

STUDI PALEOSEISMOLOGI AKIBAT
BENCANA GEMPA BUMI DI ZONA SESAR KALIGARANG (KGFZ) DI SEMARANG

Fahrudin *)

Abstrack

Earthquake in the past can study with paleoseismology. Kaligarang fault zone will record the event of earthquake and result the sediment. The metode of research is detail field mapping and field excavation. Evidence of paleoseismology in the filed, we find the sand boil and carbon materials. We find two location of sand boil near with reverse faults. Sand boil to precipitate at unit B Kalibeng Formation. Phase tectonic to cause earthquake occure at late Miocene – Early Pliocene.

Key words: Kaligarang fault zone, paleoseismology, sand boil.

Pendahuluan

Penelitian mengenai kegempaan di Semarang dilakukan Lumbanbatu (2004) dalam Lumbunbatu dan Hidayat (2007). Dia menyebutkan bahwa kejadian gempa di daerah tersebut tercatat sejumlah 3.002 kali. Selanjutnya, disebutkan bahwa daerah ini patut dicermati sebagai daerah yang rentan terhadap bencana gempa bumi. Sedang penelitian tentang sesar aktif Kaligarang dilakukan oleh Helmy (2008), Poedjoprajitno dkk. (2008) dan Fahrudin dkk. (2011). Kegempaan yang terjadi di Semarang dapat diteliti dari urutan batuan atau stratigrafi. Kejadian gempa akan merekam sedimen. Gempa akan menyimpan endapan sedimen berupa aliran tanah organik (*peaty*), pasir, dan endapan rawa. Maka dari itu diperlukan studi paleoseismik untuk mengetahui proses kejadian gempa masa lalu. Rekaman gempa masa lalu akan berguna untuk mengetahui gempa yang akan datang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bukti-bukti kegempaan yang terjadi di masa lampau dan merekonstruksi kejadian gempa tersebut.

Dasar Teori

Paleoseismologi adalah ilmu yang mempelajari gempabumi masalampau (*paleoearthquake*) terutama mengenai lokasi, waktu, dan besarnya (Solonenko, 1973;Wallace, 1981 dalam McCalpin,1996). Fokus paleoseismologi adalah meneliti deformasi secara bersamaan dari bentuklahan dan sedimen selama gempabumi masalampau (C.R Allen, 1986 dalam McCalpin, 1996).

Bukti kegempaan ada dua yaitu bukti primer dan sekunder. Bukti paleoseismik primer dihasilkan dari deformasi tektonik yang menghasilkan pergerakan sepanjang bidang sesar meliputi gawir sesar, *fissure*, lapisan tersesarkan dan lain-lain. Sedangkan, bukti paleoseismik sekunder merupakan fenomena yang dihasilkan dari guncangan gempabumi meliputi gerakan massa,*sand blows*, *sanddikes* dan pepohonan yang mengalami kerusakan (Gambar 1). Bukti rekaman paleoseismik lebih jauh akan dibedakan apakah terletak pada bidang sesar (*on-fault* atau *near field feature*) atau yang terletak jauh dan jejak sesar (*off-fault*).

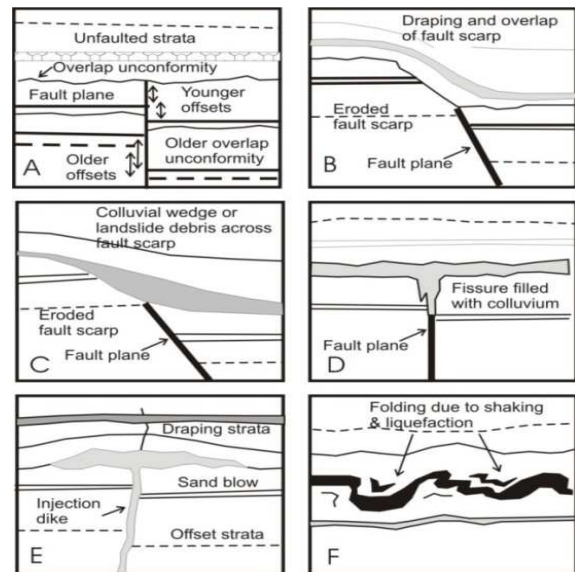
*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Bahan dan Metode Penelitian

Lokasi

Lokasi penelitian berada di Sungai Kaligarang sekitar daerah Tinjomoyo yang berada di Kota Semarang, Jawa Tengah.

