

INTERPRETASI STRUKTUR GEOLOGI BERDASARKAN CITRA LANDSAT 8, SRTM DAN ANOMALI MEDAN GRAVITASI SATELIT DI CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Septian Firdaus^{1,*}, Agung Setianto^{2,**}

Magister Petroleum Geoscience, Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: ^{}sf_ah@yahoo.co.id, ^{**}agung.setianto@gmail.com*

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan interpretasi struktur geologi permukaan dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan *Suttle Radar Topography Mission* (SRTM), dan interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan analisis anomali medan gravitasi satelit. Citra Landsat 8 dilakukan *Principal Component Analysis* (PCA) dan di-overlay dengan *shaded relief* dari hasil pengolahan data SRTM untuk selanjutnya dilakukan ekstraksi kelurusan dan didapatkan sebaran densitas kelurusan pada area penelitian. Data gravitasi satelit yang telah terkoreksi anomali udara bebas, dilakukan koreksi Bouguer dan koreksi *terrain* untuk menghitung anomali Bouguer lengkap dan difilter *Total Horizontal Derivative* (THD). Nilai THD maksimum diindikasikan terdapatnya patahan. Interpretasi struktur geologi permukaan dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM pada area penelitian didapatkan arah relatif kelurusan dominan berarah *NNW-SSE, NW-SE, ESE-WNW, dan E-W*. Area densitas kelurusan dominan terdapat pada Zona Rembang dan Zona Kendeng. Hal tersebut mengindikasikan Zona Rembang dan Zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan dekat dengan struktur geologi. Interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan data gravitasi dengan metode THD dapat mengidentifikasi terdapatnya patahan. Patahan yang terdapat di Zona Rembang dengan arah *ENE-WSW* dapat diindikasikan sebagai patahan *basement*.

Kata kunci : Landsat 8, SRTM, gravitasi

ABSTRACT

The objectives of this research are to interpret the surface geological structures and lineament density distribution based on Landsat 8 image and Suttle Radar Topography Mission (SRTM) data, and interpret the subsurface geological structures based on satellite gravity field anomaly analysis. Landsat 8 image applied Principal Component Analysis (PCA) and overlaid with shaded relief from SRTM data processing results for further extraction of lineaments and obtained the lineament density distribution in the research area. The satellite gravity data which have corrected free air anomalies, applied Bouguer correction and terrain correction to calculate the complete Bouguer anomaly, and filtered by Total Horizontal Derivative (THD). The maximum THD value indicates the presence of a fault. Interpretation of surface geological structures and lineament density distribution based on Landsat 8 image and SRTM data in the research area were obtained the lineaments direction relatively dominant directed NNW-SSE, NW-SE, ESE-WNW, and E-W. The dominance lineament density area is found in the Rembang Zone and Kendeng Zone. It indicates the Rembang Zone and Kendeng Zone are intensive areas tectonic deformed and close to geological structures. Interpretation of subsurface geological structures based on gravity data by THD method can identify the existence of fault. The fault contained in the Rembang Zone with the direction of ENE-WSW can be identified as basement fault..

Keyword: Landsat 8, SRTM, gravity

PENDAHULUAN

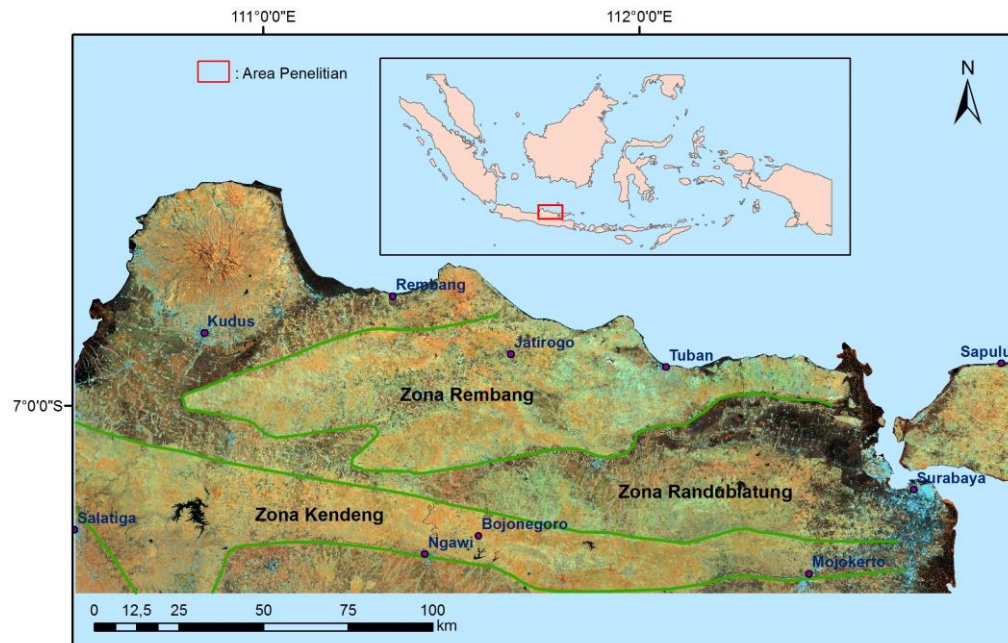
Data citra Landsat dan radar dapat diinterpretasikan berupa morfologi dari struktur geologi, seperti perlipatan dan patahan, yang memungkinkan terdapatnya jebakan minyak bumi [1]. Metode gravitasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan [2]. *Total Horizontal Derivatives* (THD) atau *Horizontal Gradient Magnitude* (HGM) biasanya digunakan untuk meningkatkan batas sumber anomali [3]. Dengan integrasi dari semua data yang digunakan dapat memberikan wawasan baru tentang tektonik dan struktur geologi daerah penelitian yang berhubungan dengan terdapatnya lapangan migas di Cekungan Jawa Timur Utara.

Pengembangan kembali sumur-sumur tua berdasarkan kajian yang dilakukan Pertamina mengindikasikan bahwa potensi migas di Cekungan Jawa Timur masih banyak yang belum terungkap dan diduga masih terbuka lebar akan adanya penemuan lapangan-lapangan migas baru [4]. Dengan dilakukannya penelitian analisis struktur geologi permukaan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM, dan struktur bawah permukaan berdasarkan data gravitasi satelit, diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan struktur geologi dan tektonik di daerah penelitian, sehingga nantinya dapat berkontribusi dalam eksplorasi hidrokarbon di area ini.

