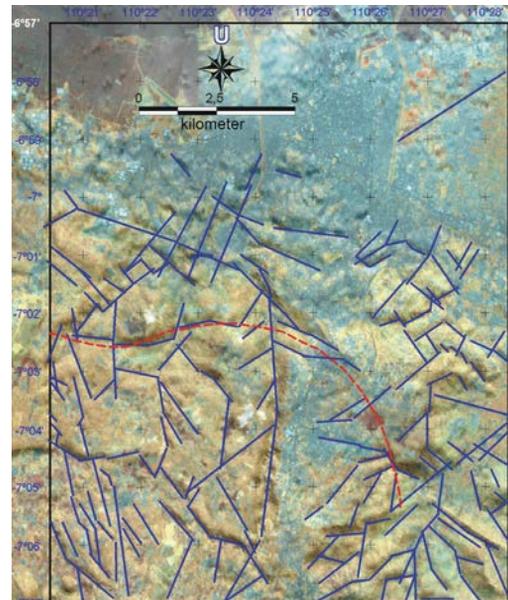
Gambar 6. Diagram mawar (a) yang menunjukkan hubungan antara azimuth dengan frekuensi kelurusan, dan (b) adalah diagram mawar yang menunjukkan hubungan antara azimuth dengan panjang kelurusan.



Gambar 7. Salah satu dinding perbukitan blok struktur Stonen di Desa Bendan dengan sejumlah *internal structure* berupa sesar naik dan turun memotong Formasi Damar berumur Plistosen.

Pengaktifan kembali sesar-sesar ini sebagai akibat perubahan tegasan lokal (σ_1^2), yaitu berarah barat laut - tenggara. Perubahan ini telah mengaktifkan kembali sesar-sesar yang telah ada sebelumnya, dengan arah pergerakan yang berbeda.

Berdasarkan analisis citra *Landsat*, daerah Semarang dan sekitarnya didominasi oleh kelurusan yang berarah relatif barat laut - tenggara (A) (Gambar 8; Tabel 1). Arah kelurusan ini adalah yang paling dominan dan berkisar antara U120°T sampai U150°T dan U300°T sampai U330°T. Arah ini mencerminkan arah umum kelurusan sesar mengangan, sedangkan arah umum lainnya, yaitu utara - selatan (B) dengan arah antara U150°E sampai U190°T dan U330°T sampai U10°T yang merupakan sesar normal mengiri. Arah umum timur laut - barat daya (C) yang mempunyai azimuth antara U10°T sampai U60°T dan U190°T sampai U240°T merupakan sesar mengiri. Arah umum timur tenggara - barat barat laut (E) tidak begitu dominan. Kelurusan kelompok D mempunyai arah umum U60°T sampai U80°T dan U240°T sampai U260°T. Kelurusan kelompok E mempunyai arah umum U80°T sampai U120°T dan U260°T sampai U300°T.



Gambar 8. Pola kelurusan daerah Semarang dan sekitarnya; kelurusan ditarik dari citra *Landsat*. Garis lengkung merah di bagian barat tampak jelas karena merupakan batas kontras antara Formasi Kerek yang tersusun atas batulempung dengan Formasi Damar yang berupa breksi gunung api. Di bagian timur, garis ini tidak tampak jelas pada citra *Landsat* karena hanya memotong Formasi Kaligetas.

