BULLETIN OF GEOLOGY Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB) Institut Teknologi Bandung (ITB)

KARAKTERISTIK REKAHAN ALAMI, STUDI KASUS MODEL SINGKAPAN DIGITAL (DOM) BATUAN GRANITIK DI MUARO SILOKEK, SUMATERA BARAT

WILDAN TRI KOESMAWARDANI¹, M. E. MARSHAL NURSHAL², BENYAMIN SAPIIE², ALFEND RUDYAWAN²

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi, Universitas Trisakti, Jl. Kiyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta, 11440, Email: wildan@trisakti.ac.id

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132

Sari – Model Singkapan Digital atau disebut dengan *Digital Outcrop Model* (DOM) merupakan suatu metode dalam membangun model geoselular berbasis 3D yang lebih realistis berdasarkan data fotogrametri. DOM tersebut dapat menggambarkan kedudukan bidang rekahan dengan minimum panjang rekahan empat meter, sehingga dapat menggambarkan distribusi dan geometri rekahan dengan baik (cukup presisi). DOM yang digunakan memiliki dimensi 320 m × 12 m berada pada singkapan batuan granitik yang terekahkan di Muaro Silokek, Sumatera Barat. Terdapat 1183 interpretasi rekahan pada DOM. Berdasarkan orientasi rekahan yang tersebar pada DOM, terdapat empat segmentasi domain struktur dengan tiga arah orientasi utama yaitu utara utara barat laut - selatan tenggara (UBL-STG), timur laut - barat daya (TL-BD), dan timur-timur laut – barat barat daya (TTL-BBD). Hasil analisis kinematik dari data struktur tersebut menunjukan daerah Muaro Silokek dipengaruhi oleh sesar mendatar menganan dengan arah barat laut – tenggara (BL-TG) yang sejajar dengan orientasi Sesar Takung. Analisis densitas rekahan pada DOM dilakukan dengan metode *grid* dengan dimensi *grid* 20 m × 20 m menghasilkan rentang nilai 0,15 – 1 rekahan/m². Dari hasil analisis densitas rekahan tersebut dapat dilakukan analisis kinematik untuk mengetahui orientasi sesar minor. Densitas rekahan sangat dipengaruhi dengan jaraknya terhadap sesar dan memiliki sebaran data logaritmik dengan koefisien korelasi yang tinggi yaitu $R^2 = 0,98$.

Kata kunci: Digital Outcrop Model (DOM), batuan granitik, rekahan, domain struktur, densitas.

Abstract - Digital Outcrop Model (DOM) is a method of building a more realistic, 3D-based geocellular model based on photogrammetric data. DOM can describe position of fractures with a minimum length of four meters, so it can describe better distribution and fracture geometry with more precision. DOM used has a dimension of 320 m × 12 m at fractured granitic rock outcrops at Muaro Silokek, West Sumatra. There are 1183 fracture interpretations in the DOM. Based on the fracture orientation scattered in the DOM, there are four segmentation structures with three domain orientation directions, north north west - south southeast (NNE-SSW), northeast - southwest (NE-SW), and east-northeast - west southwest (ENE-WSW). The results of kinematic analysis of the structural data show that the Muaro Silokek area is affected by the strike slip fault with the northwest-southeast direction (NW_SE) which is parallel with orientation of the Takung Fault. Fracture density analysis in DOM was carried out by grid method with grid dimensions of 20 m × 20 m resulting in a value range of 0.15 - 1 fracture/m². From the results of the fracture density analysis, the kinematic analysis can be carried out to determine the minor fault orientation. Fracture density is strongly influenced by the distance to fault and has logarithmic distribution data with a high correlation coefficient $R^2 = 0.98$.

Key words: Digital Outcrop Model (DOM), granitic rock, fracture, structure domain, density.