GEOLOGI REGIONAL

Secara geografis Cekungan Jawa Timur Utara berada di antara Laut Jawa yang terletak di bagian utaranya dan sederetan gunung api yang berarah timur-barat di bagian selatannya. Cekungan Jawa Timur Utara ini menempati luas 50.000 km² yang melingkupi daratan sebelah timur Jawa Tengah, Jawa Timur, Lepas pantai di sekitar Laut Jawa Utara hingga selat Madura. Cekungan ini merupakan zona lemah akibat tumbukan atau penunjaman Lempeng Samudera Australia ke arah barat laut di bawah lempeng Asia. Terjadinya pemindahan jalur zona tumbukan yang terus-menerus ke arah selatan Indonesia, maka sekarang ini Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk sebagai cekungan belakang busur (*back arc basin*) [5].

Menurut [6], Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi tiga bagian besar. Adapun ketiga pembagian tersebut berturut-turut dari selatan ke utara adalah Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang (**Gambar 1**).



Gambar 1. Zona Fisiografi Jawa Timur Utara (pembagian mengikuti [6])

1. Zona Kendeng

Terletak langsung di sebelah utara deretan gunungapi, terdiri dari endapan kenozoikum muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai dengan sesar-sesar sungkup dengan kemiringan ke selatan. Panjang Zona Kendeng sekitar 250 km dengan lebar maksimumnya adalah 40 km [7].

2. Zona Randublatung

Merupakan suatu depresi fisiografi akibat gejala tektonik yang terbentang di antara Zona Kendeng dan Zona Rembang, terbentuk pada kala Pleistosen dengan arah barat-timur [7]. Beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah berada pada depresi ini. Sepanjang dataran ini mengalir sungai utama, yaitu sungai Bengawan Solo.

3. Zona Rembang

Zona Rembang terbentang sejajar dengan Zona Kendeng yang dipisahkan oleh depresi Randublatung, merupakan suatu dataran tinggi terdiri dari antiklinorium yang berarah barat-timur sebagai hasil gejala tektonik Tersier Akhir yang membentuk perbukitan dengan elevasi yang tidak begitu tinggi, rata-rata kurang dari 500 m [7]. Arah memanjang perbukitan tersebut mengikuti sumbu-sumbu lipatan yang pada umumnya berarah barat-timur.

Cekungan Jawa Timur dikelompokkan ke dalam tiga konfigurasi struktur utama, yaitu *North Platform*, *Central Deep*, dan *Southern Uplift* [8]. Graben, *half-graben*, dan sesar-sesar hasil *rifting* telah dihasilkan pada periode ekstensional, yaitu pada Paleogen. Selanjutnya periode kompresi dimulai pada Miosen awal yang mengakibatkan reaktivasi sesar-sesar yang telah terbentuk sebelumnya pada periode ekstensional. Reaktivasi tersebut mengakibatkan pengangkatan dari graben-graben yang sebelumnya terbentuk menjadi tinggian yang sekarang disebut *central high* [9].

Penelitian ini fokus pada interpretasi struktur geologi permukaan dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM, dan interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan analisis anomali medan gravitasi satelit. Area yang memiliki densitas kelurusan yang dominan dapat diindikasikan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan kemungkinan besar dekat dengan struktur geologi. Nilai THD maksimum pada suatu area dapat diindikasikan terdapatnya patahan pada area tersebut.

METODE

Penelitian ini melalui tiga tahapan utama yaitu tahap pengolahan data citra Landsat 8 dan SRTM, tahap pengolahan data gravitasi satelit dan tahap interpretasi struktur geologi. Citra Landsat 8 dilakukan *Principal Component Analysis* (PCA) dan di-*overlay* dengan *shaded relief* dari hasil pengolahan data SRTM untuk selanjutnya dilakukan ekstraksi kelurusan dan didapatkan sebaran densitas kelurusan pada area penelitian. Data gravitasi satelit yang telah terkoreksi anomali udara bebas, dilakukan koreksi Bouguer dan koreksi *terrain* untuk menghitung anomali Bouguer lengkap dan difilter *Total Horizontal Derivative* (THD).

HASIL

Pengolahan Data Landsat 8 dan SRTM

Pada penelitian ini, kombinasi *band* yang digunakan adalah *band 567*. Menurut [10], aplikasi dari band 5,6, dan 7 dari Landsat 8 yaitu:

- *Band 5*: Mengukur Near Infrared (NIR), pemetaan ekologi karena vegetasi yang sehat akan memantulkan spektral tersebut.
- *Band 6*: Mengetahui daerah basah dan kering, untuk geologi seperti batuan dan tanah akan terlihat lebih kontras pada *band* ini.
- *Band 7*: Membedakan jenis mineral dan batuan serta kandungan air pada vegetasi.

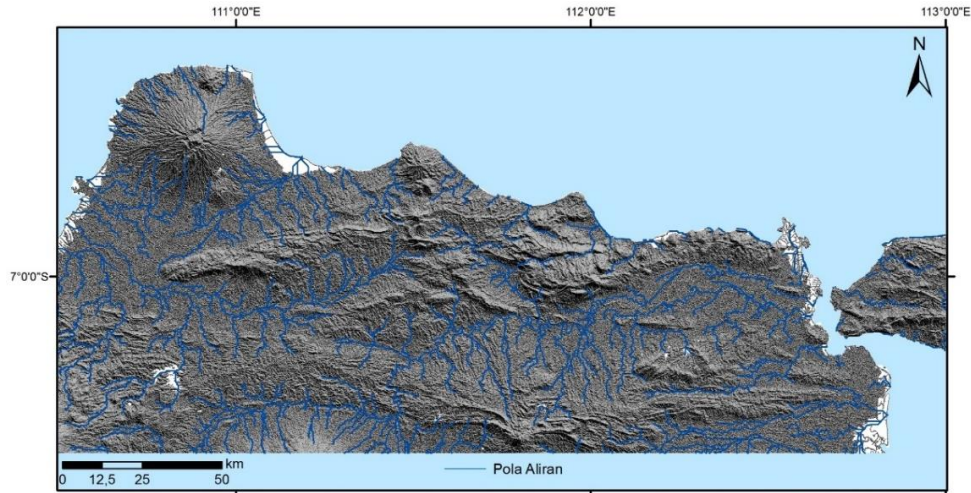
Principal Componen Analysis (PCA)

Pada penelitian ini, penulis menggunakan 7 *band* pada citra Landsat 8 yakni *band 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7* untuk membuat kenampakan fitur multi spektral yang menghasilkan citra baru dan memuat hingga 92.8692% untuk PC1, 4.6899% untuk PC2 dan 1.9720 untuk PC3 dan bila ditotal menghasilkan 99,5311% sehingga 3 saluran citra ini dianggap mewakili keseluruhan saluran citra Landsat serta sangat efisien dalam melakukan analisis citra untuk keperluan identifikasi kelurusan geologi.

