

## GEOLOGI DAN STUDI KARAKTERISTIK SESAR NAIK DAERAH PILANGREJO DAN SEKITARNYA KECAMATAN JUWANGI, KABUPATEN BOYOLALI PROVINSI JAWA TENGAH

Satrio Esti Hapsoro<sup>\*)</sup>, Jatmiko Setiawan<sup>\*)</sup>, Mahap Maha<sup>\*)</sup>  
<sup>\*)</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral  
 Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
 Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia  
 Fax/Phone : 0274-487816; 0274-486403

**SARI** - Daerah penelitian secara administratif berada di daerah Pilangrejo, Kecamatan Juwangi, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat 469380 mE – 474380 mE dan 9199220 mN – 9205800 mN UTM (*Universal Transverse Mercator*) WGS 1984 zona 49S. Luas daerah penelitian 6,6 km x 5 km dengan skala 1:20.000. Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi tiga bentuk asal dan delapan bentuklahan, yaitu: a. Bentuk asal struktural terdiri atas satuan bentuklahan perbukitan homoklin (S1), perbukitan lipatan dan sesar (S2). b. Bentuk asal denudasional terdiri atas satuan bentuklahan bukit terkikis (D1). c. Bentuk asal fluvial dengan satuan bentuklahan tubuh sungai aluvial *stream* (F1), tubuh sungai *bedrock stream* (F2), dataran limpah banjir (F3), *point bar* (F4) dan dataran aluvial (F5). Stratigrafi daerah penelitian berdasarkan kesatuan ciri litologi yang dominan, dapat dikelompokkan menjadi lima satuan litostratigrafi tak resmi. Dari tua ke muda yaitu satuan napal Pelang (Oligosen Akhir-Miosen Awal), satuan batupasir-gampingan Kerek (Miosen Tengah), satuan batulempung-gampingan Kerek (Miosen Tengah-Miosen Akhir), satuan napal-lempungan Kalibeng (Miosen Akhir-Pliosen Awal), dan satuan endapan aluvial (Holosen). Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian terdiri dari sesar naik, sesar mendatar dan lipatan yang berhubungan dengan jalur anjakan- lipatan pada *back-arc basin* akibat tektonik kompresi dengan tegasan berarah utara – selatan yang berlangsung pada kala Pliosen Akhir sampai Awal Plistosen. Sesar naik daerah penelitian merupakan sistem sesar anjak dengan sistem imbrikasi kedapan, dimana pengakomodasian pergeseran sesar utama didistribusikan ke sesar-sesar yang lebih kecil pada bagian depan sehingga bagian belakang pergeseran menjadi konsisten. Pergeseran yang signifikan berada pada sesar Kalimati di bagian selatan sebagai sesar yang pertama kali terbentuk /paling tua. Hasil restorasi penampang seimbang penampang A-A' didapatkan nilai pemendekan sebesar 46 %, keterakan 0,46 dan rasio kontraksi 0,54. Dari hasil uji pemodelan *sandbox* diketahui bahwa sesar naik Kalimati terbentuk pada 3,09 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0033 cm/tahun, sesar naik Sambeng terbentuk pada 2,88 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0032 cm/tahun dan sesar Pilangrejo terbentuk pada 2,41 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0032 cm/tahun.

Kata kunci : aluvial *stream*, *bedrock stream*, *point bar*, sesar naik, sesar mendatar, lipatan

### PENDAHULUAN

#### LATAR BELAKANG

Struktur geologi dalam hal ini sesar naik dan lipatan merupakan objek yang menarik untuk dikaji, dikarenakan berkaitan erat dengan terjadinya proses tektonik berupa kompresi sehingga mengakibatkan suatu daerah terdeformasi, selain itu juga merupakan sistem perangkap dan jalur migrasi hidrokarbon. Zona Kendeng merupakan cekungan belakang busur (*back-arc basin*) yang banyak terdapat sesar naik, sesar mendatar, sesar robekan serta

lipatan yang merupakan produk deformasi dengan pemendekan yang cukup intensif di Pulau Jawa.