1. PENDAHULUAN

Daerah Muaro Silokek ini, sebelumnya pernah dilakukan penelitian oleh Toreno (2015) dan Sapiie dkk. (2017) yang melakukan studi karakteristik rekahan alami dengan studi analog batuan dasar di Cekungan Ombilin, termasuk didalamnya batuan granitik di Muaro Silokek. Penelitian tersebut menggunakan metode *scanline* dan *windows scan* pada singkapan danmembandingkan dengan data bawah permukaan di Lapangan Suban, Sumatera Selatan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa karakteristik rekahan dipengaruhi oleh litologi dan jaraknya terhadap sesar (Toreno, 2015).

Berbeda dengan peneliti terdahulu, panelitian

ini menggunakan pendekatan melalui data fotogrametri untuk dijadikan suatu Model Singkapan Digital atau disebut dengan *Digital Outcrop Model* (DOM) dan fokus pada batuan granitik di Muaro Silokek. Data fotogrametri direkam dengan menggunakan *drone* jenis DJI Phantom 4 Pro. Data fotogrametri tersebut direkam selama lima hari dan dilakukan pada tanggal 13 – 21 September 2018 pada pukul 09.00 WIB hingga pukul 12.00 WIB dengan menggunakan teknik *gridding*. Waktu perekaman gambar tersebut diambil konsisten agar hasil fotogrametri yang didapatkan lebih maksimal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik rekahan alami khusus pada batuan granitik di Muaro Silokek seluas $320 \text{ m} \times 120 \text{ m}$ (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian yang terletak di Sungai Indragiri, Muaro Silokek, Sumatera Barat.

Batuan pra-Tersier yang menjadi batuan dasar di Cekungan Ombilin banyak yang tersingkap dengan baik dan terdapat beragam jenis batuan dasar termasuk singkapan batuan granitik di Muaro Silokek (**Gambar 2**). Singkapan batuan granitik pra-Tersier tersebut dapat menunjukan keragaman distrubusi intensitas rekahan alami yang secara lagsung dipengaruhi oleh posisinya terhadap zona sesar, komposisi mineral dan tekstur dari batuan granit.



Gambar 2. Singkapan batuan granitik di Muaro Silokek yang diambil dengan foto *drone*.

granitik di Cekungan Ombilin Intrusi merupakan bagian dari Batolit Lasi yang menerobos batuan Pra-Tersier lain yaitu Formasi Kuantan, Formasi Silungkang, dan Formasi Tuhur (Koesumadinata dan Matasak, 1981). Menurut Silitonga dan Kastowo (1975) dalam Koning (1985), batuan granitik daerah Muaro Silokek memiliki umur 206 juta tahun vang lalu atau bermur Trias Atas dan merupakan bagian dari Lempeng Mikro Mergui yang letaknya sejajar dengan pegunungan plutonik dan vulkanik berumur Permian (Pulunggono, 1985) (Gambar 3).

2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelititan ini adalah data fotogrametri singkapan batuan granitik yang selanjutnya dilakukan penggabungan foto untuk menjadi model digital singkapan (DOM) (**Gambar 4**). Metode ini disebut *Structure from Motion* (SfM; Westoby dkk., 2015). Foto diambil dengan bantuan *drone* dengan tiap foto memiliki titik referensi geografi masing-masing.

Pengambilan gambar dilakukan menggunakan metode *gridding* dengan nilai irisan tiap foto sebesar 50% hingga 75%. Hal ini berdasar pada tujuan pemodelan singkapan digital (DOM), kompleksitas geometri singkapan, dan ukuran dimensi singkapan.

Terdapat total 187 foto yang digunakan dalam proses pemodelan singkapan digital ini. Proses pengambilan foto dibagi menjadi tiga sesi. Sesi pertama merupakan pengambilan data jarak dekat. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran detil dari singkapan. Tiap foto yang diambil pada sesi ini memiliki nilai irisan satu sama lain sebesar >75% dengan jarak pengambilan foto terhadap singkapan mencapai 3 - 5 m.