Analisis *Hillshade*

Pada analisis *hillshade* ini, dilakukan empat variasi arah peninaran yang berbeda yaitu 0°, 45°, 90° dan 135° dengan *altitude* yang sama yaitu 45° (**Gambar 2**). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kenampakan 3D dari berbagai variasi arah datangnya cahaya. Hasil kombinasi

tersebut memberikan tampilan morfologi yang lebih baik, dengan melihat dari seluruh arah azimuth [11], sehingga mempermudah dalam melakukan interpretasi analisis *hillshade* akan menghasilkan *shaded relief* yang berfungsi untuk memahami latar belakang topografi yang ditekankan pada *feature* morfologi ([12]).



Gambar 2. Citra *Hillshade relief* daerah penelitian dengan azimuth 0°, 45°, 90°, 135° dan altitude 45°. Pola aliran di-overlay yang diekstrak dari data SRTM.

Ekstraksi Pola Aliran

Pola aliran diekstraksi dari data SRTM dengan menggunakan ArcGIS *hydrology tool*. Pola pengaliran adalah kumpulan dari suatu jaringan pengaliran di suatu daerah, dan tidak mempertimbangkan apakah pengaliran itu bersifat permanen atau tidak (Howard, 1967, dalam [13]). Dari hasil ekstraksi pola aliran area penelitian dihasilkan pola subdendritik dengan kondisi geologi sedikit terkontrol oleh struktur geologi.

Overlay Hasil PCA 123 dan Shaded Relief

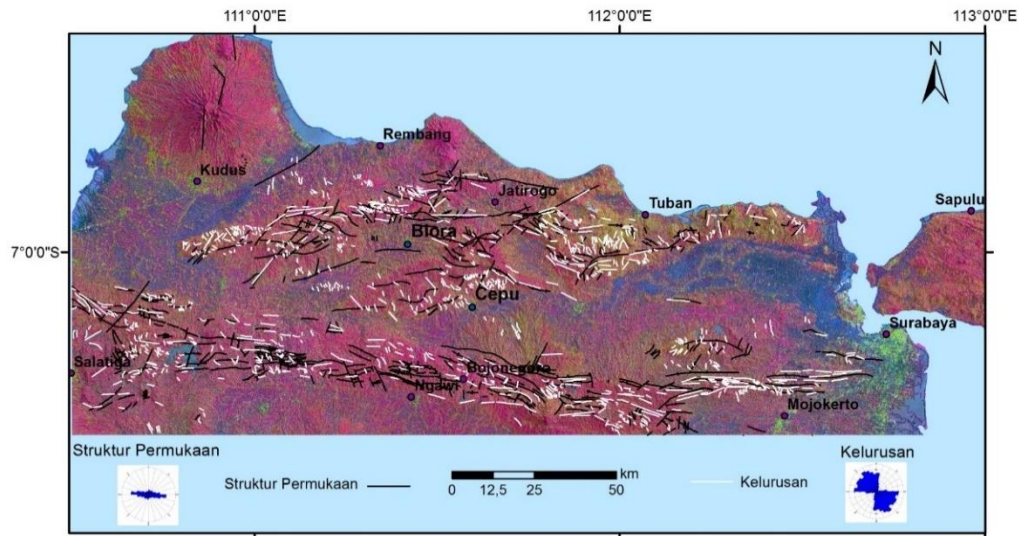
Dari PCA 123 yang dihasilkan, ditumpangtihkan dengan *shaded relief*. Citra tersebut memiliki informasi spektral sebaik citra Landsat 8 dan memiliki informasi morfologi sebaik citra SRTM. Penggunaan transparansi layer antara image PCA 123 dengan *shaded relief* sangat membantu penulis dalam menentukan kehadiran kelurusan di daerah penelitian, sehingga tingkat akurasi dalam interpretasi kelurusan menjadi lebih baik.

Ekstraksi Kelurusan

Kelurusan struktur merupakan kelurusan yang dikontrol oleh struktur geologi yang menghasilkan kelurusan topografi seperti punggung bukit, depresi atau *escarpment* dan sebagian besar kelurusan tersebut merupakan manifestasi dari arah kekar, sesar, lipatan, *dike* dan kontak lapisan batuan [14]. Menurut [15] kelurusan merupakan salah satu *feature* yang menunjukkan unsur bawah permukaan atau struktur yang lemah seperti patahan.

Pengamatan visual berdasarkan unsur dasar interpretasi geologi, yang meliputi relief, pola penyaluran, budaya dan vegetasi, kemudian kelurusan didigitasi secara manual. Identifikasi kelurusan ditambahkan dengan pola aliran yang menunjukkan lokasi lembah, pegunungan dan lereng yang biasanya berasosiasi dengan kelurusan dari tektonik.

Berdasarkan hasil interpretasi kelurusan dan didukung diagram *rose* diperoleh arah relatif kelurusan dominan berarah *NNW-SSE*, *NW-SE*, *ESE-WNW*, dan *E-W*. Area kelurusan yang didapat dominan terdapat pada Zona Rembang dan Zona Kendeng. Hal tersebut mengindikasikan Zona Rembang dan Zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan dekat dengan struktur geologi (**Gambar 3**).



Gambar 3. Peta Struktur Geologi Tentatif

Pengolahan Data Gravitasi Satelit

Anomali Bouguer Lengkap

Data anomali gravitasi citra satelit beserta koordinat geografis telah disediakan oleh *The Scripps Institution of Oceanography University of California San Diego US* dan dapat diakses dari http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. Data yang diperoleh dalam format ASCII – XYZ telah tersusun secara *grid*. Jarak antar titik sebesar 1 menit/*grid*. Data gravitasi ini telah terkoreksi udara bebas sehingga dalam pengolahan data untuk hanya dilakukan koreksi Bouguer dan koreksi *terrain*.