Menurut Pringgoprawiro (1983), dilihat dari intensitas tektonik, zona Kendeng merupakan daerah dengan struktur geologi yang rumit dengan banyak sesar-sesar naik. Jalur lipatan – sesar naik berbatasan langsung dengan busur vulkanik pada bagian selatan. Lipatan asimetri sampai terbalik maupun sesar naik yang mempunyai orientasi arah relatif barat - timur banyak dijumpai dan merupakan ciri khas dari jalur ini. Sesar naik pada zona Kendeng seringkali membatasi satuan batuan yang bersebelahan.

Sesar naik dan lipatan banyak dijumpai khususnya pada zona Kendeng bagian barat apabila dilihat pada peta geologi lembar Salatiga (Sukardi dan

Budhitrisna, 1992). Oleh karena itu daerah Boyolali khususnya dipilih sebagai tempat penelitian karena kondisi geologi yang cukup menarik dan merupakan jalur lipatan-sesar naik yang merupakan bagian dari Cekungan Kendeng bagian barat.

### MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan pemetaan geologi daerah Pilangrejo dan sekitarnya, Kecamatan Juwangi, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. Selanjutnya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran satuan batuan, kondisi morfologi, urutan stratigrafi, struktur geologi yang berkembang, dan sejarah geologi serta secara khusus mempelajari karakteristik sesar naik dengan menggunakan metode restorasi penampang seimbang dan pemodelan *sandbox*.

### LOKASI DAN KESAMPAIAN DAERAH

Daerah telitian terletak  $\pm$  110 km ke arah timur laut dari Kota Yogyakarta, dan secara administratif termasuk kedalam wilayah Kecamatan Juwangi, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis daerah telitian terletak pada koordinat UTM 469380 mE – 474380 mE dan 9199220 mN – 9205800 mN masuk kedalam wilayah administrasi Desa Pilangrejo, Kalimati, Sambeng, Jerukan, Kayen dan Ngaren dengan skala 1: 20.000. Daerah telitian memiliki luasan 33 km<sup>2</sup> dengan panjang 6,6 km dan lebar 5 km. Daerah telitian dapat dicapai dengan kendaraan bermotor dari Yogyakarta – Juwangi, Boyolali kurang lebih selama 3 jam perjalanan.

### HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- Peta lintasan dan lokasi pengamatan pada daerah telitian
- Peta geomorfologi pada daerah telitian
- Peta geologi pada daerah telitian
- Peta struktur geologi daerah telitian
- Penampang stratigrafi terukur pada daerah telitian
- Rekonstruksi penampang seimbang ( *balancing cross section* )
- Pemodelan *sandbox* berdasarkan pola struktur geologi daerah telitian

### STRATIGRAFI

#### Satuan Napal Pelang

Merupakan satuan tertua di daerah telitian. Ciri litologi secara vertikal berdasarkan penampang stratigrafi terukur diketahui urutan litologi dari bawah ke keatas didominasi dengan kehadiran napal yang pada bagian atas dari satuan ini terdapat

sisipan dari batupasir karbonat dan sisipan kalkarenit. Napal memiliki ketebalan terukur 192 meter, tersingkap dalam kondisi lapuk, kenampakan fisik *brittle*, warna abu-abu, ukuran butir lempung ( $<1/256$  mm), semen karbonat, berstruktur masif. Litologi ini kaya akan kandungan fosil foraminifera kecil. Lokasi tersingkapnya litologi ini berada pada LP-6 dan LP-7.

#### Satuan Batupasir-gampingan Kerek

Ciri litologi secara vertikal berdasarkan penampang stratigrafi terukur diketahui urutan litologi dari bawah ke keatas dimulai dari perselingan batupasir gampingan dengan batulempung gampingan. Pada bagian tengah terdapat perselingan batupasir gampingan dengan batulempung gampingan dimana batupasir gampingan mempunyai siku yang semakin menebal ke atas. Pada bagian atas terdapat batupasir kasar dengan struktur masif. Secara spesifik satuan ini termasuk kedalam endapan *flysh* ciri khas endapan turbidit dengan siku yang mengkasar ke atas.

