

ANALISA STRUKTUR GEOLOGI DI DAERAH WATUPATOK, KECAMATAN BANDAR, KABUPATEN PACITAN, PROVINSI JAWA TIMUR

Arifani Setyawan, Carolus Prasetyadi, dan Ediyanto

Prodi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPNYK Jl. SWK 104 Condongcatur Yogyakarta

Sari – Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM-WGS84 zona 48 S) 0529264 – 0534264mT dan 9121348 – 9116348mU. Secara administratif daerah penelitian terletak pada daerah Watupatok dan sekitarnya, Kecamatan Bandar, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur.

Pola pengaliran yang berkembang pada daerah telitian adalah pola pengaliran ubahan subtrellis. Aspek-aspek geomorfologi pada daerah penelitian dibagi menjadi dua satuan bentuk asal antara lain bentuk asal struktural berupa perbukitan struktural (S1) serta bentuk asal vulkanik berupa punggung lava (V1) dan bukit intrusi (V2). Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat satuan batuan. Satuan batupasir Dayakan merupakan satuan batuan paling tua, diatasnya terendapkan satuan lava Watupatok secara selaras dengan bentuk menjari, diatas kedua satuan tersebut terendapkan satuan batupasir Semilir secara selaras dan menjari terhadap dua satuan dibawahnya. Ketiga satuan tersebut berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal. Satuan paling muda merupakan litodemik andesit yang menerobos ketiga lapisan sebelumnya.. Struktur yang berkembang berupa sesar dan kekar. Arah umum stuktur geologi yang berkembang adalah baratlaut-tenggara yang diketahui dari analisa kekar gerus secara keseluruhan didaerah telitian. Sesar daerah telitian dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan arah relatifnya antara lain sesar berarah baratlaut-tenggara dan sesar berarah timurlau- baratdaya. Tegasan yang berpengaruh pada daerah telitian merupakan tegasan berumur Miosen Awal yang berarah baratlaut-tenggara (C. I. Abdullah 2003). Sesar-sesar yang terbentuk didaerah telitian merupakan hasil *Shear Stress* (Means,1976) dan memiliki hubungan antar sesar bertipe *Conjugate Aray* (Ben A. Van der Pluijm & Stephen Marshak 2004)

Kata-kata Kunci : Provenance, Formasi Semilir Semilir Formation, Tectonic Setting

PENDAHULUAN

Menurut Metcalfe (1996), terdapat 29 lempeng yang berada di Asia Tenggara. Khususnya di Indonesia merupakan kumpulan pertemuan lempeng benua, lempeng benua, lempeng akresi dan mikro kontinen. Akibat hal tersebut mengakibatkan Indonesia menjadi zona yang komplek dan banyak terbentuk struktur geologi. Secara tektonik, Pulau Jawa dipengaruhi oleh dua lempeng yang saling berinteraksi secara konvergen antara lempeng benua Eurasia dengan lempeng samudra Indo Australia dan lempeng benua Eurasia dengan mikro kontinen Jawa Timur (C.Prasetyadi, 2007). Akibat adanya interaksi lempeng tersebut, Pulau Jawa memiliki 3 arah tegasan utama, yaitu tegasan Meratus (Timut laut-Barat Daya), tegasan Jawa (Barat-Timur) dan tegasan Sunda (Utara-Selatan) (Pulunggono & Martodjoyo, 1994).

Kabupaten Pacitan merupakan daerah yang dilalui oleh banyak sesar. Menurut peta geologi regional lembar Ponorogo (Sampurno dan Samodra, 1997) dan peta geologi regional lembar Pacitan (Samodra, Gafoer dan Tjokrosapoetro, 1992), kabupaten Pacitan dilalui oleh sesar Dayakan, sesar Pakis, sesar Melokolegi, sesar Tegalombo dan sesar Grendulu. Dengan indikasi tersebut menunjukkan daerah telitian memiliki kondisi yang kompleks khususnya berkaitan dengan struktur geologi.

Untuk mengetahui detail struktur geologi yang berkembang diperlukan kegiatan pemetaan geologi dan aspek aspek struktur geologi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu upaya dalam penanganan di daerah telitian. Lokasi telitian berada pada didaerah Watupatok dan sekitarnya, Kecamatan Bandar, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur.