Pemetaan geologi detail di sekitar Tinjomoyo. Mengidentifikasi bukti-bukti sekunder dari proses paleoseismologi. Ada dua lokasi di jumpai bukti paleoseismologi yang berupa *sand boil*. Satu lokasi penemuan *sand boil*, kemudian dilakukan *trenching* dengan panjang x lebar x tinggi adalah 6 x 1.5 x 4 m. Pengamatan mikrofossil untuk menentukan umur batuan dan pengisi rekahan.



Gambar 1. Pengisi material pada zona retakan dan bidang diskontinuitas



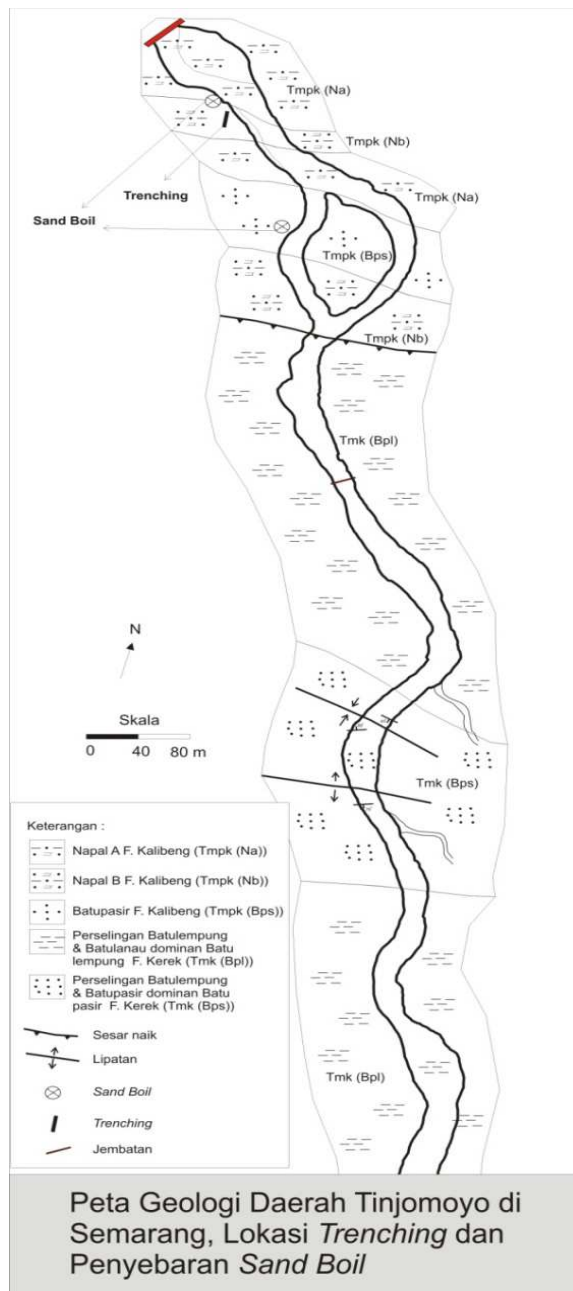
Gambar 2. Daerah penelitian di sekitar Kaligarang.

Hasil dan Pembahasan

Peta Geologi

Kondisi geologi daerah Tinjomoyo terbagi menjadi 5 unit yaitu Napal A Formasi Kalibeng (Tmk (Na)), Napal B Formasi Kalibeng (Tmk (Nb)), Batupasir Formasi Kalibeng (Tmk (Bps)), Perselingan Batulempung dan Batulanau dominan Batulempung (Tmk (Bpl)), dan Perselingan Batulempung dan Batupasir dominan Batupasir (Tmk (Bps)). (Gambar 3).