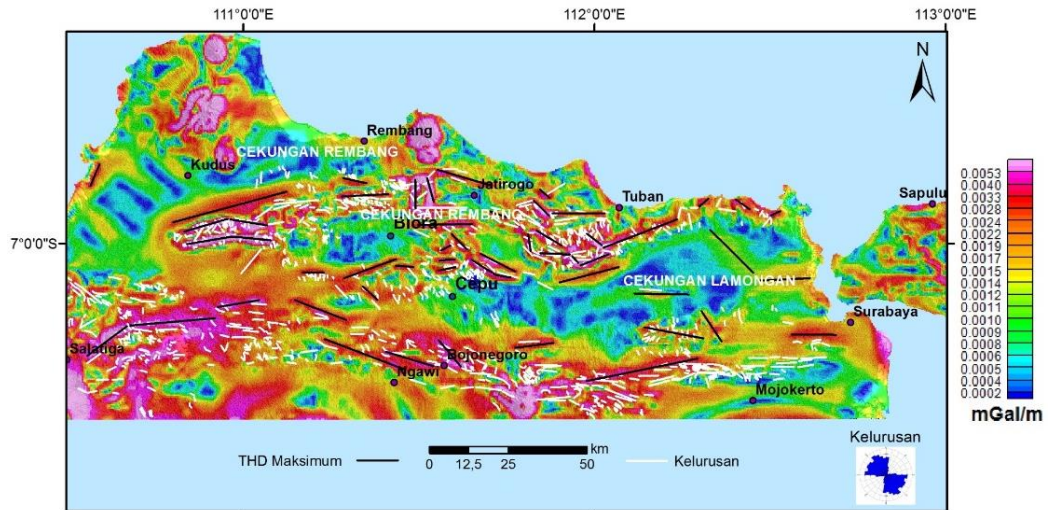
Filter Total Horizontal Derivative

Setelah didapatkan ABL, tahap pengolahan data selanjutnya yaitu melakukan *filter total horizontal derivative* yang bertujuan meningkatkan nilai batas anomali. Batas-batas anomali ini diduga sebagai struktur geologi berupa sesar/patahan. *Filter THD* ini dilakukan dengan perangkat lunak Oasis Montaj.

Total horizontal derivative data gravitasi di Cekungan Jawa Timur Utara dihitung dari anomali Bouguer lengkap. Struktur sesar yang ditandai dengan adanya kontras densitas batuan umumnya memiliki nilai *total horizontal derivative* yang maksimum. Akan tetapi, menurut [16] magnitudo maksimum gradien horizontal tersebut dapat bergeser dari posisi sebenarnya apabila struktur sesar memiliki kemiringan yang landai (tidak mendekati vertikal) atau berdekatan dengan struktur sesar yang lainnya.

Total horizontal derivative meningkatkan frekuensi tinggi variasi horizontal pada data medan potensial. Variasi tersebut dapat disebabkan oleh patahan dan/atau antara perbedaan unit geologi. Pada peta THD yang dihasilkan (**Gambar 4**) tersebut ditemukan nilai *total horizontal derivative* maksimum yang berasosiasi dengan patahan, dan batas antara unit geologi yang berbeda.

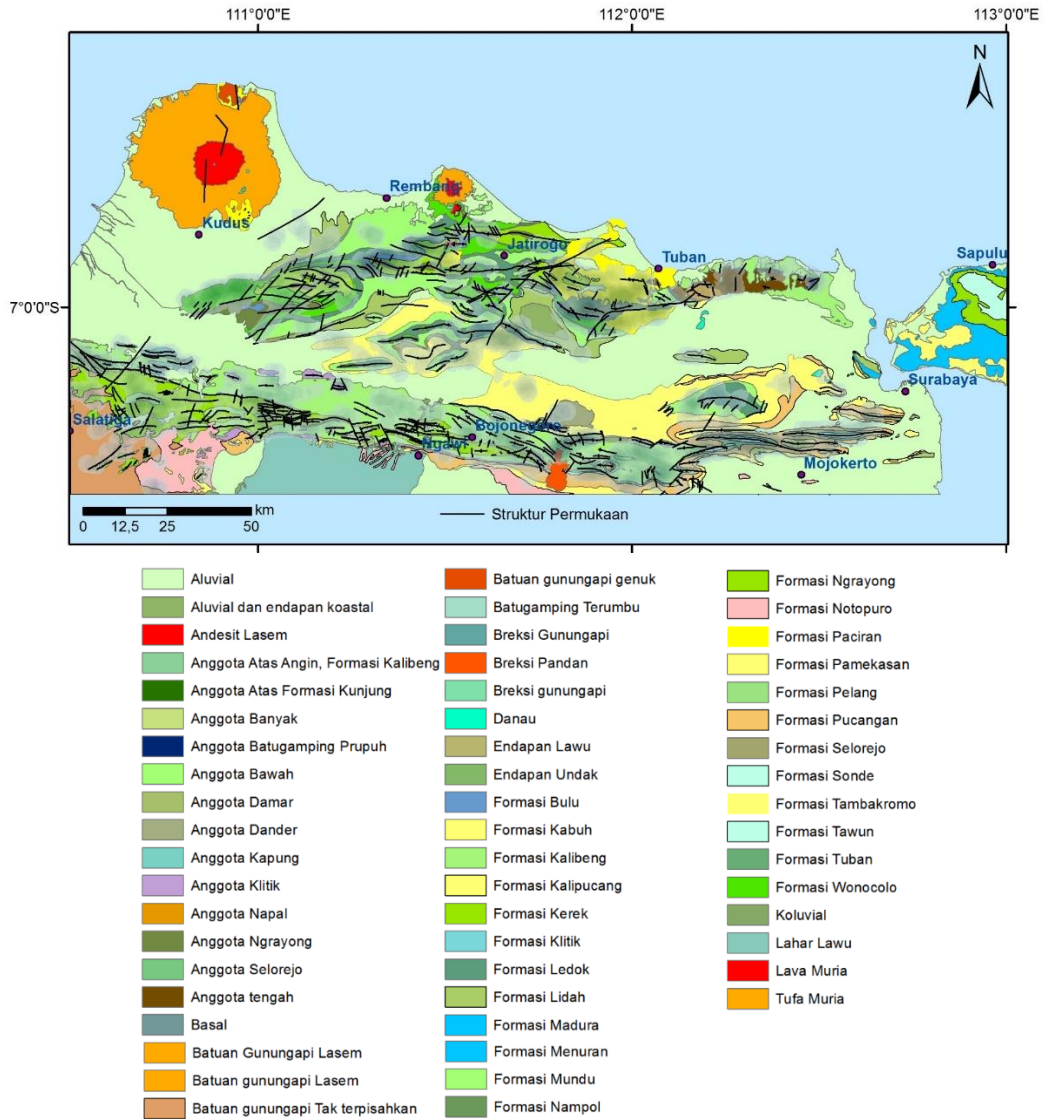
Dari analisis *total horizontal derivative* pada Cekungan Jawa Timur Utara, memperlihatkan beberapa magnitudo maksimum yang berasosiasi dengan struktur sesar yang terletak di perbatasan zona Rembang, Kendeng dan Randublatung. Kontak yang terbentuk dari nilai THD maksimum dapat diindikasikan batas dari cekungan Lamongan dan cekungan Rembang. Ada beberapa nilai THD maksimum yang tidak bertepatan dengan sesar geologi. Ketidaktepatan tersebut kemungkinan disebabkan oleh berdekatnya struktur sesar atau kemiringan sesar yang landai. Kontras batuan berdensitas tinggi dan rendah membentuk kelurusan-kelurusan yang berkorelasi dengan nilai THD maksimum dan struktur sesar.