Tabel 1. Koordinat daerah telitian

z	Koordinat	No.	Koordinat
1.	X: 0529264 Y: 9121348	3.	X: 0534264 Y: 9116348
2.	X: 0534264 Y: 9121348	4.	X: 0529264 Y: 9116348

GEOLOGI DAERAH TELITIAN

Geomorfologi

Satuan bentuk lahan di daerah telitian didasarkan aspek aspek-aspek geomorfologi menurut Van Zuidam (1985), maka daerah telitian dibagi menjadi 3 satuan bentuk lahan, antara lain Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Struktural (S1), Bukit Intrusi (V1) dan Punggungan Lava (V2).

Satuan Bentuk Lahan Perbukitan

Struktural (S1)

Secara aspek morfologi, ditinjau dari aspek morfometrinya berupa perbukitan yang menyebar pada seluruh luasan daerah penelitian dengan kelerengan relatif landai sampai curam, memiliki elevasi 650 – 1050 mdpl, tingkat pengerosian kuat-lemah dengan lembah relatif U-V, pola pengaliran subtrellis menempati 35% luas daerah penelitian. Secara aspek morfogenesis, morfostruktur aktif berupa kedudukan perlapisan batuan, kelurusan pada bukit-bukit serta struktur geologi berupa pensesaran dan pengkekanan. Litologi berupa batuan sedimen dan lava yang memiliki resistensi sedang-kuat, dengan proses eksogen yang mempengaruhi berupa pelapukan dan erosi.

Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses struktural berupa pensesaran dan pengkekanan maka satuan ini dimasukkan ke dalam Satuan bentuk lahan perbukitan struktural.

Satuan Bentuk Lahan Bukit Intrusi (V1)

Secara aspek morfologi, ditinjau dari aspek morfometrinya berupa bukit yang setempat dengan kelerengan relatif agak curam (15°), memiliki elevasi 775 – 837 mdpl, tingkat resistensi kuat, menempati 5% secara setempat pada daerah penelitian.

Secara aspek morfogenesis, morfostruktur pasif berupa batuan beku intrusif andesit yang memiliki resistensi kuat, dengan proses eksogen yang mempengaruhi berupa pelapukan dan erosi.

Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses vulkanik berupa intrusi maka satuan ini dimasukkan ke dalam Satuan bentuk lahan bukit intrusi.

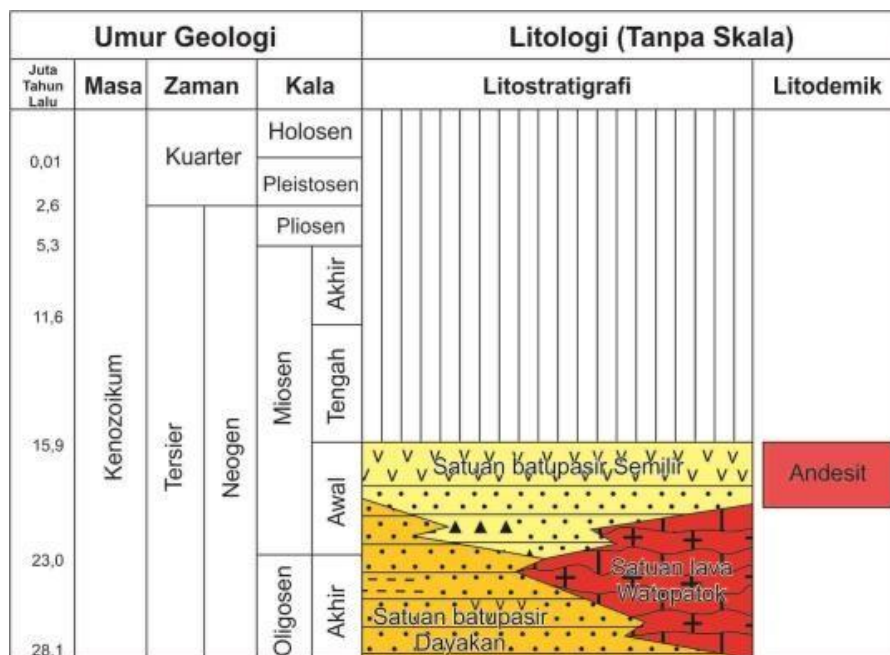
Satuan Bentuk Lahan Punggungan Lava (V2)

Secara aspek morfologi, ditinjau dari aspek morfometrinya berupa bukit-bukit yang memiliki kelurusan kelurusan punggungan yang menyebar didaerah telitian dengan kelerengan relatif landai- curam (2° - 35°), memiliki elevasi 650 – 900 mdpl, tingkat pengerosian kuat-lemah dengan lembah relatif U, menempati 60% secara setempat pada daerah penelitian. Secara aspek morfogenesis, morfostruktur pasif berupa lava yang memiliki resistensi kuat, dengan proses eksogen yang mempengaruhi berupa pelapukan dan erosi.

Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses vulkanik berupa lava yang melidah membentuk kelurusan bukit maka satuan ini dimasukkan ke dalam Satuan bentuk lahan punggungan lava.

STRATIGRAFI

Satuan batuan daerah telitian mengikuti tatanama menurut kaidah Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dan mengacu pada peneliti terdahulu menurut Sampurno dan H. Samudro (1997), maka stratigrafi daerah telitian dari tua ke muda meliputi Satuan batupasir Dayakan, Satuan lava Watupatok, Satuan batupasir Semilir dan Intrusi Andesit.



Gambar 1. Stratigrafi Daerah Telitian

Satuan batupasir Dayakan

Satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi Dayakan (Sampurno dan H. Samudro, 1997). Berdasarkan temuan di lapangan, didominasi litologi batupasir vulkanik berselingan dengan batulempung dan sisipan tuff setempat.

Batupasir vulkanik dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kecoklatan, ukuran butir pasir sangat halus – pasir kasar, fragmen didominasi plagioklas dan hornblende, struktur yang umum dijumpai berupa perlapisan sejajar dan laminasi. Sedangkan pada batulempung hitam dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kehitaman, ukuran butir lempung, struktur nya laminasi dan perlapisan berjajar.

Berdasarkan dari variasi litologi menunjukkan Satuan batupasir Dayakan diendapkan pada Fasies Medial gunung api bawah laut berdasarkan kehadiran lempung dan tuff. Umur satuan ini yaitu Oligosen Akhir – Miosen Awal (Sampurno dan H. Samudro, 1997)

Satuan lava Watupatok

Satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi Watupatok (Sampurno dan H. Samudro, 1997). Berdasarkan temuan di lapangan, satuan ini didominasi litologi lava andesit-basalt. Lava andesit-basalt dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kecoklatan, tekstur porfiroafinitik, mineral primer penyusun berupa plagioklas, hornblende, piroksen dan gelas serta struktur yang umum dijumpai berupa lava bantal, *autobreccia*, *sheeting joint* dan vesikuler. Berdasarkan dari variasi litologi dan strukturnya menunjukkan Satuan lava Watupatok diendapkan pada Fasies Proximal gunung api bawah laut. Satuan ini berumur Oligosen – Miosen Awal (Sampurno dan H. Samudro, 1997).

Satuan batupasir Semilir

Satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi Semilir (Sampurno dan H. Samudro, 1997). Berdasarkan temuan dilapangan, satuan ini didominasi litologi batupasir vulkanik berselingan dengan tuff dan breksi setempat. Batupasir vulkanik dicirikan dengan kenampakan Batupasir vulkanik dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kecoklatan, ukuran butir pasir sangat halus– pasir sedang, fragmen didominasi plagioklas dan hornblende, struktur yang umum dijumpai berupa perlapisan sejajar dan masif.

Hasil pengamatan dilapangan ditemukan kehadiran kalsit pada kekar yang mengindikasikan satuan ini diendapkan pada laut dangkal-peralihan, serta berdasarkan variasi litologi satuan ini diendapkan pada Fasies Medial gunung api berdasarkan kehadiran tuff dan breksi. Umur satuan ini yaitu Miosen Awal (Sampurno dan H. Samudro, 1997).

Intrusi Andesit

Berdasarkan temuan dilapangan, litologi yang dominan adalah intrusi batuan beku dengan komposisi intermediet-basa (andesit).

Satuan ini dicitikan dengan kenampakan lapangan warna hitam abu-abu hingga hitam dengan tekstur holokristalin fanerik halus-fanerik sedang, inequigranular porfiritik, euhedral-anhedral dengan mineral penyusun yaitu kuarsa plagioklas, hornblende, piroksen dan mineral opak serta memiliki struktur masif.

Satuan ini menerobos semua satuan di atasnya sehingga diinterpretasikan umur satuan ini Miosen Awal bagian atas.