Napal A Formasi Kalibeng tersusun napal berwarna kekuningan, terdapat butiran batugamping berwarna putih kusam, ukuran kerikil dan keras. Napal tersebut mempunyai ukuran butir < 1/256 mm, sortasi baik dan kemas tertutup. Butiran batugamping ditemukan dalam jumlah yang cukup melimpah dalam singkapan (Gambar 4).



Gambar 3. Peta geologi daerah Tinjomoyo.

Analisis mikrofosil didapat fosil *Globorotalia menardii*, *Globigerina riveroae*, *Globorotalia tumida*, *Orbulina universa*, *Globorotalia pseudomioecnica*, *Sphaeroidinella dehiscons*. Berdasarkan analisis fosil tersebut, dapat ditentukan secara relatif bahwa unit batuan ini terbentuk pada Kala Miosen Akhir – Pliosen (N17 – N19). Napal B Formasi Kalibeng tersusun napal berwarna kehitaman. Napal tersebut mempunyai ukuran butir < 1/256 mm, sortasi baik dan kemas tertutup (Gambar 5). Batupasir Formasi Kalibeng tersusun batupasir halus berwarna abu abu kekuningan, bersifat karbonatan, mempunyai ukuran butir 1/8 – 1/4 mm, sortasi baik dan kemas tertutup. Pada batupasir ini terdapat pecahan cangkang dan dijumpai juga adanya sisipan batupasir kasar berwarna abu-abu (Gambar 6).

Perselingan Batulempung dan Batulanau dominan Batulempung tersusun batulempung dan batulanau. Batulempung berwarna abu-abu kebiruan, semen karbonatan. Sedangkan batulanau mempunyai warna abu-abu kebiruan, terdapat cangkang fosil moluska, gastropoda, mineral kehitaman (biotit dan hornblende), ada fragmen batulempung (Gambar 7). Analisis mikrofosil didapat fosil *Globigerinoides immaturus*, *Globorotalia archomenardii*, *Globigerina Venezuela-na*, *Orbulina universa*, *Globorotalia obesa*, *Globorotalia siakensis*, *Globigerinoides primordius*, *Globorotalia menardii*. Berdasarkan chart biozonasi yang dilakukan, diketahui umur relatif unit litologi ini adalah Miosen Tengah (N12 – N14). Perselingan Batulempung dan Batupasir dominan Batupasir tersusun batulempung dan batupasir. Batulempung berwarna abu-abu kebiruan, semen karbonatan. Sedangkan batupasir halus berwarna kekuningan, bersifat karbonatan, mempunyai ukuran butir 1/8 – 1/4 mm, sortasi baik dan kemas tertutup (Gambar 8).



Gambar 4. Unit Napal A Formasi Kalibeng.



Gambar 5. Unit Napal B Formasi Kalibeng.



Gambar 6. Unit Batupasir Formasi Kalibeng.



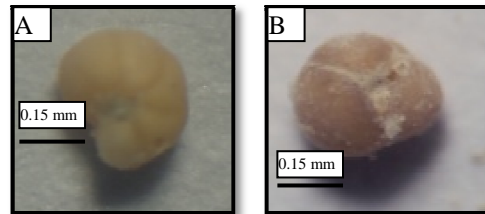
Gambar 7. Perselingan Batulempung dan Batulanau dominan Batulempung Formasi Kerek.



Gambar 8. Perselingan Batulempung dan Batupasir dominan Batupasir Formasi Kerek.

Pengisi Rekahan

Mikrofosil yang terdapat pada rekahan tersusun foraminifera yaitu *Globigerinoides immaturus*, *Globigerina venezuelana*, *Orbulina universa*, *Orbulina bilobata*, *Globorotalia pseudomiocenic* (Gambar 9A), *Sphaeroidinella subdehiscens* (Gambar 9B), dan *Globorotalia siakensis*. Hasil biozonasi (tabel 1) menunjukkan umur N13 – N14 (Miosen Tengah) atau seumur dengan Formasi Kerek.



Gambar 9. Foram A. *Globorotalia pseudomiocenic*, B. *Sphaeroidinella subdehiscens*.

Tabel 1. Biozonasi foraminifera pengisi rekahan.