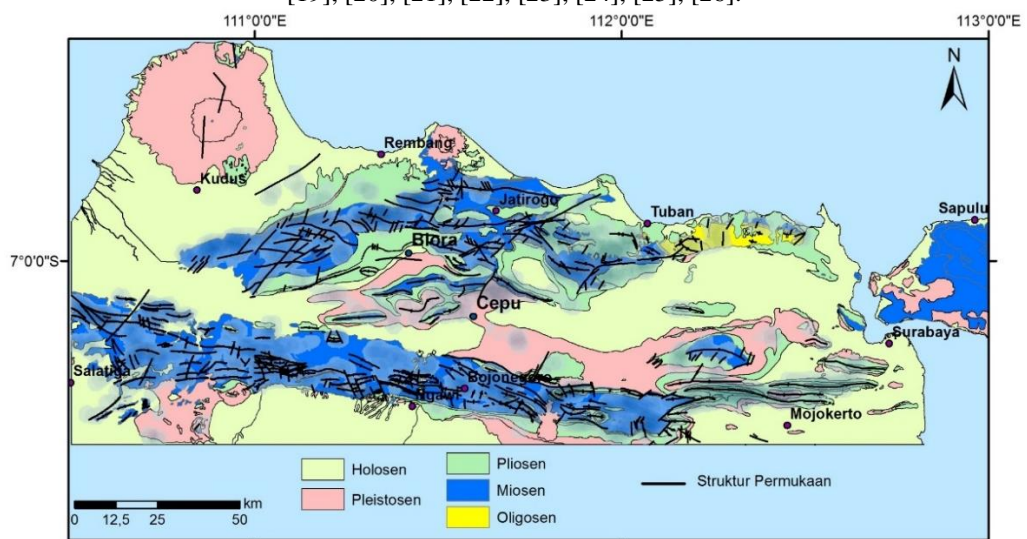
Gambar 4. Peta Struktur Geologi berdasarkan *Total Horizontal Derivative* dari Anomali Bouger Lengkap Cekungan Jawa Timur Utara. Garis hitam adalah interpretasi patahan berdasarkan nilai THD maksimum.

Interpretasi Struktur Geologi dari Hasil Pengolahan Data Citra Landsat 8, SRTM, Gravitasi Satelit, dan Peta Geologi Digital

Dilakukan *overlay* peta densitas kelurusan di atas peta geologi berdasarkan Formasi dan umur Formasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi dan pola penyebaran kelurusan-kelurusan morfologi [17]. Pada peta densitas kelurusan yang di-*overlay* dengan peta geologi (**Gambar 5**) menunjukkan densitas kelurusan yang besar terdapat pada formasi Kalibeng di Zona Kendeng, dan formasi-formasi di area antiklinorium Rembang. Jika melihat sebaran densitas kelurusan berdasarkan umur formasi, densitas kelurusan yang besar terdapat pada kala Miosen (**Gambar 6**).

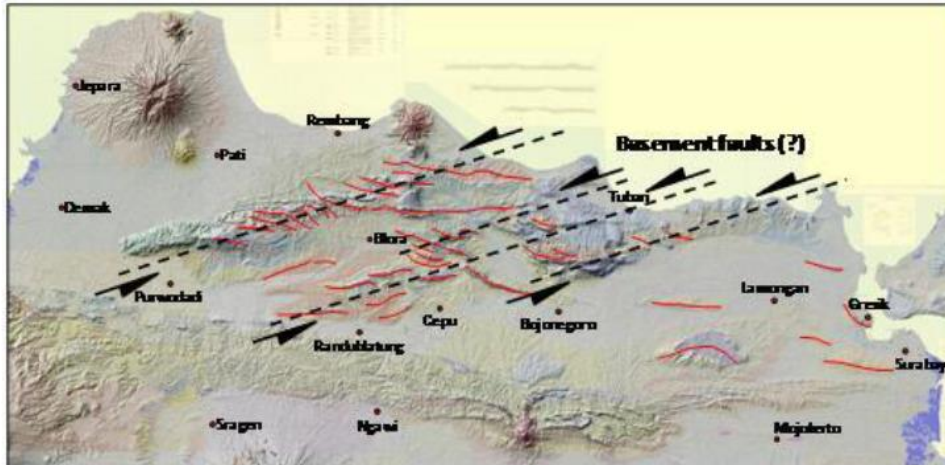


Gambar 5. Peta densitas kelurusan yang di-overlay dengan peta geologi. Peta Geologi dari [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26].