Tabel 1. Data Kelurusan Struktur di Daerah sekitar Lembah Sesar Kaligarang

Azimut (°)	Banyaknya	Panjang (km)	Azimut (°)	Banyaknya	Panjang (km)
0 - 5	3	3,19	90 - 95	2	2,39
180 - 185			270 - 275		
5 - 10	7	12,25	95 - 100	2	3,68
185 - 190			275 - 280		
10 - 15	2	1,21	100 - 105	5	5,66
190 - 195			280 - 285		
15 - 20	2	1,98	105 - 110	5	8,80
195 - 200			285 - 290		
20 - 25	10	16,55	110 - 115	7	8,08
200 - 205			290 - 295		
25 - 30	4	5,87	115 - 120	4	3,38
205 - 210			295 - 300		
30 - 35	8	10,23	120 - 125	7	8,08
210 - 215			300 - 305		
35 - 40	3	3,78	120 - 125	14	13,34
215 - 220			300 - 305		
40 - 45	7	9,83	130 - 135	8	3,22
220 - 225			310 - 315		
45 - 50	8	9,67	135 - 140	10	8,46
225 - 230			315 - 320		
50 - 55	6	8,49	140 - 145	17	16,04
230 - 235			320 - 325		
55 - 60	7	11,00	145 - 150	12	13,95
235 - 240			325 - 330		
60 - 65	6	6,25	150 - 155	4	2,76
240 - 245			330 - 335		
65 - 70	3	2,76	155 - 160	5	7,01
245 - 250			335 - 340		
70 - 75	3	2,20	160 - 165	4	2,15
250 - 255			340 - 345		
75 - 80	4	3,40	165 - 170	12	13,47
255 - 260			345 - 350		
80 - 85	3	2,33	170 - 175	3	5,85
260 - 265			350 - 355		
85 - 90	7	4,01	175 - 180	6	9,62
265 - 270			355 - 360		

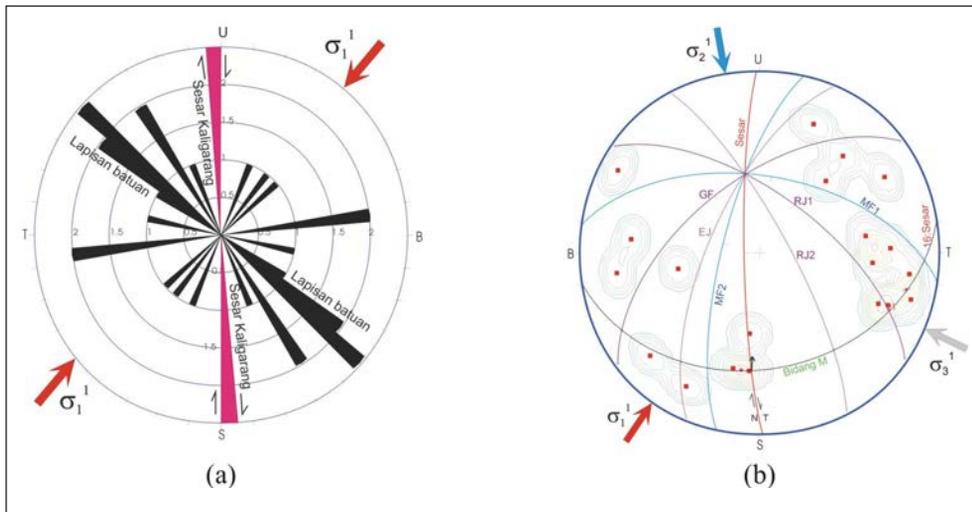
Sesar Kaligarang Pada Tersier

Pada zaman Tersier, Sesar Kaligarang mempunyai arah relatif utara - selatan (Gambar 9). Sesar ini memotong Formasi Kerek dan Formasi Kalibeng. Sesar ini aktif sebagai sesar mengangan (Anderson, 1951). Lapisan batuan Tersier pada masa ini kedudukannya berjurus relatif barat laut - tenggara (Tabel 2). Dari kedudukan ini dapat ditafsirkan bahwa tegasan regional pada saat itu berarah umum

timur laut - barat daya. Sebagian lapisan yang berjurus timur laut - barat daya kemungkinan kedudukannya telah dipengaruhi oleh pergeseran sesar.