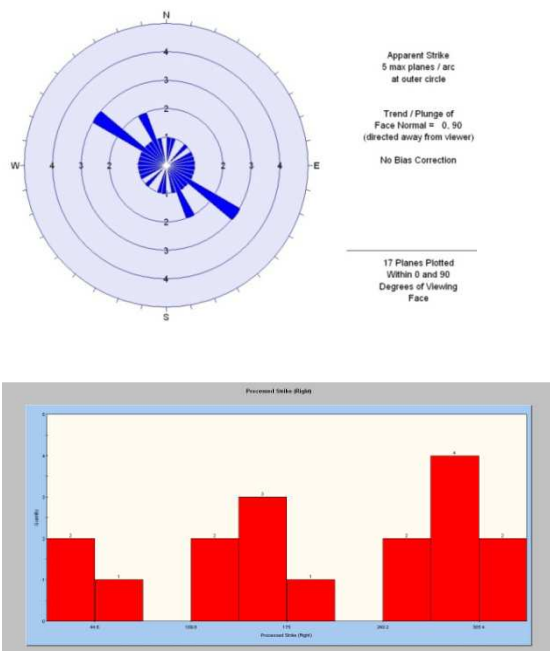
Spesies Foraminifera	Oligosen			Miosen											Pliosen		Pleistosen										
	Awal		Akhir	Awal	Tengah						Akhir	Awal	Akhir														
	P18	P19	P20	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	
<i>Globigerinoides immaturus</i>																											
<i>Globorotalia archomenardii</i>																											
<i>Globigerina venezuelana</i>																											
<i>Orbulina universa</i>																											
<i>Orbulina bilobata</i>																											
<i>Globorotalia pseudomiocenic</i>																											
<i>Sphaeroidinella Subdehiscens</i>																											
<i>Globorotalia siakensis</i>																											

Struktur Geologi

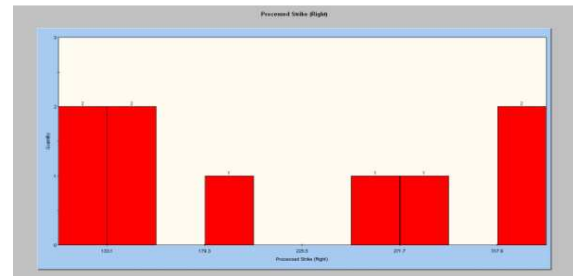
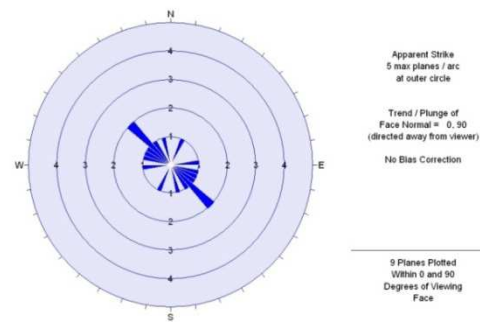
Struktur geologi yang dijumpai berupa perlapisan, kekar, dan sesar. Perlapisan yang terdapat di Formasi Kalibeng mempunyai *dip* antara $42^\circ - 58^\circ$, sedang di Formasi Kerek mempunyai *dip* antara $35^\circ - 86^\circ$. Kekar di Formasi Kalibeng berupa *shear fracture* dan *extension fracture*, berikut tabel 2, stereonet dan histogram (Gambar 10,11).

Tabel 2. Bidang Rekahan di Formasi Kalibeng

Rekahan	
<i>Shear fracture</i>	<i>extension fracture</i>
N 180° E/ 75°	N 285° E/ 60°
N 311° E/ 70°	N 200° E/ 67°
N 161° E/ 65°	N 139° E/ 74°
N 254° E/ 80°	N 120° E/ 75°
N 155° E/ 72°	N 134° E/ 64°
N 275° E/ 64°	N 110° E/ 71°
N 285° E/ 64°	N 323° E/ 76°
N 44° E/ 74°	N 260° E/ 80°
N 145° E/ 84°	N 341° E/ 84°
N 65° E/ 82°	
N 338° E/ 66°	
N 264° E/ 75°	
N 300° E/ 79°	
N 299° E/ 78°	
N 127° E/ 80°	
N 12° E/ 67°	



Gambar 10. Stereonet dan histogram *shear fracture* pada Formasi Kalibeng.