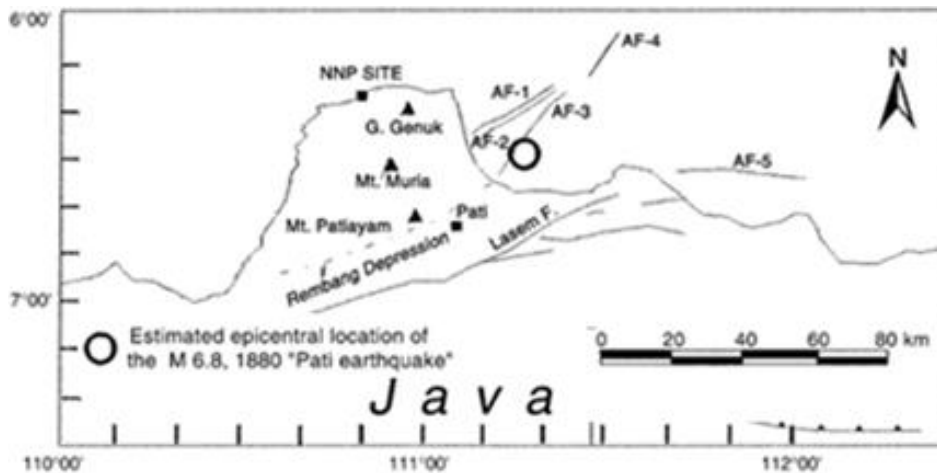
Gambar 6. Peta densitas kelurusan yang ditumpangtindihkan dengan peta geologi berdasarkan umur formasi. Peta Geologi dari [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26].

Menurut [27], pembentukan lipatan di Zona Rembang dikontrol oleh pergeseran patahan basement yang berorientasi *ENE-WSW*, dengan slip yang relatif kecil (**Gambar 7**). Arah *ENE-WSW* ini juga mengindikasikan adanya pergerakan sesar geser sinistral utama di bawah permukaan atau sesar pada *basement* yang menginisiasi pembentukan lipatan *en-echelon*. Hal ini sangat mungkin terjadi karena satuan batuan di daerah penelitian merupakan batuan sedimen yang relatif bersifat *ductile* [27].



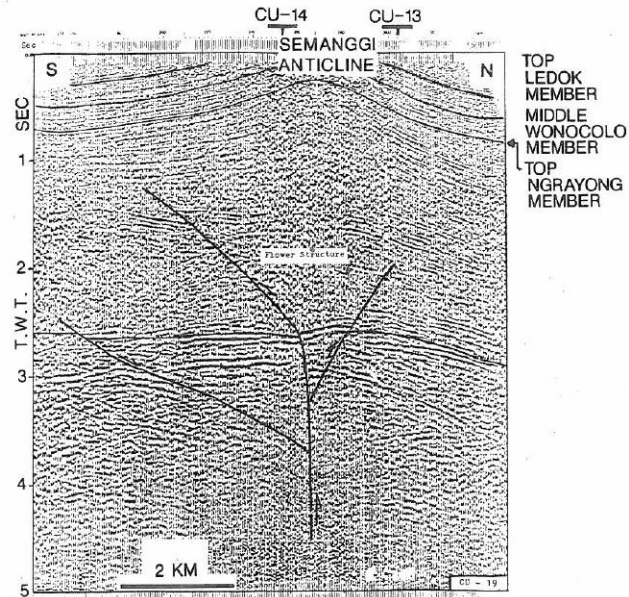
Gambar 7. Distribusi lipatan di Zona Rembang (garis berwarna merah) dan hubungannya dengan patahan *basement* [27]

Patahan regional di Zona Rembang berorientasi *NE-SW* dan ditunjukkan sebagai AF1-AF5 pada **Gambar 8** [28]. Patahan AF-3 dan AF-4 dapat diinterpretasikan sebagai perpanjangan patahan di darat yang mengontrol depresi Rembang [28], patahan tersebut perpanjangan dari darat ke patahan AF-5 dan patahan Lasem.



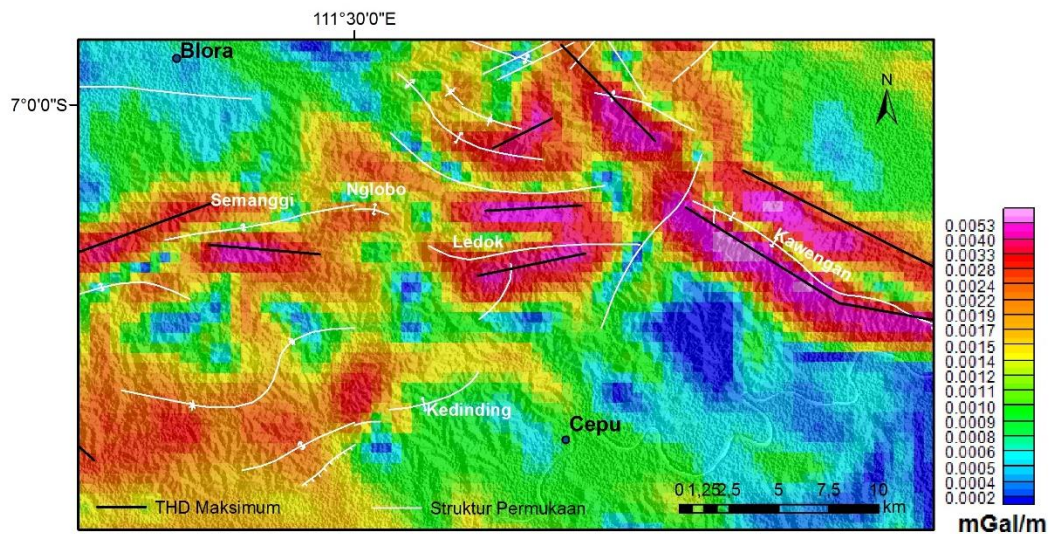
Gambar 8. Tektonik patahan Lasem ([28], dengan modifikasi)

Penelitian sebelumnya [29], melakukan analisis struktur terhadap pola sebaran perlipatan yang ada di Zona Rembang, berdasarkan data seismik. Pada Antiklin Nglobo – Semanggi sebagai perlipatan yang dikontrol oleh pergeseran batuan dasar (*thick-skinned tectonic*) akibat pergeseran sesar mendatar (*wrench faulting*). *Flower structure* diidentifikasi dari *line* seismik melintas di atas struktur Semanggi (**Gambar 9**). Struktur ini merefleksikan *convergent wrench zone* dimana terdapat pergerakan patahan *strike-slip* [30]. Antiklin Nglobo-Semanggi terletak di Rembang Selatan bagian barat, dengan ciri sumbu lipatan berarah relatif *E-W*, dengan mekanisme pembentukannya dikontrol oleh penyesaran geser sinistral pada batuan dasar yang berarah *NE-SW* [29].