Sesi kedua merupakan tahap pengambilan gambar jarak menengah. Hal ini bertujuan untuk mengikat tiap foto yang diambil pada sesi pertama. Jarak pengambilan foto terhadap singkapan pada sesi ini mencapai 5 - 10 m dengan nilai irisan antar foto berkisar 50%. Sesi terahir yaitu pengambilan gambar jarak jauh yang bertujuan untuk membentuk geometri singkapan secara garis besar. Pengambilan gambar dilakukan pada ketinggian 40 m dan 50 m di atas singkapan. Selanjutnya, foto data diproses untuk menghasilkan DOM dengan metode pembuatan model permukaan digital oleh Madjid dkk. (2018) yaitu melalui tahapan identifikasi dan pembuatan key-point, pembuatan point cloud, dan pembuatan DOM.

Setelah DOM dibuat dilakukan beberapa metode analisis karakteristik rekahan yang diantaranya interpretasi struktur/ rekahan DOM dengan menggunakan perangkat lunak CloudCompare v2.9..1.; analisis domain struktur DOM dengan membagi daerah penelitian menjadi beberapa segmentasi orientasi rekahan; analisis struktur geologi DOM; analisis densitas rekahan DOM dengan menggunakan metode gridding dengan

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL. 3, NO. 3, 2019 DOI: 10.5614/bull.geol.2019.3.3.1 menghitng jumlah rekahan di setiap grid dengan ukuran 20 m \times 20 m; dan analisis densitas rekahan DOM terhadap jaraknya menuju bidang sesar.



Gambar 3. Pembagian lempeng mikro di Sumatera, Indonesia bagian barat (modifikasi dari Pulunggono, 1985).



Gambar 4. *Digital Outcrop Model* (DOM) daerah penelitian.

3. HASIL ANALISIS 3.1 Interpretasi Strutur DOM

Interpretasi struktur geologi pada skala makro

dilakukan pada data DOM dengan menggunakan perangkat lunak CloudCompare v2.9.1. Data struktur geologi yang diambil berupa data rekahan alami. Akurasi sudut interpretasi data rekahan alami \pm 5° vang dibandingkan dengan data yang diambil langsung di lapangan. Pada bidang rekahan A (Gambar 5), pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak mendapatkan hasil N 347° E/85° sedangkan dari hasil pengukuran langsung sebesar N 342 ° E/81°. Akurasi panjang rekahan minimum yang dapat diinterpretasi sebesar 4 m dan rekahan terpanjang yang diinterpretasi adalah 10 m (Gambar 6).



Gambar 5. Interpretasi rekahan pada DOM, bidang A merupakan sampel yang dijadikan perbandingan dengan pengukuran bidang

secara langsung.



Gambar 6. Histogram panjang rekahan yang diinterpretasi dengan menggunakan data DOM.

Pada interpretasi struktur data DOM, terdapat 1183 struktur bidang yang diinterpretasi (**Gambar 7**). Menurut hasil interpretasi struktur, arah relatif jurus dari rekahan dapat dibagi menjadi tiga diantaranya arah N 345° E/ 75°, N 225° E/ 72°, dan N 85° E/ 74°. Data statisktik bidang rekahan dari interpretasi DOM terdapat pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Interpretasi keseluruhan rekahan pada data DOM mendapatkan 1183 data rekahan pada skala makro.



Gambar 8. Data statistik jurus, kemiringan dan plot antara jurus dengan kemiringan hasil interpretasi rekahan makro pada data DOM.

3.2 Analisis Domain Striktur DOM

Sapiie dan Closs (2013) membuat segmentasi pola struktur (domain struktur) untuk menentukan pola, geometri dan sesar utama pada Grasberg open pit. Hal tersebut dilakukan untuk membantu analisis kinematik struktur berdasarkan dominasi orientasi hingga dapat menyimpulkan pola sesar utamanya.