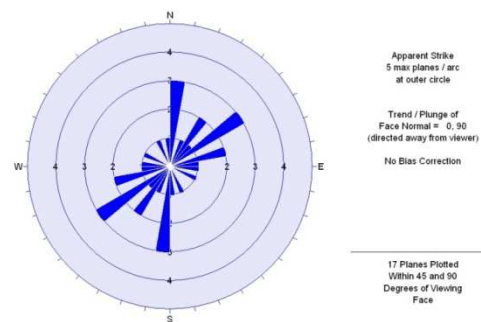


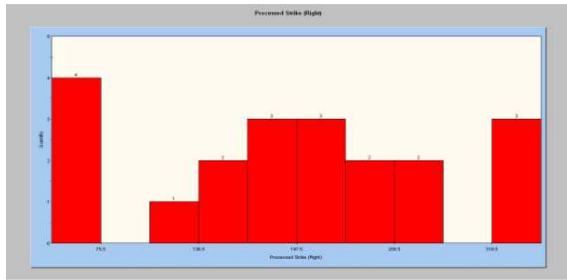
Gambar 11. Stereonet dan histogram pada *extension fracture* Formasi Kalibeng.

Kekar di Formasi Kerek berupa *shear fracture* dan *extension fracture*, berikut tabel 3, stereonet dan histogram (Gambar 12).

Tabel 3. Bidang Rekahan di Formasi Kerek

Rekahan	
N 320° E/ 40°	N 267° E/ 65°
N 230° E/ 81°	N 186° E/ 85°
N 45° E/ 63°	N 334° E/ 15°
N 140° E/ 25°	N 180° E/ 81°
N 55° E/ 70°	N 210° E/ 55°
N 56° E/ 54°	N 270° E/ 88°
N 70° E/ 66°	N 110° E/ 75°
N 200° E/ 48°	N 210° E/ 60°
N 183° E/ 89°	N 150° E/ 90°
N 255° E/ 72°	N 350° E/ 70°





Gambar 12. Stereonet dan histogram *fracture* pada Formasi Kerek

Di desa Persen dijumpai sesar naik (*reverse fault*) dengan bidang $N110^{\circ} E/65^{\circ}$, sedang di Pentul dijumpai sesar geser manganan dengan bidang $N303^{\circ} E/8^{\circ}$. Batas antara Formasi Kerek dan Kalibeng diinterpretasikan sebagai sesar naik.

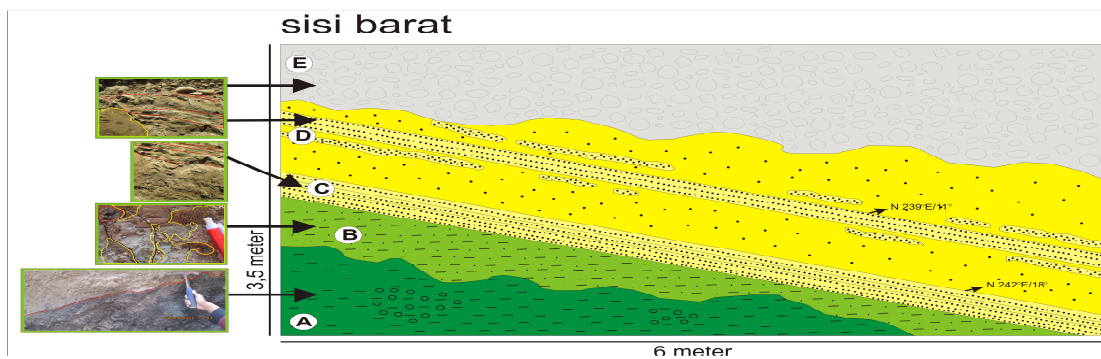
Trenching dan Sand boil

Sand boil dijumpai pada unit Napal B Formasi Kalibeng dan Batupasir Formasi Kalibeng (Gambar 3).