Sesar Kaligarang pada Zaman Kuartar

Pada zaman Kuartar, Sesar Kaligarang teraktifkan lagi sebagai sesar mengiri (Anderson, 1951) (Gambar 10). Hasil analisis data di berbagai lokasi menunjukkan sesar ini bergerak relatif turun dengan



Gambar 9. Diagram mawar yang menunjukkan tegasan utama terbesar (σ_1^1) pada zaman Tersier berarah U40°T-U230°T. Warna hitam adalah jurus batuan Tersier dan warna merah muda adalah jurus Sesar Kaligarang. Tegasan inilah yang menggerakkan Sesar Kaligarang sebagai sesar menganan (a). Analisis Sesar Kaligarang pada lokasi SMG 06 menghasilkan kedudukan sesar U179°E/83°. Tanda panah warna merah adalah tegasan utama terbesar (σ_1^1), panah biru adalah tegasan utama menengah (σ_2^1) dan panah hitam adalah tegasan utama terkecil (σ_3^1).

Tabel 2. Tabulasi Data untuk Analisis Sesar Kaligarang pada Zaman Tersier

Bidang Perlapisan		Sesar Minor		Bidang Sesar	
Jurus (U°T)	Kemiringan (°)	Jurus (U°T)	Kemiringan (°)	Jurus (U°T)	Kemiringan (°)
130	45	283	55	179	83
80	48	275	55		
81	80	277	37		
122	90	30	80		
47	45	202	66		
125	45	203	61		
100	70	197	77		
127	80	352	69		
155	65	6	61		
147	85	188	73		
21	80	149	70		
38	80	349	38		
82	40	299	73		
250	10	171	50		
149	45	185	53		
132	45	178	62		
120	35	317	72		
130	60	113	66		
		133	45		
		131	60		

sedikit komponen mengiri (Tabel 3). Tegasan utama yang mengontrol daerah Semarang pada zaman Kuarter adalah $\sigma_1^2=8, U313^\circ T$, $\sigma_2^2=74, U74^\circ T$, dan $\sigma_3^2=15, U220^\circ T$ (Gambar 11). Pergerakan yang di-

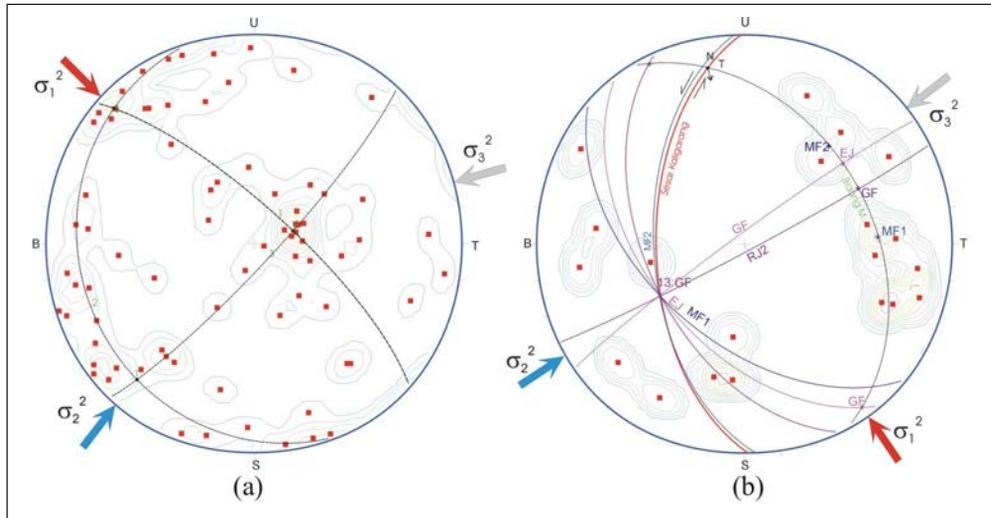
sebabkan oleh tegasan ini menggeserkan morfologi perbukitan di sekitar lembah Sungai Kaligarang ke arah kanan.



Gambar 10. Foto singkapan di tebing Sungai Kaligarang menunjukkan bidang sesar yang memotong bidang pelapisan batupasir tufan (garis kuning). Arah tebing sesar relatif utara - selatan dan tegak lurus arah kamera. Sejumlah kekar yang merupakan struktur penyerta saling berpotongan (garis merah) dan menunjukkan bahwa telah terjadi setidaknya dua kali pengaktifan sesar. Kekar-kekar yang lebih muda memperlihatkan kesan arah pergeseran yang berbeda.