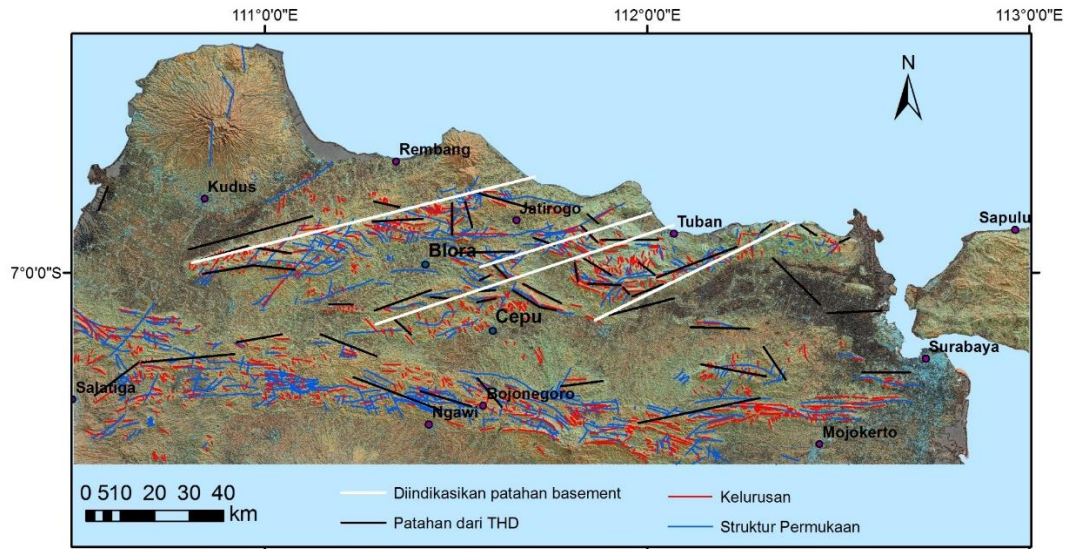
Gambar 9. Line seismik di atas antiklin Semanggi. Flower structure indikasi dari wrench fault [29].

Pada hasil analisis anomali THD, terdapat nilai THD maksimum di sekitar antiklin Nglobo – Semanggi, hal ini dapat diindikasikan terdapatnya *wrench fault* di area tersebut (**Gambar 10**). Pada penelitian sebelumnya [31], mengenai model tektonik pada Cekungan Jawa Timur Utara juga menghasilkan sistem penyesaran geser.



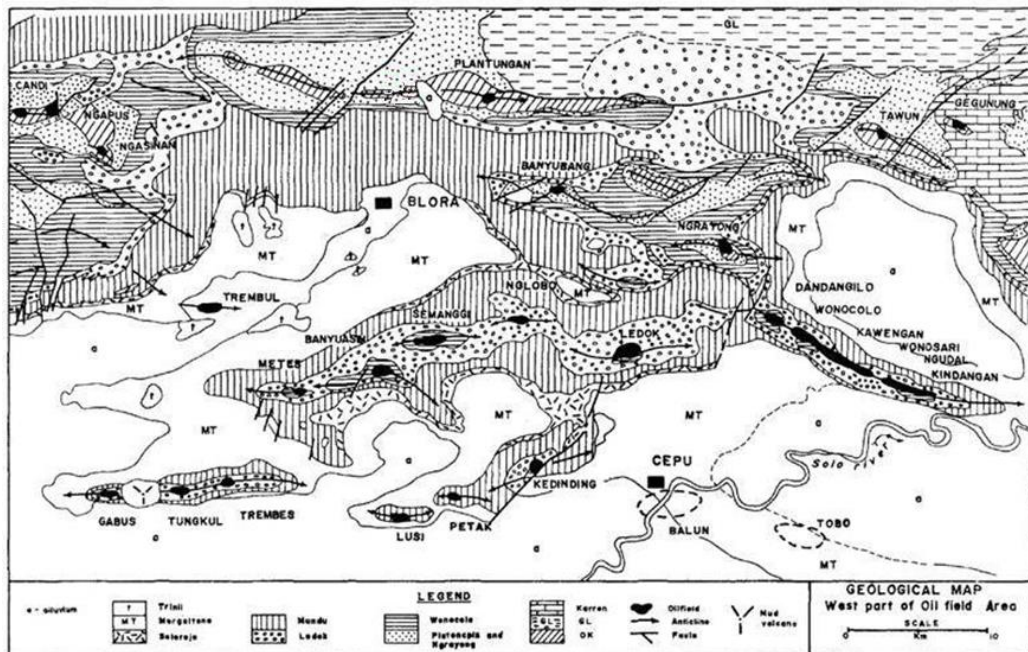
Gambar 10. Nilai *Total Horizontal Derivative* maksimum di sekitar antiklin Nglobo – Semanggi mengindikasikan terdapatnya patahan *basement*.

Dari interpretasi patahan berdasarkan nilai THD maksimum, arah patahan *ENE-WSW* yang terdapat pada Zona Rembang dapat diindikasikan sebagai patahan *basement* (**Gambar 11**). Hal tersebut didukung dari penelitian-penelitian sebelumnya. Area kelurusan dominan terdapat pada Zona Rembang dan Zona Kendeng. Hal ini menunjukkan bahwa, Zona Rembang dan Zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan kemungkinan besar dekat dengan struktur geologi.



Gambar 11. Peta Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur Utara.

Antiklin merupakan perangkat struktural paling utama dalam eksplorasi hidrokarbon di Zona Rembang ini (Gambar 12) [32] dapat dilihat distribusi lapangan migas dan asosiasi antiklinoriumn-nya. Menurut [4], migas bermigrasi dari cekungan lamongan dan rembang tersebut melalui patahan mensuplai daerah-daerah tinggian hingga ke lapisan atas pada jalur tinggian Zona Rembang dan Zona Randublatung. Cekungan Lamongan dan Rembang merupakan tempat pengendapan lapisan-lapisan serpih yang kaya organik dari lingkungan terestrial Formasi Ngimbang Bawah, Kujung Bawah dan Tawun [33].