#### Satuan Batulempung-gampingan Kerek

Ciri litologi secara vertikal berdasarkan penampang stratigrafi terukur diketahui urutan litologi dari bawah ke keatas dimulai dari perselingan batupasir gampingan dengan batulempung gampingan. Pada bagian tengah terdapat perselingan batupasir gampingan dengan batulempung gampingan dimana batulempung semakin menebal dan dominan sampai di bagian atas satuan. Secara spesifik satuan ini termasuk kedalam endapan *flysh* ciri khas endapan turbidit.

### STRUKTUR GEOLOGI

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian telah dipetakan berikut dengan pengukuran dan dokumentasi unsur – unsur struktur beserta variasi litologi. Identifikasi struktur ditentukan melalui pengamatan di lapangan kemudian digabungkan dengan interpretasi kelurusan morfologi pada peta topografi. Struktur yang berkembang di daerah penelitian antara lain kekar, sesar naik, sesar mendatar, dan lipatan. Struktur tersebut (sesar dan lipatan) kemudian dinamakan berdasarkan nama lokasi ditemukannya. Struktur lipatan yang dijumpai antara lain antiklin Kalimati, antiklin Jerukan, antiklin Sambeng, sinklin Sambeng, antiklin Pilangrejo dan antiklin Juwangi. Sedangkan struktur sesar antara lain sesar naik Kalimati, sesar naik Sambeng, sesar naik Pilangrejo, sesar naik Juwangi, sesar mendatar kiri Jerukan, dan sesar mendatar kanan Kayen.

## MEKANISME PEMBENTUKAN SESAR DAN LIPATAN

Berdasarkan analisis struktur geologi, daerah penelitian termasuk dalam zona *back-arc basin* dimana cekungan sedimen berkaitan erat dengan jalur lipatan-anjakan (*fold-thrust belt*). Zona ini bisa juga disebut dengan zona *foreland* (zona eksternal), yaitu zona dengan deformasi plastis yang kurang dominan, tidak dipengaruhi kondisi metamorfisme dengan strain yang bersifat non-penetratif (Marshak dan Mitra, 1988). Jalur lipatan-anjakan ini berkembang pada aktivitas tektonik konvergen sebagai akibat dari continental collision yang menghasilkan pemendekan maupun kontraksi pada lempeng (Marshak dan Mitra, 1988). Deformasi pada *back-arc basin* juga berasosiasi dengan mekanisme *thin-skintektonik* dimana deformasi melibatkan sikuen batuan sedimen yang diendapkan di atas batuan kristalin atau batuan dasar (basement), sehingga dapat disimpulkan bahwa sesar naik pada daerah penelitian dibatasi oleh *detachment* pada bagian dasar, serta kedalamannya relatif dangkal dan tidak melibatkan adanya pergerakan dari batuan dasar (McClay, 2000).

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan sesar naik di daerah penelitian sesuai dengan adanya struktur lipatan yang ada, atau dinamakan dengan *fault-related folds*. Salah-satunya pada antiklin Kalimati, antiklin Jerukan, antiklin Pilangrejo dan antiklin Juwangi yang bertipe *fault propagation folds* dimana terbentuknya suatu lipatan diakibatkan oleh pembengkokan yang bersifat lentur (*flexural bending*) dari suatu lapisan batuan yang kemudian memicu pecahnya batuan dan pada akhirnya membentuk suatu bidang pensesaran (Suppe dan Medwedeff, 1984; Suppe, 1985 op cit McClay, 2001) serta antiklin Sambeng dan sinklin Sambeng yang bertipe *detachment folds*, yaitu lipatan yang terbentuk akibat dari pemendekan bidang perlapisan diatas *detachment* dan tidak berasosiasi langsung dengan *ramp*. *Ramp* adalah bidang miring yang memotong perlapisan pada *detachment* (Dahlstrom, 1970; Jamison, 1987 dalam Sapiie 2006).