Untuk menentukan pola, geometri dan sesar utama dari data DOM, maka dilakukan analisis domain struktur untuk memisahkan domain orientasi yang berbeda yang kemudian analisis kinematik untuk menentukan jenis sesar utama pada daerah penelitian. Penentuan segmentasi DOM tersebut dilakukan berdasarkan pengamatan orientasi rekahan secara langsung di lapangan, yang selanjutnya dilakukan pengambilan foto secara detil pada dimensi singkapan tertentu.

Berdasarkan analisis domain struktur yang dilakukan, secara oreintasi domain struktur dibagi menjadi tiga domain yaitu pada arah utara barat laut - selatan tenggara (UBL-STG), timur laut - barat daya (TL-BD), dan timur-timur laut – barat barat daya (TTL-BBD). Jika dilakukan segmentasi domain struktur, maka segmentasi rekahan dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu pada domain struktur DS 1, DS 2, DS 3, dan DS 4.

3.2.1 Domain Struktur DS 1

Domain struktur DS 1 terletak pada bagian utara dari model DOM. Domain struktur ini dicirikan dengan adanya orientasi rekahan TL-BD. Terdapat 327 rekahan yang dapat di interpretasi dengan jenis rekahan gerus. Model DOM pada **Gambar 9**, terdapat tiga orientasi rekahan dengan dominasi orientasi TL-BD berada pada garis merah. Singkapan segar pada zona DS 1 didominasi oleh batuan beku granitik dengan ciri khas berupa mineral k-feldspar yang relatif besar dan dominan.

3.2.2 Domain Struktur DS 2

Domain struktur DS 2 terletak pada bagian selatan dari DS 1 pada model DOM. Arah orientasi pada DS 2 didominasi oleh TTL-BBD. Rekahan yang diinterpretasi pada skala makro ini terdapat 223 rekahan yang merupakan rekahan gerus. Pada **Gambar 10** terdapat beberapa rekahan yang diinterpretasi pada zona DS 2 dengan dominasi orientasi TTL-BD dengan warna kuning. Pada zona DS 2 didominasi oleh batuan granitik dengan kehadiran mineral plagioklas dan k-feldspar yang dominan.



Gambar 9. Model DOM DS 1 yang didominasi oleh orientasi TL-BD dengan total rekahan yang diinterpretasi sebanyak 327 rekahan.



Gambar 10. Model DOM DS 2 yang didominasi oleh orientasi TTL-BBD dengan total rekahan yang diinterpretasi sebanyak 223 rekahan.

3.2.3 Domain Struktur DS 3

Domain struktur DS 3 terletak di bagian tengah dari model DOM. Arah orientasi pada DS 3 didominasi oleh UBL-STG. Rekahan yang diinterpretasi pada skala makro ini terdapat 198 rekahan yang merupakan rekahan gerus. Pada **Gambar 11** terdapat beberapa rekahan yang diinterpretasi pada zona DS 3 dengan dominasi orientasi UBL-STG dengan warna hijau. Pada zona DS 3 didominasi oleh batuan granitik dengan kehadiran mineral k-feldspar

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL. 3, NO. 3, 2019 DOI: 10.5614/bull.geol.2019.3.3.1 dan plagioklas yang dominan. Secara umum, rekahan pada zona DS 3 slit untuk di interpretasi karena kondisi batuan yang sudah hancur.



Gambar 11. Model DOM DS 3 yang didominasi oleh orientasi UBL-STG dengan total rekahan yang diinterpretasi sebanyak 198 rekahan.

3.2.4 Domain Struktur DS 4

Domain struktur DS 4 terletak dibagian selatan model DOM. Arah orientasi yang terlihat dominan pada DS 4 adalah TTL-BBD sama seperti DS 2. Beberapa rekahan yang di interpretasi pada **Gambar 12** terlihat dominasi arah orientasi TTL-BBD dengan simbol garis berwarna kuning. Singkapan batuan pada DS 4 merupakan batuan beku granitik dengan kehadiran minerla k-feldspar dan plagioklas yang dominan, namun dibagian selatan dari DS 4 terdapat mineral k-felspar yang lebih besar dan dominan.