Tabel 3. Tabulasi Data untuk Analisis Sesar Kaligarang pada Zaman Kuarter

Sesar Minor		Bidang Sesar	
Jurus (U°T)	Kemiringan (°)	Jurus (U°T)	Kemiringan (°)
283	55	179	55
275	55		
277	37		
30	80		
202	66		
203	61		
197	77		
352	69		
6	61		
188	73		
149	70		
349	38		
299	73		
171	50		
185	53		
178	62		
317	72		
113	66		
133	45		
131	60		



Gambar 11. Pengeplotan kedudukan tegasan utama terbesar, menengah, dan terkecil dari semua analisis data dengan tafsiran arah gaya utamanya. (a). Analisis Sesar Kaligarang (b) pada lokasi SMG 09 menghasilkan sesar mengiri normal dengan kedudukan U179°E/55°. Tanda panah warna merah adalah tegasan utama terbesar (σ_1^2), panah biru adalah tegasan utama menengah (σ_2^2) dan panah hitam adalah tegasan utama terkecil (σ_3^2).

KESIMPULAN

Sesar Kaligarang yang membelah Kota Semarang pada arah utara - selatan merupakan sesar yang aktif

sejak zaman Tersier hingga Kuarter. Pengukuran dan analisis data lapangan menunjukkan bukti-bukti adanya sesar aktif di sekitar Kota Semarang. Struktur undak beserta gawir-gawir sesar dan alur sungai ter-

potong (*offset*) merupakan bagian dari bukti bahwa tektonika masih berlangsung di wilayah ini. Sangat diperlukan penelitian terperinci morfotektonik untuk memperoleh hasil yang lebih optimal. Bukti-bukti lapangan yang telah didapatkan perlu pula didukung dengan hasil penelitian lainnya, seperti pengukuran kegiatan deformasi dengan GPS dan seismisitas.

Ucapan Terima Kasih—Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi, Kepala Kelompok Geologi Kuarter, Kepala Kelompok Magmatisme, dan semua anggota tim morfotektonik Semarang atas dukungannya sehingga diterbitkannya makalah ini.

ACUAN

- Anderson, E.M., 1951. *The Dynamic of Faulting and Dike Formation with application to Britain*. Oliver and Boyd, Edinburg, London, 2nd Edition, Revised.
<http://maps.google.nl/maps?f=g&hl=nl&geocode=&q=Semarang,+Indonesia&sll=-6.968148,100.427382&sspn=0.003472,0.005021&ie=UTF&t=k>
- Poedjoprajitno, S., Wahyudiono, J., dan Cita, A., 2007. Peran Morfologi Struktur Kaitannya Dengan Deformasi Landform Daerah Semarang Selatan. *Publikasi Khusus*, 1 (33), Pusat Survei Geologi, h.49-59.
- Pramumijoyo, S., 2000. Existing active fault at Semarang, Central Java, Indonesia: revealed by remote sensing and field observation. *Proceedings of the HOKUDAN International Symposium and School on Active Faulting*, Hyogo, Japan, h.383-385.
- Sampurno, 1979. Geologi teknik daerah Semarang. *Prosiding Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, h.1-24
- Santoso dan Kusumadinata, R.M.S., 1999. *Peta Geomorfologi Lembar Semarang dan Bagian Utara Ungaran, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simandjuntak, T.O., 2003. *Atlas Geologi Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sukardi dan Budhitrisna, T., 1992. *Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Thanden, R. E., Sumadiredja, H., Richards, P. W, Sutisna, K., dan Amin, T. C., 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W., 1970a. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA. Martinus Nijhoff, The Hague, 2nd ed.
- Verstappen, H. Th., 2000. *Outline of geomorphology of Indonesia*, ITC, The Netherlands, 212h.

<p>Naskah diterima : 18 Januari 2008 Revisi terakhir : 04 Juni 2008</p>
--