Kehadiran beberapa sesar naik yang bersifat sejajar pada daerah telitian merupakan manifestasi dari bekerjanya suatu sistem sesar anjak (*thrust system*) yang secara kinematik sangat berhubungan dan menghasilkan susunan sesar yang berkembang membentuk sikuen sesar (Marshak dan Mitra, 1988). Sistem sesar anjak pada daerah penelitian di indikasikan merupakan sistem imbrikasi kedepan (*trailing*), dimana pengakomodasian pergeseran (*displacement*) sesar utama didistribusikan ke

sesar-sesar yang lebih kecil pada bagian depan (*footwall*) sehingga besar (*magnitude*) dan arah (*sense*) pergeseran menjadi konsisten (Dahlstrom, 1969 dalam Sapiie, 2006). Hal ini bisa dilihat pada daerah telitian dari kenampakan pergeseran sesar yang paling besar/maksimum berada di sesar yang pertama kali terbentuk yaitu sesar Kalimati pada bagian paling selatan.

## RESTORASI PENAMPANG SEIMBANG

Berdasarkan pembuatan penampang terdeformasi dengan menggunakan metode kink, kemudian dilakukan proses restorasi penampang untuk menguji validitas penampang yang dihasilkan. Berdasarkan Marshak dan Mitra (1988), penampang dapat dikatakan seimbang jika telah memenuhi kriteria diantaranya:

- **Prinsip keseimbangan panjang lapisan** dilakukan dengan menghubungkan titik-titik acuan yang diletakkan pada suatu level regional yang sama. Kontak antar satuan batuan di beberapa lokasi digunakan sebagai titik acuan untuk mem-*flattening* penampang terdeformasi. Penampang yang sudah direstorasi dapat dikatakan seimbang jika panjang lapisan dimana titik acuan diletakkan berada pada satu level regional yang sama dan memiliki panjang lapisan yang sama dengan penampang terdeformasi.
- **Prinsip keseimbangan luas** dapat digunakan jika terdapat adanya perubahan ketebalan pada suatu lapisan yang akan direstorasi.
- **Prinsip keseimbangan bentuk sesar** merupakan salah satu faktor penting dalam rekonstruksi penampang seimbang. Interpretasi pola geometri *ramp* dan *flat* sangat berperan dalam rekonstruksi bentuk sesar pada keadaan sebelum terdeformasi, dikarenakan geometri dari suatu sesar sangat dipengaruhi oleh pergerakan sesar yang lebih muda.

Dari hasil restorasi yang dilakukan pada penampang A – A', kemudian dilakukan perhitungan pemendekan untuk mengetahui besaran keterakan (*strain*) yang bekerja pada daerah telitian. Untuk penampang A – A' diperoleh nilai pemendekan (*shortening*) sebesar 45,82% dengan rasio kontraksi / *stretching* ( $L'/L^0$ ) sebesar 0,54 dan strain ( $\epsilon$ ) sebesar 0,46 (**Tabel 1**).

## PEMODELAN SANDBOX

Pemodelan analog *sandbox* merupakan uji atau eksperimen yang dilakukan menyesuaikan kondisi lapangan sebenarnya, diharapkan hasil yang didapatkan pada pemodelan analog mendekati produk struktur geologi yang ada di lapangan. Jadi tujuan dilakukannya eksperimen *sandbox* selain

untuk mempelajari urutan pembentukan sesar juga untuk validasi penampang geologi yang dibuat. Pemodelan analog *sandbox* ini dilakukan berdasarkan hasil *shortening* dari restorasi penampang seimbang dan tebal satuan yang di rasiokan.

### ASUMSI DASAR

Karena penelitian yang terbatas pada data-data struktur permukaan maka harus dibuat beberapa asumsi untuk mendukung penelitian dan eksperimen ini, yaitu:

- Struktur yang dimodelkan hanyalah struktur yang tersingkap di permukaan sehingga diasumsikan lapisan batuan selaras, berlapis baik, dan tak terganggu sebelum deformasi terjadi. Dalam hal ini menggunakan deformasi yang terjadi di Zona Kendeng pada Pliosen Akhir sampai awal Plistosen (3,6 Jtl –1,78 Jtl).
- Pada pemodelan *sandbox* digunakan *sandbox* model *pure shear* dengan mengabaikan adanya sesar mendatar pada kondisi sebenarnya di daerah telitian, dalam hal ini digunakan desain *basement* yang sesuai sehingga dihasilkan produk yang mendekati kondisi lapangan.
- Satuan batuan yang didominasi batupasir dianggap full *brittle* menggunakan material modeling batupasir kuarsa ukuran 0,05mm meskipun sebenarnya kondisi lapangan pada satuan batupasir tersebut juga banyak lapisan-lapisan yang lebih *ductile* seperti perselingan dengan batulempung ataupun lapisan yang bahkan lebih *brittle*. Satuan yang didominasi batulempung dianggap full *ductile* menggunakan material modeling *glass bed* dengan ukuran  $\pm 0,02$  mm.
- Dalam pengujian ini, satuan napal-lempungan Kalibeng tidak diujikan, karena satuan tersebut merupakan endapan *syn-comprisional*, yaitu endapan yang diendapkan bersamaan dengan proses ketika deformasi berlangsung. Sehingga karena keterbatasan peraga uji, penulis akan kesulitan dalam menaburkan material uji ketika kompresi tengah berlangsung.