3.3 Analisis Struktur Geologi DOM

Berdasarkan analisis segmentasi domain struktur, maka terdapat empat zona segmentasi yaitu DS 1, DS 2, DS 3, dan DS 4. Masing-masing domain struktur tersebut adalah UBL-STG, TL-BD, dan TTL-BBD yang merupakan rekahan gerus. Rekahan gerus dengan orientasi UBL-STG umumnya berpasangan dengan rekahan gerus TL-BD dibeberapa lokasi dan membentuk sudut 60°. Orientasi rekahan TL-BD memotong orientasi UBL-STG sehingga memiliki umur yang lebih muda daripada orientasi UBL-STG. Orientasi TTL-BBD memotong rekahan rekahan UBL-STG dan TL-BD sekaligus di beberapa tempat terutama di zona DS 3. Rekahan gerus TTL-BBD merupakan hasil orientasi dari rekahan TL-BD. Jika dilihat secara keseluruhan, sistem rekahan dari ketiga orientasi ini sangat ideal dengan model riedel shears dengan rekahan UBL-STG merupakan R, TL-BD merupakan R', dan TTL-BBD merupakam P' (**Gambar 13**).



Gambar 12. Model DOM DS 4 yang didominasi oleh orientasi TTL-BBD dengan total rekahan yang diinterpretasi sebanyak 435 rekahan.

Model riedel shears (Davis dkk., 2012) digunakan berdasarkan arah pergerakan relatif dari rekahan, orientasi rekahan UBL-STG merupakan sesar mendatar menganan, orientasi TL-BD merupakan sesar mendatar mengiri, dan orientasi TTL-BBD merupakan sesar mendatar mengiri yang jika digabungkan manjadi satu kesatuan merupakan suatu sesar mendatar menganan dengan arah tegasan utama dari utara timur laut-selatan barat dava (Gambar 13). Arah pergerakan relatif rekahan tersebut dapat dilihat langsung pergeserannya dan dapat melalui bidang rekahan dengan adanya gores garis. Pada rekahan UBL-STG terdapat gores garis dengan arah 22°, N 346° E dengan besar rake 8°. Untuk rekahan TL-BD terdapat gores garis dengan arah 26°, N 47° E dengan besar rake 15°. Sedangkan untuk rekahan TTL-BBD terdapat bidang sesar dengan jurus kemiringan N 85° E/ 18° (Gambar 14). Namun kedudukan gores garis tersebut tidak dapat terlihat dengan begitu jelas dibeberapa tempat yang menyebabkan analisis kinematik pergerakan rekahan berdasarkan adanya struktur garis berupa gores garis menjadi kurang representatif.

Hasil model struktur geologi utama yang dianalisis sejajar dengan orientasi dari sesar regional berupa Sesar Takung (Situmorang, 1991). Sesar tersebut meurpakan batas dari Cekungan Ombilin disebelah utara dengan orientasi sesar yang sejajar dengan Sesar Sumatera yaitu pada arah timur laut-barat daya.



Gambar 13. Segmentasi domain struktur, hubungan potong memotong serta model struktur geologi daerah penelitian.



Gambar 14. Model struktur geologi daerah penelitian serta struktur penyerta berupa gores garis dan bidang sesar dari setiap domain struktur.

3.4 Analisis Densitas Rekahan DOM

Densitas rekahan adalah jumlah kehadiran rekahan alami dibagi luas area pengukuran (Zebb dkk., 2013). Nilai densitas (p) DOM diperoleh dengan menerapkan metode gridding. Jumlah rekahan yang berada dalam suatu grid (N) yang kemudian akan dibagi dengan luas area disetiap kotak grid (A). Pada analisis densitas rekahan DOM ini digunakan pengukuran jumlah rekahan yang berada pada setiap kotak grid yang berukuran 20 m \times 20 m. Dimensi grid tersebut ditentukan berdasarkan fotogrametri dimensi singkapan yang diambil secara detil saat pengamatan secara langsung di lapangan. Persamaan sederhana yang digunakan dalam menghitung nilai densitas rekahan adalah:

$$p = \frac{N}{A}$$

Dari pengukuran disetiap *grid* pada DOM diberikan nilai densitas yang selanjutnya dilakukan interpolasi dari setiap nilai densitas pada *grid* tersebut sehingga menghasilkan suatu peta densitas dari model DOM. Panjang

interpretasi rekahan pada model DOM dirubah menjadi suatu nilai konstan yaitu 4 m agar pengukuran densitas rekahan yang lebih idel dan representatif. Nilai statistik pada peta densitas DOM menunjukan densitas maksimum dari model DOM adalah 1 /m² (**Gambar 15**). Hasil peta interpreatasi rekahan DOM yang selanjutnya menjadi peta densitas rekahan DOM digambarkan pada **Gambar 16**.



Gambar 15. Histogram nilai densitas rekahan model DOM.



Gambar 16. Interpretasi rekahan DOM yang melalui tahap *gridding* 20 m x 20 m (A), hasil peta densitas rekahan DOM (B).

Distribusi nilai densitas rekahan DOM, dipengaruhi oleh adanya sesar. Dengan mengetahui nilai sebaran densitas rekahan yang tinggi, maka dilakukan analisis kinematik untuk menentukan jenis sesar yang mempengaruhi orientasi rekahan tersebut (**Gambar 17**). Jenis dan orientasi sesar terebut sesuai dengan interpretasi domain struktur yang sudah dilakukan sebelumnya. Umunya sesar pada daerah penelitian dipengaruhi oleh sesar mendatar mengiri (kuning dan merah) yang diikuti dengan sesar mendatar menganan (hijau). Nilai densitas $0/m^2$ dikarenakan tidak tersingkapnya batuan atau tidak adanya rekahan pada setiap *grid*. Beberapa morfologi permukaan seperti aliran sungai dan vegetasi yang membuat nilai densitas menjadi minimum. Nilai rata-rata densitas rekahan DOM adalah 0,5/m².



Gambar 17. Interpretasi sesar melalui analisis kinematik dari setiap nilai densitas rekahan yang tinggi.

3.5 Hubungan Densitas Rekahan DOM dengan Jaraknya Menuju Sesar

Seperti yang dijelaskan Peacock dan Mann (2005) bahwa terdapat beberapa faktor yang mengontrol rekahan, dan diantaranya adalah jarak terhadap sesar. Untuk mengetahui kontrol densitas rekahan yang dipengaruhi oleh jaraknya terhadap sesar, maka dilakukan plot silang antara densitas DOM terhadap jaraknya menuju sesar. Nilai densitas yang dijadikan sampel adalah nilai awal densitas rekahan DOM pada grid. Pada beberapa nilai grid yang dijadikan sampel tersebut kemudian diukur jaraknya terhadap sesar. Hasil dari analisis densitas rekahan di sekitar sesar tersebut menunjukan antara densitas dengan jaraknya menuju sesar memiliki sebaran data logaritmik dengan koefisien determinasi yang tinggi R^2 0,98 (**Gambar 18**).



Gambar 18. Plot silang antara densitas rekahan DOM dengan jaraknya menuju sesar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukan bahwa densitas rekahan akan semakin meningkat jika berada semakin dekat dengan bidang sesar. Kompleksitas distribusi jaringan rekahan di daerah penelitian dapat dibuat segmentasi berdasarkan domain struktur. Domain struktur vang dibuat adalah domain struktur berdasarkan orientasi dan dibagi menjadi empat domain struktur yaitu DS 1 dengan oreintasi rekahan TL-BD, DS 2 dengan orientasi rekahan TTL-BBD, DS 3 dengan orientasi rekahan UBL-STG, dan DS 4 dengan orientasi rekahan TTL-BBD. Berdasarkan analisis kinematik dari rekahan pada daerah penelitian dapat diinterpretasikan kedudukan sesar utama beserta sesar penyerta yang