STRUKTUR GEOLOGI

Pola Kelurusan

Pola kelurusan daerah penelitian diperoleh dari hasil penarikan sungai, bukir dan punggung berdasarkan citra SRTM, didapatkan arah umum barat laut- tenggara.

Struktur Geologi yang Berkembang

Struktur geologi pada daerah telitian berkembang dengan baik dan sistematis. Struktur kekar didaerah telitian berkembang dengan sistematis, sehingga terbentuk kekar gerus dan kekar tarik. Kekar gerus yang jauh dari zona rekahan dan sesar digunakan untuk menentukan tegasan purba didaerah telitian, setelah dianalisa didapatkan arah tegasan barat laut – tenggara.

Selain kekar, banyak juga dijumpai sesar yang dikelompokkan berdasarkan arahnya, yaitu Kelompok sesar berarah timur laut – barat daya dan Kelompok sesar berarah barat laut – tenggara.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu :

Tahap Akuisisi

Adapun tahapan akuisisi meliputi persiapan studi pustaka daerah, interpretasi studio (SRTM dan peta topografi) dan melakukan pengamatan lapangan (observasi geomorfologi, singkapan, pengambilan data geologi dan dokumentasi)

Tahap Analisis

Tahapan ini meliputi analisa laboratorium dan studio sehingga menghasilkan peta (Peta geomorfologi, Lintasan dan Geologi) dan hasil analisa (mikropaleontologi, petrografi, sedimen dan stratigrafi dan struktur geologi).

Tahap Sintesis

Tahapan ini menghasilkan informasi mengenai geologi daerah telitian berupa lisan maupun visual (Laporan, peta dan stratigrafi terukur)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada daerah telitian telah dilakukan beberapa pendekatan-pendekatan sebagai dasar analisis struktur geologi. Tahap pertama mencari informasi dan literatur, tahap kedua mengamatai dan menganalisis data hasil dari lapangan, tahap ketiga mempelajari literatur tektonik regional dan diterapkan dalam analisa genesa struktur geologi.

Analisis Deskriptif

Kekar

Struktur kekar didaerah telitian berkembang secara sistematis dengan jenis kekar gerus (hasil *compressional stress*) dan kekar tarik (hasil *tentional stress*).

Sesar

Struktur sesar didaerah telitian berkembang secara sistematis dan memiliki pola tertentu. Penentuan sesar di daerah telitian meliputi bidang sesar, breksiasi, gores-garis, *slickenslide*, kekar gerus dan kekar tarik serta data kelurusan. Berdasarkan hal tersebut, peneliti mengelompokkan menjadi beberapa sesar, yaitu :

- Sesar Bandar
- Sesar Watupatok
- Sesar Bangunsari
- Sesar Ploso
- Sesar Tumpuk
- Sesar Tahunan

Analisis Kinematik

Tahap analisis kinematik, dilakukan berdasarkan pada hasil analisa studio. Berdasarkan arah umumnya, struktur sesar di daerah telitian dikelompokkan menjadi

2 arah yaitu :

Tabel 2. Kelompok Sesar Berarah Tenggara – Barat Laut

Kelompok Sesar Berarah Tenggara-Barat Laut						
Nama Sesar	No LP	Kedudukan Bidang Sesar	Gores Garis	Shear Fracture	Gash Fracture	Klasifikasi Sesar (Rickard, 1972)
Sesar Bandar	42	N 328° E / 76°		N 100° E / 84°	N 016° E / 67°	Reverse Left Slip Fault
Sesar Watupatok	75	N 192° E / 77°	12° , N 328° E			Normal Left Slip Fault
	92	N 145° E / 78°		N 187° E / 73°	N 117° E / 86°	Left Slip Fault
Sesar Bangunsari	8	N 008° E / 66°		N 008° E / 68°	N 123° E / 56°	Reverse Right Slip Fault
	17	N 125° E / 65°		N 108° E / 64°	N 142° E / 68°	Right Slip Fault
Sesar Tahunan	113	N 165° E / 56°	33° , N 190° E			Reverse Right Slip Fault