### HASIL UJI EKSPERIMEN

Eksperimen ini dilakukan dengan besar pemendekan 46% selama 46 menit. Perkembangan struktur selama proses eksperimen direkam dalam video *timelapse* untuk presentasi dan dalam bentuk tabulasi yang disajikan pada poster. Setelah menjalankan eksperimen, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Struktur yang terbentuk selama 46 menit percobaan terdiri dari 4 sesar naik dengan

imbrikasi kedepan. Dalam uji ini sesar 1 diabaikan, karena tidak merepresentasikan 3 sesar yang terdapat di restorasi. Hal ini bisa dikarenakan, sesar 1 muncul pertama karena efek panjang dari *basement* yang dibuat penulis. Sesar yang merepresentasikan kondisi sebenarnya adalah sesar 2,3 dan 4. Sesar 2 mempunyai karakteristik sama dengan sesar naik Kalimati, sesar 3 mempunyai karakteristik sama dengan sesar naik Sambeng dan sesar 4 mempunyai karakteristik yang sama dengan sesar naik Pilangrejo.

- Waktu terbentuknya sesar bisa dilihat dari waktu *sandbox* tiap pemendekan, sehingga waktu terbentuknya sesar secara waktu aktual bisa dihitung dengan persamaan pada grafik waktu geologi/aktual dengan waktu *sandbox*.

Berdasarkan rumus fisika sederhana tentang gerak, dapat digunakan untuk menghitung laju/kecepatan pergerakan sesar. Rumus  $V=S/T$  dimana  $V$  menunjukkan kecepatan,  $S$  menunjukkan jarak tempuh,  $t$  menunjukkan waktu tempuh.

Dari data perhitungan kecepatan pergerakan sesar (**Tabel 2**) pada 3 sesar naik diperoleh kecepatan untuk sesar naik Kalimati 0,0033 cm/tahun, sesar naik Sambeng 0,0032 cm/tahun dan sesar naik Pilangrejo 0,0032 cm/tahun. Berdasarkan data diatas, kecepatan pergerakan ketiga sesar naik hampir memiliki nilai yang sama, hal ini menunjukkan bahwa sesar pada daerah telitian merupakan sesar dengan sistem yang sama yaitu sistem imbrikasi ke depan (*trailing*). Umur relatif sesar naik jika dibandingkan dengan Blow (1969) berada di kisaran umur relative N 19 – N 21 (Pliosen Akhir).

### EVALUASI UJI EKSPERIMEN

Dalam uji pemodelan *sandbox* yang dilakukan penulis tentu masih banyak kekurangan, untuk itu perlu dilakukan evaluasi hasil uji pemodelan *sandbox* agar hasil pengujian lebih baik untuk kedepannya. Dalam uji pemodelan *sandbox* di atas, sesar yang terdapat pada restorasi penampang adalah 3 sesar, akan tetapi yang terdapat pada *sandbox* 4 sesar, hal ini bisa dikarenakan karena pembuatan panjang *basement* yang digunakan kurang panjang. Disamping itu bisa dikarenakan dalam pembuatan sudut *ramp* dari *basement* terlalu curam, sehingga pada awal kompresi, material yang berdekatan dengan *ramp* akan tertekan sehingga material yang ada di dekat *moving wall*

akan terbentuk sesar secara cepat. Penentuan waktu pemendekan seharusnya tidak terlalu cepat, sehingga material tidak mengalami longsor pada bagian atas *sandbox*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, analisa struktur, restorasi penampang seimbang serta uji pemodelan *sandbox* terhadap karakteristik sesar naik, maka Karakteristik sesar naik pada daerah telitian dapat disimpulkan, yaitu :