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL. 3, NO. 3, 2019 DOI: 10.5614/bull.geol.2019.3.3.1 memepengaruhi distribusi rekahan. Rekahan di daerah penelitian dipengaruhi oleh sesar menganan yang arahnya sejajar dengan Sesar Takung di Cekungan Ombilin, diikuti sesar penyertanya yang berarah TL-BD, TTL-BBD, dan UBL-STG yang memiliki arah tegasan utama UTL-SBD. Serta berdasarkan analisis densitas rekahan di sekitar sesar tersebut menunjukan antara densitas dengan jaraknya menuju sesar memiliki sebaran data logaritmik dengan koefisien determinasi yang tinggi R^2 0,98.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis bertierimakasih kepada Tim Geodynamics Reasearch Group ITB yang telah memfasilitasi penulis untuk pengambilan data dari segi teknis maupun non teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Davis, H., Reynold, J.S., dan Kluth, C.F. (2012): *Structural Geology of Rock and Regions*, John Wiley & Sons, Inc. United State of America, **2**, 25-29.
- Koesoemadinata, R.P., dan Matasak. (1981): Stratigraphy and Sedimentation Ombilin Basin Central Sumatra (West Sumatra Province), *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, Annual Convention and Exhibition, **14**th, 217-250.
- Koning, T, (1985): Petroleum Geology of The Ombilin Intermontane Basin, West Sumatera, *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, Annual Convention and Exhibition, **14**th, 117-137.
- Madjid, M. Y. A., Vandeginste, V., Hampson, G., Jordan, C. J., & Booth, A. D. (2018). Drones in carbonate geology: Opportunities and challenges, and application in diagenetic dolomite geobody mapping. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 723-734.
- Peacock, D. C. P., Mann, A. (2005): Evaluation of the Controls on Fracturing in Reservoir Rocks. *Journal* of Petroleum Geology, **28**, 385-396.
- Pulunggono, A., (1985): The Changing Pattern of Ideas on Sundaland Within The Last Hundred Years, Its Implications to Oil

exploration, *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, Annual Convention and Exhibition, **14**th. 121-143

- Sapiie, B. dan Closs, M. (2013): Strike slip faulting and veining in the Grasberg giant porphyry Cu-Au deposit, Ertsberg (Gunung Bijih) mining district, Papua, Indonesia, *International Geology Review*, **55**, 1-42
- Sapiie, B., Apriansyah, D., Tureno. E.Y., Manaf, N.A. (2017): A New Approach in Exploring a Basement-Fractured Reservoir in The Sumatra Back-Arc Basin, *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, Annual Convention and Exhibition, **41**st.
- Silitonga, P.H. dan Kastowo, D. (1975) *Peta Geologi Bersistem Lembar Solok*, Sumatra: Direktorat Geologi, Bandung.
- Situmorang, B., Yulihanto, B., Guntur, A., Himawan, R., dan Jacob, T.G. (1991): Structural Development of the Ombilin Basin West Sumatera, *Proceeding*

Indonesian Petroleum Association, Annual Convention and Exhibition, **20**th 1-15.

- Toreno, E.Y. (2015): Karakteristik dan distribusi rekahan alami, studi analog singkapan batuan dasar Cekungan Ombilin, Sumatra Barat, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Westoby, M., Dunning, S., Woodward, J., Hein, A., Marrero, S., Winter, K., & Sugden, D. (2015). Sedimentological characterization of Antarctic moraines using UAVs and Structure-from-Motion photogrammetry. Journal of Glaciology, 61(230), 1088-1102.
- Zeeb, C., Gomez-Rivas, E., Bons, P. D., dan Blum, P. (2013)Evaluation of Sampling Methods for Fracture Network Characterization Using Outcrops. AAPG bulletin. **97**(9), 1545-1566.