Tabel 3. Kelompok Sesar Berarah Barat Daya – Timur Laut

Nama Sesar	No LP	Kedudukan Bidang Sesar	Gores Garis	Shear Fracture	Gash Fracture	Klasifikasi Sesar (Rickard, 1972)
Sesar Ploso	5	N 037° E / 74°		N 025° E / 74°	N 345° E / 76°	Left Slip Fault
Sesar Tumpuk	29	N 104° E / 76°		N 195° E / 81°	N 090° E / 79°	Left Slip Fault
	60	N 063° E / 78°		N 079° E / 80°	N 019° E / 80°	Left Slip Fault

Analisa Dinamik

Mekanisme Pembentukan Struktur Geologi

Struktur geologi pada daerah telitian khususnya struktur sesar, ditemukan sesar yang paling tua yaitu sesar mendatar arah baratlaut-tenggara yakni Sesar Mendatar Kanan Bandar dan Sesar Mendatar Kiri Watupatok. Sesar Mendatar Kanan Bangunsari yang berarah baratlaut- tenggara dipotong oleh Sesar Mendatar Kiri Ploso yang berarah baratdaya- timurlaut. Kemudian terbentuk Sesar Mendatar Mendata Kiri Tumpuk dan Sesar Mendatar Kanan Tahunan, secara topografi Sesar Tahunan memotong Sesar Tumpuk, terlihat dari kemerusan bukit bukit pada daerah sekitar Sesar Tahunan.

Genesa Struktur Geologi

Interpretasi genesa struktur geologi pada daerah telitian berdasarkan hasil analisa baik kekar maupun sesar pada daerah menunjukkan bahwa daerah telitian memiliki arah tegasan secara umum berarah baratlaut-tenggara. Tegasan tersebut berhubungan erat dengan terbentuknya sesar-sesar yang terdapat pada daerah telitian yang dikelompokkan mejadi 3 urutan sesar berpasangan yaitu sesar berpasangan Sesar Bandar dan Sesar Watupatok yang memiliki tegasan σ_1 rata- rata sebesar 16°, N 329° E, kemudian sesar berpasangan Sesar Bangunsari dan Sesar Ploso yang memiliki tegasan σ_1 rata-rata sebesar 33°, N 339° E dan sesar berpasangan Sesar Tumpuk dan Sesar Tahunan yang memiliki tegasan σ_1 rata- rata sebesar 20°, N 330° E. Dari hasil interpretasi tersebut, pola tegasan pada daerah telitian berasal dari arah baratlaut- tenggara (C. I. Abdullah, 2003).

Banyaknya terbentuk sesar mendatar dan tidak berkembangnya sesar naik-ataupun sesar normal pada daerah telitian, maka *stress* pada daerah telitian tidak tegak lurus terhadap bidang atau bisa disebut *Shear Stress* (Means, 1976).

Pola Geometri Sesar

Hubungan antara sesar-sesar pada daerah telitia memperlihatkan po;a geometri sesar lebih kepada pola antara sesar satu dengan sesar yang lain. Hubungan antara sesar- sesar tersebut bisa disebut *Fault system* atau *Fault array* (Ben A. Van der Pluijm & Stephen Marshak, 2004) (Gambar 5.18). Pola sesar-sesar yang terbentuk pada

daerah telitian berdasarkan klasifikasi geometri sistem sesar menurut Ben A. Van der Pluijm & Stephen Marshak, 2004, maka pola geomteri sesar di daerah telitian masuk ke dalam tipe *Conjugate Array*.

KESIMPULAN

Geologi daerah telitian meliputi :