1. Berdasarkan aspek-aspek geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi tiga bentukan asal dan delapan bentuklahan, yaitu: a. Bentukan asal struktural terdiri atas satuan bentuklahan perbukitan homoklin (S1), perbukitan lipatan dan sesar (S2). b. Bentukan asal denudasional terdiri atas satuan bentuklahan bukit terkikis (D1). c. Bentukan asal fluvial dengan satuan bentuklahan tubuh sungai aluvial *stream* (F1), tubuh sungai *bedrock stream* (F2), dataran limpas banjir (F3), *point bar* (F4) dan dataran aluvial (F5).
2. Stratigrafi daerah penelitian berdasarkan kesatuan ciri litologi yang dominan, dapat dikelompokkan menjadi lima satuan litostratigrafi tak resmi. Dari tua ke muda yaitu satuan napal Pelang (Oligosen Akhir-Miosen Awal), satuan batupasir-gampingan Kerek (Miosen Tengah), satuan batulempung-gampingan Kerek (Miosen Tengah-Miosen Akhir), satuan napal-lempungan Kalibeng (Miosen Akhir-Pliosen Awal), dan satuan endapan aluvial (Holosen).
3. Struktur geologi daerah telitian terdiri dari 6 sesar yaitu sesar naik Kalimati, sesar naik Sambeng, sesar naik Pilangrejo, sesar naik Juwangi, sesar mendatar kiri Jerukan, dan sesar mendatar kanan Kayenserta 6 lipatan yaitu antiklin Kalimati, antiklin Jerukan, antiklin Sambeng, sinklin Sambeng, antiklin Pilangrejo dan antiklin Juwangi.
4. Sesar naik pada daerah telitian merupakan sesar naik yang berhubungan dengan terjadinya lipatan (*fault related fold*) yang berupa *fault propagation fold* dan *detachment fold*.
5. Sesar naik pada daerah telitian merupakan sistem sesar anjak dengan sistem imbrikasi kedepan (*trailing*) dimana pengakomodasian pergeseran (*displacement*) sesar utama didistribusikan ke sesar-sesar yang lebih kecil pada bagian depan (*footwall*) sehingga besar dan arah pergeseran menjadi konsisten. Dibuktikan dengan pergeseran yang signifikan pada sesar Kalimati di bagian

selatan sebagai sesar yang pertama kali terbentuk /paling tua..

6. Hasil restorasi penampang seimbang penampang A-A' didapatkan nilai pemendekan sebesar 46 %, keterakan 0,46 dan rasio kontraksi 0,54.
7. Dari hasil uji pemodelan *sandbox* diketahui bahwa sesar naik Kalimati terbentuk pada 3,09 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0033 cm/tahun, sesar naik Sambeng terbentuk pada 2,88 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0032 cm/tahun dan sesar Pilangrejo terbentuk pada 2,41 juta tahun lalu dengan kecepatan pergerakan sesar 0,0032 cm/tahun.
8. Kecepatan ketiga sesar relatif hampir mendekati sama, sehingga bisa disimpulkan bahwa ketiga sesar tersebut berada dalam satu sistem sesar naik yaitu imbrikasi kedepan dan memiliki kisaran umur relatif sesar antara N19-N21.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, S., 1997, *Diktat Geologi Struktur Indonesia*, Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.
- Bandy, O.L., 1967, *Cenozoic Planktonic Foraminifera Zonation*. *Micropaleontology*, v. 10, n. 1, h. 1-17.
- Barker, R. W., 1960, *Taxonomic Notes on the species Figured by N. B. Brady in his Report on the Foraminifera Dredged by H. M. S. Challenger During the years 1873 – 1876*. Soc. Econ. Pal. Min., Spec. Publ. n. 9, 238 h
- Bemmelen, R.W. van, 1949, *The Geology of Indonesia, Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, The Hague
- Billings, M. P., 1972, *Structural Geology*. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice-Hall of India, Private Limited.
- Blow, W.H., 1969, *The Cenozoic Globigerinida, A Study of The Morphology, Taxonomy Evolutionary Relationships and The Stratigraphical Distribution of Some Globigerinida*. E.J. Brill Ed, Leiden, Netherlands.
- Bouma, A.H., 1962, *Sedimentology of Some Flysh Deposits, A Graphic Approach to Facies Interpretation*. Elsevier Co., Amsterdam.
- Boyer, S.E. & Elliott, D., 1982, *Thrus System, The American Association of Petroleum Geologist Bulletin* v.66 no.9 p.1196-1230.