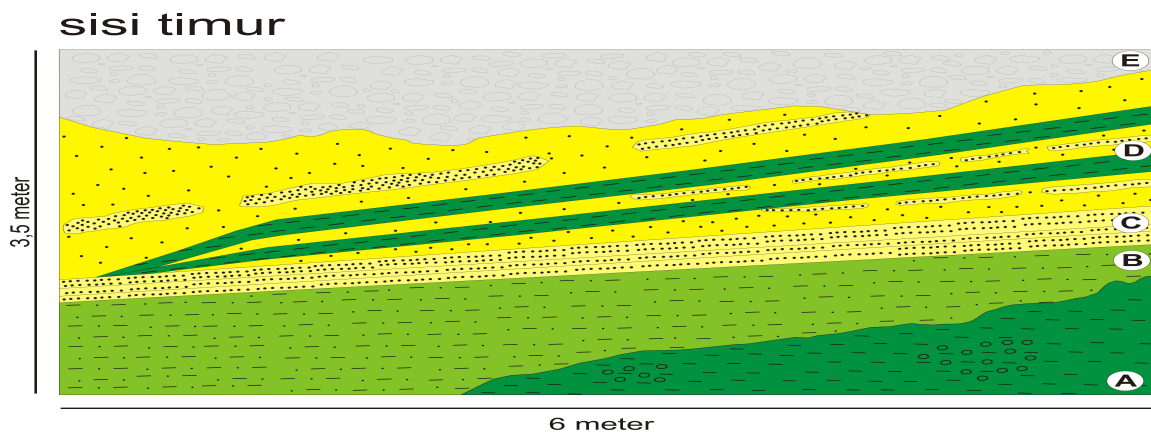
Trenching dilakukan di dekat dimana dijumpai *sand boil*. Bentuk parit berupa balok persegi panjang, sehingga terdapat empat sisi dinding. Empat sisi dinding yang dideskripsi meliputi sisi barat (Gambar 13), timur (Gambar 14), utara dan selatan (Gambar 15). Unit batuan terbagi menjadi 5 unit yaitu:

1. Unit A: Batulempung hitam, terdapat fragmen kerikil, warna kehitaman, non karbonatan, fragmen batugamping berwarna putih kusam.
2. Unit B: Batulanau, rekahan terisi material pasir berukuran kasar, fragmen karbon, fragmen batuan beku berukuran kerikil dan batulempung hitam, matrik batupasir karbonatan, batulanau karbonatan.
3. Unit C: Batupasir, struktur laminasi, karbonatan, batupasir berukuran sedang.
4. Unit D: Batupasir ukuran butir sedang, massif, terdapat sisipan batulempung, lensa batupasir, struktur laminasi.
5. Unit E. endapan alluvial, ukuran pasir – bongkah, *unconsolidated*, endapan sungai.

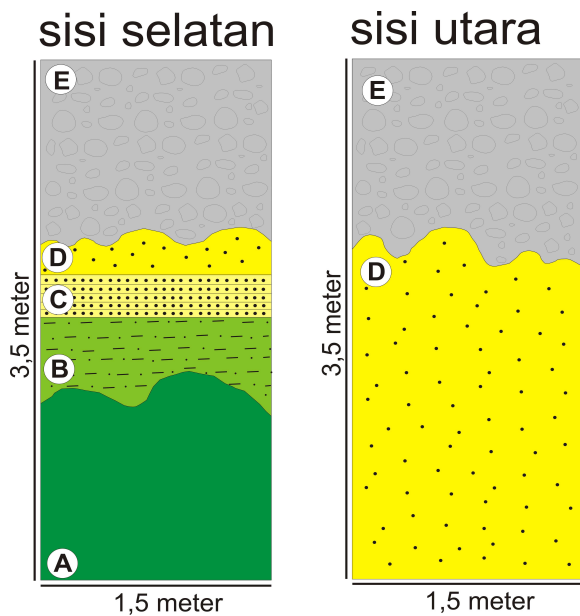
Rekahan, fragmen karbon dan *sand boil* terdapat di lapisan batuan unit B. Rekahan pada unit ini tidak teratur dan *sand boil* terendapan pada lapisan batulanau Formasi Kalibeng. Kontak antara unit A dan unit B menunjukkan kontak selaras. Unit A, B, C, dan D masuk dalam Formasi Kalibeng. Selain *sand boil* yang terdapat di horizon unit B sebagai bukti adanya kegempaan massa lampau, juga ditemukan fragmen karbon yang berukuran kerikil. Karbon ini juga menunjukkan bukti adanya kegempaan.