1. Bentuk Asal daerah telitian terbagi menjadi 3 satuan bentuk lahan, antara lain Perbukitan Struktural (S1), Bukit Intrusi (V1) dan Punggungan Lava (V2).
2. Stratigrafi daerah telitian dapat diabgi menjadi 4 satuan batuan dari tua ke muda yaitu Satuan batupasir Dayakan, Satuan lava Watupatok, Satuan batupasir Semilir dan Intrusi Andesit.
3. Struktur geologi daerah telitian meliputi kelurusan-kelurusan, kekar dan sesar. Kekar gerus memiliki arah tegasan barat laut – tenggara. Sesar daerah telitian dibagi menjadi 2 berdasarkan arah umunya, kelompok sesar berarah barat laut - tenggara dan kelompok sesar berarah timur laut – barat daya.
4. Potensi geologi daerah telitian berupa tambang batu asah dan soil, mata air dan potensi gerakan massa.
5. Urutan sejarah geologi daerah telitian dibagi menjadi 3 proses yaitu periode vulkanisme Oligosen Akhir, kemudian periode Oligosen Akhir-Miosen Awal dan periode subduksi Miosen Awal.
6. Hasil analisis struktur geologi daerah telitian :
 - Terdapat kekar berjenis kekar gerus sebagai hasil dari *compressional stress* dan kekar tarik sebagai hasil dari *tensional stress*.
 - Terdapat sesar yang dikelompokkan menjadi 2 yaitu kelompok sesar berarah tenggara – barat laut (Sesar Bandar, Sesar Watupatok, Sesar Bangunsari dan Sesar Tahunan) dan kelompok sesar timur laut – barat daya (Sesar Ploso dan Sesar Tumpuk).
 - Sesar yang terbentuk dahulu adalah sesar Bandar dan sesar Watupatok. Kemudian dipotong oleh sesar Bangunsari dan sesar Ploso. Lalu terbentuk sesar Tumpuk dan sesar Tahunan
 - Berdasarkan tegasan σ_1 , semua sesar tersebut berasal dari tegasan berarah barat laut-tenggara
 - Hubungan antar sesar didaerah telitian memperlihatkan pola geometri berupa *conjugate array* (Klasifikasi Ben A. Van der Pluijm & Stephen Marshak, 2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.I., Magetsari, N.A., Purwanto, H.S., 2003, *Analisis Dinamik Tegasan Purba pada Satuan Batuan Paleogen – Neogen di Daerah Pacitan dan Sekitarnya, Provinsi Jawa Timur Ditinjau dari Studi Sesar Minor dan Kekar Tektonik*, Proc. ITB Sains & Tek. Vol 35, Bandung.
- Ageng Kinasti, Mekar. 2014. *Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Gerakan Tanah di Dusun Windusari, Desa Metawan, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Ilmiah MTG Volume 7 no 1. Yogyakarta.
- Asikin, S., 1997, *Geologi Struktur Indonesia*, Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung
- Ben A. Van Der Pluijm & Stephen Marshak, 2004. *Earth Structure*, London, W.W. Norton Company. hal 195
- Boggs, S. 2006. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Fourth Edition.
- Fossen, H., 2010, *Structural Geology*, Cambridge University Press. New York: Pearson Education, Inc.
- Gendoet Hartono, Hill. 2008. *Magamtisme dan Stratigrafi Gunung Api Pegunungan Selatan Jawa Timur*. Presented at Pacitan, 12-13 Maret 2008. Pacitan
- Gultaf, H., B. Sapiie, M. Syaiful, A.Bachtiar & A.P. Fauzan (2015)- *Paleostress analysis of Grindulu Fault in Pacitan and surrounding area its implication to regional tectonic of East Java*. Proc. 39th Ann. Conv. Indon. Petroleum Assoc. (IPA), Jakarta, IPA15-G-059, 34p.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Jakarta.
- Moody, J. D. & Hill, M. J., *Wrench Fault Tectonics*, Geological Society of America Bulletin, v. **67**, p.1207 – 1246 (1956).
- Muchamad, Arief. 2016. *Hidrogeologi Mata Air dan Pengelolaan Air Tanah daerah Batugamping dan Vulkanik: Studi Pengamatan Desa Tagog Apu dan Desa Tarengtong, Kabupaten Bandung Barat serta Desa Cigadung, Kotamadya Bandung*. Pascasarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran: Bandung.
- Saefudin, I. (1994)- *Pentarikhan jejak belah terhadap batuan terobosan dasit dan andesit daerah Pacitan, Jawa timur*. J. Geologi Sumberdaya Mineral 4, 38, p. 18-25.
- Sampurno & Samudra, H. 1997. *Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa, Skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi: Bandung.

- Prasetyadi, C. 2007. *Evolusi Tektonik Paleogen Jawa Bagian Timur. Disertasi Doktor*. Program Studi Teknik Geologi (S3), Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan)
- Pulunggono, A. & Martodjojo, S., *Perubahan tektonik paleogen - neogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa*, Proceeding Geologi dan Geotektonik pulau Jawa sejak Mesozoik Akhir hingga Kwartar, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, UGM, hal. 37 – 50 (1994).
- Thornbury, W.D. 1969, *Principles of Geomorphology*. John Wiley & Sons, New York.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia, Vol. IA, General Geology of Indonesia And Adjacent Archipelagoes*, Second Edition, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.