- Chester J.S. & Chester F.M., 1990, *Fault Propagation Fold Above Thrusts with Constant dip*, Journal of Structural Geology, Pergamon Press plc, UK.
- Davis & Reynolds, 1996, *Structural Geology of Rocks and Regions*, John Wiley and Son, New York.
- Dennis., 1972, *Structural Geology*. California State University. Long Beach.
- Dunham, R. J., 1962, Classification of Carbonate Rock According to Depositional Texture, In Han, W. E. (ed) 1962, Classification of Carbonate Rock, *AAPG Bull. Men 1*, p. 108 – 121.
- Genevraye, P. De, & Luki Samuel, 1972, Geology of The Kendeng Zone ( Central and East Java ) ; *Proceedings Indonesian Petroleum Association First Annual Convention*, Jakarta.
- Hatcher, R. D. Jr, 1990, *Structural Geology : Principle, Concepts and Problem*, Merrill Publishing Company, Ohio.
- Hidayat, R. & Fatimah, 2007, Inventarisasi Kandungan Minyak Dalam Batuan Daerah Kedungjati, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah, *Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan*, Pusat Sumber Daya Geologi.
- Howard, A. D., 1966, Drainage Analysis in Geologic Interpretation, *Bulletin AAPG, Vol 51, No 11, November*, page 46 - 59
- Hubbert, M.K., 1937, Theory of scale models as applied to study of geological structure, *Journal of Geological Society of America*.
- Koesoemadinata, R. P., 1985, *Prinsip-prinsip Sedimentasi*, Catatan Kuliah, Jurusan Teknik Geologi ITB, tidak dipublikasikan.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Bandung.
- Lobeck, A. K., 1939, *Geomorphology : An Introduction to the Study of Landscapes*, Mc.Graw-Hill Book Company, New York.
- Marshak, G.& Mitra S., 1988, *Basic Methods of Structural Geology*, New Jersey :Prentice Hall.
- McClay, K.R., 1987, *The Mapping of Geological Structures*, London : John Wiley & Sons.
- McClay, K. R., 1990, Deformation mechanics in analogue models of extensional fault systems, *Geological Society Special Publication*.
- McClay, K & Bonora, M., 2001, Analog models of restraining stepovers in strike-slip fault systems, *AAPG Bulletin*, v.85, no.2.
- Pettijohn, 1957, *Sedimentary Rocks* 1<sup>st</sup> edition, Harper and Brother Publihers, New York.
- Pettijohn, F. J., 1975, *Sedimentary Rocks* 3<sup>rd</sup> edition, Harper and Row, Publishers, New York, 1-628. 1,5,13.
- Postuma, J.A., 1971, *Manual of Planctonic Foraminifera*, Royal Dutch/Shell Group, The Hague, The Netherlands
- Pringgoprawiro, H., 1983, Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur : Suatu Pendekatan Baru, *Thesis Doktor*, ITB, Bandung, tidak dipublikasikan.
- Ragan, D.M., 1973, *Structural Geology An Introduction to Geometrical Techniques*, Second Edition. John Willey & Sons. Inc, New York.
- Sapiie, B., 2004, *Short Course Balancing Cross-Section*, Departemen Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Sapiie, B., 2004, *Analogue Sandbox Modelling Workshop*, Laboratorium Geologi Dinamis ITB, Bandung.
- Sapiie, B & Harsolumakso, A., 2006, *Prinsip Dasar Geologi Struktur*, Laboratorium Geologi Dinamis ITB, Bandung.
- Satyana, A.H.&Armandita, C., 2004, Deepwater Plays Of Java, Indonesia : Regional Evaluation On Opportunities And Risk, *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Twenty – Ninth Annual Conversion & Exhibition*.
- Smyth, H., *et al.* 2005, East Java : Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement, *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Thirtieth Annual Conversion & Exhibition*.
- Sribudiyani, 2003, The collision of the East Java Microplate and its Implication for Hydrocarbon Occures in The East Java Basin. *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Twenty – Ninth Annual Convention & Exhibition*.
- Staff Pengajar Geologi Struktur UPN "V" Yogyakarta, 2012, *Buku Panduan Praktikum Geologi Struktur*, Laboratorium Geologi Struktur UPN "V" Yogyakarta.
- Sukardi & Budhitrisna, T., 1992, *Peta Geologi Lembar Salatiga*, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