Gambar 13. Urutan unit stratigrafi pada sisi barat .



Gambar 14. Urutan unit stratigrafi pada sisi timur.



Gambar 15. Urutan unit stratigrafi pada sisi selatan dan utara .

Sintesis Struktur Geologi, Stratigrafi dan Paleoseismologi

Bukti sekunder adanya aktifitas kegempaan pada zaman Miosen Akhir – Pliosen Awal berupa *sand boil* yang mengisi rekahan pada batulanau Formasi Kalibeng. Rekahan ini merupakan bagian dari *off fault*. Kegiatan tektonik daerah penelitian terbagi menjadi 5 fase sebagai berikut (Gambar 16):

1. Fase 1: Pembentukan lipatan dan *pre-existing fracture* sesar naik dengan bidang $N110^{\circ} E/65^{\circ}$ pada Formasi Kerek. Kegiatan ini terjadi pada Miosen Tengah.
2. Fase 2: Secara tidak selaras diendapkan Formasi Kalibeng dan unit A Formasi Kalibeng sampai batuan ini terlipatkan dengan dip antara $42^{\circ} - 58^{\circ}$.
3. Fase 3: Reaktifasi sesar naik, secara selaras diendapkan unit B, C, dan D Formasi Kalibeng dan terjadi kegempaan (coseismik) di sekitar sesar naik sehingga menghasilkan *sand boil* di horizon unit B. Proses ini terjadi pada Miosen Akhir – Pliosen Awal.
4. Fase 4: Proses Pengangkatan Formasi Kerek terus terjadi sampai melalui bidang sesar naik. Proses ini terjadi pada Plio – Plistosen.
5. Fase 5: Pada Holosen aktifitas endapan sungai menutupi Formasi Kalibeng dan Kerek.

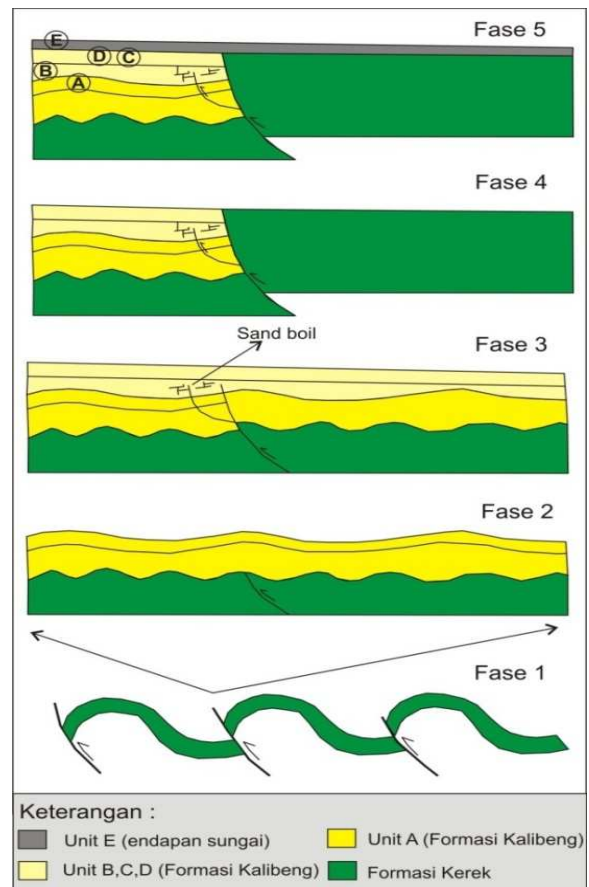
Arah *shear fracture* dan *extension fracture* pada Formasi Kalibeng menunjukkan arah yang relatif sama yaitu NW-SE, hal ini menunjukkan secara tektonik pembentukan *fracture* berbeda waktunya. Berarti pada Formasi Kalibeng minimal terjadi tektonik dua kali.