Gambar 12. Distribusi lapangan migas di Zona Rembang dan asosiasi antiklinoriumnya [32]

SIMPULAN

Interpretasi struktur geologi dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM pada area penelitian didapatkan arah relatif kelurusan dominan berarah NNW-SSE, NW-SE, ESE-WNW, dan E-W. Area densitas kelurusan dominan terdapat pada Zona Rembang dan Zona Kendeng. Hal tersebut mengindikasikan Zona Rembang dan Zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan dekat dengan struktur geologi.

Interpretasi struktur geologi berdasarkan data gravitasi dengan metode *total horizontal derivative* dapat mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan bumi. Patahan yang terdapat di Zona Rembang dengan arah ENE-WSW dapat diindikasikan sebagai patahan *basement*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F.F. Jr. Sabins, "Remote Sensing: Principle and Interpretation", 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 549 p, 1987.
- [2] P. Kearey, and M. Brooks, "An Introduction to Geophysical Exploration", Blackwell. 262 p, 2002.
- [3] T.R. LaFehr, and M.N. Nabighian, "Fundamentals of Gravity Exploration", Society of Exploration Geophysicists (SEG), 2012.
- [4] S. Panjaitan, "Prospek Migas Pada Cekungan Jawa Timur Dengan Pengamatan Metode Gaya Berat", Buletin Sumber Daya Geologi Volume 5 Nomor 3, pp. 168-18, 2010.
- [5] P. J. E. Bransden, and S. J. Matthews, "Structural and Stratigraphic Evolution of the East Java Sea, Indonesia": Indonesia Petroleum Association, Proceeding the 21st Annual Convention, Jakarta, pp. 417 – 453, 1992.
- [6] R.W. van Bemmelen, "The Geology of Indonesia, Vol IA General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos", Martinus Nijhoff, The Haque, Netherlands. 732 p. 1949.
- [7] H. Pringgoprawiro, "Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru", Desertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung, 1983.
- [8] A.H. Satyana, and Djumlati, "Oligo-Miocene Carbonates of the East Java Basin, Indonesia: Facies Definition Leading to Recent Significant Discoveries", AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS (AAPG) International Conference and Exhibition Barcelona, Spain, September 21-24, 2003. 7 p. 2003.
- [9] C. Ponto, S. Wibisana, S. Gunarto, A. Mukmin, A. Sinulingga, I. Kresnadi, Maryanto, B. S. Murti, A. Kusumastuti, Maliki, A. Ramdhon, Harwiyanto, H. Darman, and N. Heriyanto, "Petroleum Geology of Indonesia Basin: East Java Basins", 1995.
- [10] C. Loyd, "Putting Landsat 8's Bands to Work", 2013, Available: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/> (diakses pada 1 Oktober 2017)
- [11] A. Abdullah, J.M. Akhir, and I. Abdullah, "Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungai Lembang Area, Malaysia", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 15 (J), pp 1 – 9, 2010.
- [12] M.A. Manap, M.F. Ramli, W.N.A. Sulaiman, and N. Surip, "Application of Remote Sensing in the Identification of the Geological Terrain Features in Cameron Highlands, Malaysia", Sains Malaysiana, pp. 1-11, 2010.
- [13] R.A. van Zuidam, "Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping", Enschede Netherland ITC, 245 p, 1983.
- [14] B.A.v. Pluijm, and S. Marshak, "Earth Structure 2nd", New York, London: Norton & Company, 673 p, 2004.
- [15] M.M. Muhammad, dan A.H. Awdal, "Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEM) in Erbil-Kurdistan, Northeast Iraq", Advances in Natural and Applied Sciences 6(2), 2012, pp. 138-146, 2012.
- [16] V.S.J. Grauch, and L. Cordell, "Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data", Short note, Geophysics, Vol. 52, No. 1, pp. 118– 121, 1987.
- [17] G.B. Kim, "Construction of a Lineament Density Map with ArcView and Avenue", Korea Water Resources, Corporation, South Korea, 22 p, 2003.
- [18] M. Datun, Sukandarrumidi, B. Hermanto, and N. Suwarna, "Peta Geologi Lembar Ngawi, Jawa", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1996.
- [19] Hartono, and Suharsono, "Peta Geologi Lembar Tuban, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1997.

- [20] D. Kadar, and Sudijono, “Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
- [21] Y. Nova, T. Suwarti, Suharsono, dan L. Sarmili, “Peta Geologi Lembar Mojokerto, Jawa”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992
- [22] H. Pringgoprawiro, and Sukido, “Peta Geologi Lembar Bojonegoro, Jawa”. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [23] R.L. Situmorang, R. Smit, and E.J. van Vessem, “Peta Geologi Lembar Jatirogo, Jawa”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [24] Sukardi, dan T. Budhitrisna, “Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [25] J.B. Supandjono, K. Hasan, H. Pangabean, D. Satria, and Sukardi, “Peta Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [26] T. Suwarti, dan R. Wikarno, “Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa”. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [27] S. Husein, K. Kakda, and H.F.N Aditya, “Mekanisme Perlipatan En-Echelon di Antiklinorium Rembang Utara”, Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-8 Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, GEO41, pp 224-234, 2015.
- [28] A.R. McBirney, L. Serva, M. Guerra, and C.B. Connor, “Volcanic and hazards at a proposed nuclear power site in central Java”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126. pp. 11-23, 2003.
- [29] N. Soeparyono, and P.G. Lennox, “Structural Development of Hydrocarbon Traps in the Cepu Oil Field, Northeast Java, Indonesia”, *Proceeding of 18th Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association*, pp. 139-156, 1989.
- [30] T. Harding, and J. Lowell, “Structural styles, their plate-tectonic habits, and hydrocarbon traps in petroleum provinces”, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 63, no. 7, pp. 1016-1058, 1979.
- [31] B. Situmorang, Siswoyo, E. Thajib, and F. Paltrinieri, “Wrench fault tectonics and aspects of hydrocarbon accumulation in Java”, *Proceeding of 5th Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association*, pp. 53-61, 1976.
- [32] B. Soetantri, L. Samuel, and G.A.S.Nayoan, “The Geology of the Oilfields in North East Java”. *Proceeding of 2nd Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association*, pp. 149-175, 1973.
- [33] A.H. Satyana, “Optimalisasi Sumberdaya Hidrokarbon Di Cekungan Sedimen Jawa Timur”. Lokakarya Badan Geologi-BP MIGAS –DINAS ESDM, Surabaya Juni 22-23- 2010, 2010.