- Suppe, J., 1985, *Principles of Structural Geology*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Tucker, Maurice, 1982, *Sedimentary Rocks In The Field*, Departmen of Geological Sciences University of Durham, UK
- Tucker, M. E. dan Wright, V. P., 1990, *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Twiss, R.J. & Moores, E. M., 1992, *Structural Geology*, W. H Freeman and Company, New York.
- Williams, H., Turner, F.J. & Gilbert, C.M., 1982, *Petrography: An Introduction to The Study of Rock in Thin Sections*. 2<sup>nd</sup> ed. W.H. Freeman and Company, San Francisco 1-626.
- Withjack, M., & Jamison, W., 1986, *Deformation produced by oblique rifting*, Tectonophysics, New Jersey.
- Zuidam, R.A.van, 1985, *Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, The Hague: Smits

Tabel 1. Nilai Pemendekan (*shortening*) Penampang A-A'

No	l <sub>0</sub> (cm)	l' (cm)	Strain (e)	Rasio Kontraksi (β)	Shortening (%)
0	58.92	58.92	0.00	1.00	0.00
1	58.92	33.78	0.43	0.57	42.67
2	58.92	32.55	0.45	0.55	44.76
3	58.92	32.37	0.45	0.55	45.06
4	58.92	31.92	0.46	0.54	45.82

Tabel 2. Laju/Kecepatan Pergerakan Sesar

Kecepatan pergerakan sesar naik Kalimati		
	Waktu geologi (JTL)	Panjang aktual ( Km )
awal terbentuk	3.09	11
berhenti ( locking )	2.91	10.4
$V = S / t$ $V = \text{Selisih panjang aktual} / \text{Selisih waktu geologi}$ $V = ( 11 \text{ km} - 10.2 \text{ km} ) / ( 3.09 \text{ JTL} - 2.91 \text{ JTL} )$ $V = 0.6 \text{ km} / 0.18 \text{ JTL}$ $V = 600 \text{ cm} / 180000 \text{ tahun}$ $V = 0.0033 \text{ cm} / \text{tahun}$		
Kecepatan pergerakan sesar naik Sambeng		
	Waktu geologi (JTL)	Panjang aktual ( Km )
awal terbentuk	2.88	10.3
berhenti ( locking )	2.48	9
$V = S / t$ $V = \text{Selisih panjang aktual} / \text{Selisih waktu geologi}$ $V = ( 10.3 \text{ km} - 9 \text{ km} ) / ( 2.88 \text{ JTL} - 2.48 \text{ JTL} )$ $V = 1.3 \text{ km} / 0.4 \text{ JTL}$ $V = 1300 \text{ cm} / 400000 \text{ tahun}$ $V = 0.0032 \text{ cm} / \text{tahun}$		
Kecepatan pergerakan sesar naik Pilangrejo		
	Waktu geologi (JTL)	Panjang aktual ( Km )
awal terbentuk	2.41	8.7
berhenti ( locking )	1.98	7.3
$V = S / t$ $V = \text{Selisih panjang aktual} / \text{Selisih waktu geologi}$ $V = ( 8.7 \text{ km} - 7.3 \text{ km} ) / ( 2.41 \text{ JTL} - 1.98 \text{ JTL} )$ $V = 1.4 \text{ km} / 0.43 \text{ JTL}$ $V = 1400 \text{ cm} / 430000 \text{ tahun}$ $V = 0.0032 \text{ cm} / \text{tahun}$		