Fase 3 merupakan tektonik yang kedua pada Formasi Kalibeng yang menyebabkan terjadinya *sand boil* dan membentuk unit horizon B.

Diskusi

Paleoseismologi teridentifikasi secara relatif dengan dijumpainya *sand boil* dan karbon yang terdapat pada unit horizon B Formasi Kalibeng. Tektonik ini menyebabkan anggota unit B, C, D diendapkan secara selaras di atas Formasi Kalibeng unit A. Pada masa pembentuk Formasi Kalibeng terjadi dua kali tektonik dan tektonik terakhir ini yang menghasilkan bukti kegempaan (coseismik). Kegempaan ini terjadi pada Miosen Akhir – Pliosen Awal.

Bukti kegempaan terdapat pada batuan Formasi Kalibeng yang berumur Miosen Akhir – Pliosen Awal, sedangkan kegempaan pada Holosen belum menemukan buktinya. Endapan sungai yang dijumpai sebagai bukti kegiatan pada Holosen, tidak dijumpai bukti-bukti kegempaan.



Gambar 16. Fase tektonik terbentuknya kegempaan massa lampau.

Kesimpulan

1. Kegempaan masa lampau terjadi pada Miosen Akhir – Pliosen Awal dengan ditandai adanya *sand boil* dan karbon di sekitar sesar naik serta adanya zona *fracture* pada unit B Formasi Kalibeng.
2. Kejadian tektonik di daerah penelitian terdiri atas 5 fase, kegempaan terjadi dengan ditandai reaktifasi sesar naik pada fase 3 dan 4.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drajat Agung P dan Rizqika MO. Juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Undip atas dana DIPA tahun 2012.

Daftar Pustaka

1. Fahrudin dan Tri Winarno, 2012. Model Deformasi Getas Di Zona Sesar Kaligarang (KGFZ) Semarang: Studi Awal Pengamatan Mikrostruktur Menggunakan Metode Petrografi. Jurnal Teknik Undip Vol. 32 No.2. Semarang.
2. Fahrudin dan Tri Winarno, 2012. Model Deformasi Getas Di Zona Sesar Kaligarang Semarang. Jurnal Sumberdaya Geologi Bln Juni. Pusat Survei Geologi. Bandung.
3. Fahrudin, dkk. 2011. Studi Sesar Aktif, Kinematik, dan Dinamik Zona Sesar Kaligarang (KGFZ) Di Semarang. Proceeding JCM Makassar 2011, The 36th HAGI and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition, Makassar.
4. Helmy, Murwanto. 2008. Kajian Geologi dan Neotektonik untuk Melaraskan Program Pembangunan Di Wilayah Kota Semarang, Jawa Tengah. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, UPN Veteran Yogyakarta. Tidak dipublikasikan.
5. Kerry Sieh, "Paleoseismology", in AccessScience@McGraw-Hill, <http://www.accessscience.com>, DOI 10.1036/1097-8542.757342.
6. Keller, E.A., and Pinter, N. 1996. *Active tectonic earthquake, uplift and landscape*, Prentice hall, Upper saddle river, New Jersey 07458: 338 pp.
7. Kertapati, E.K. 2006. Studi Tektonik Daerah Muria untuk *Seismic Hazard Assesment* Keselamatan Pusat Listrik Reaktor Daya Ujung Lemahabang, Muria Jawa Tengah. Indonesia Geological Survey Institute Indonesia.
8. Lumbanbatu, U. M dan Suyatman Hidayat. 2007. Evaluasi Awal Kerentanan Pelulukan/Likuefaksi daerah Kendal dan Sekitarnya, Jawa Tenga. Jurnal Geologi Indonesia, Vol.2 No. 3. Bandung.
9. Poedjoprajitno, S., Wahyudiono, J., dan Cita, A. 2008. Reaktivasi Sesar Kali Garang, Semarang. Jurnal Geologi Indonesia Vol.3(3): 129-138.
10. Pramumijoyo, S. 2000. *Existing Active Faults at Semarang Central Java, Indonesia: Revealed by Remote Sensing and Field Observation. Proceeding of the HOKUDAN International Symposium and School on Active Faulting*. Hyogo, Japan. pp. 383-385.

