



KARAKTERISTIK STRUKTUR AKTIF PADA AREA TAMBANG BATUHIJAU PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA

Rian Iskandar^{1*}, Raden Irvan Sophian¹, Zufialdi Zakaria¹, Yan Adriansyah²

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

² Program Pascasarjana, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: rian.iskandar74@gmail.com

ABSTRAK

Batu Hijau merupakan salah satu tambang emas dan tembaga di Indonesia yang saat ini dikelola oleh PT Amman Mineral Nusa Tenggara dengan metode penambangan terbuka. Area tambang ini terletak di kecamatan Maluk dan kecamatan Sekongkang, kabupaten Sumbawa Barat, provinsi Nusa Tenggara Barat. Daerah ini terletak pada zona subduksi aktif Indo-Australia yang berarah barat-timur, sehingga Batu Hijau memiliki tingkat kompleksitas struktur yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola tegasan yang bekerja, tingkat kerapatan kekar dan sejauh mana peran struktur termuda terhadap batuan penyusun tambang. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah identifikasi lapangan dan analisis studio. Analisis studio meliputi analisis kinematik dan analisis statistik. Berdasarkan hasil penelitian, pola tegasan yang bekerja pada batuan Tonalit berupa tegasan oblik lateral yang berarah NE-SW, pada batuan diorit berupa tegasan oblik lateral yang berarah NE-SW dan tegasan oblik lateral NE-SW (intrusi) dan pada batuan Vulkanik berupa tegasan oblik lateral yang berarah NE-SW dan oblik vertikal NE-SW (intrusi). Kerapatan kekar pada batuan Tonalit sekitar 2,69 m/m², pada batuan Diorit sekitar 3,99 m/m² dan pada batuan Vulkanik sekitar 5,51 m/m². Berdasarkan uji statistik Anova, orientasi kekar pada masing-masing batuan memiliki kesamaan, yang berarti struktur yang ada dibatuan termuda menerus sampai batuan tertua, dimana struktur pada batuan termuda diinterpretasikan aktif.

Kata Kunci: Batu Hijau, Struktur, kerapatan, orientasi.

ABSTRACT

Batu Hijau is one of gold and copper mines in Indonesia which is currently operated by PT Amman Mineral Nusa Tenggara with open-pit mining method. This mining area is located in West Sumbawa, West Nusa Tenggara. The area lies in the Indo-Australian active subduction zone, so Batu Hijau has a high degree of structural complexity. The purpose of this study is to know the pattern of force, the level of joint density and the extent to which the role of youngest structure on the rocks. The method used in this research is field identification and studio analysis (kinematic analysis and statistical analysis). Based on the results, the stress pattern acting on the Tonalite rock is an oblique lateral stress directed by NE-SW, in diorite rock is an oblique lateral stress directed by NE-SW and an oblique lateral NE-SW stress (intrusion) and on volcanic rocks is an oblique lateral stress directed by NE-SW and an oblique vertical NE-SW stress (intrusion). The joint density in the Tonalite rock is 2.69 m/m², in the Diorite rocks is 3.99 m/m² and in the volcanic rock is 5.51 m/m². Based on the ANOVA statistical test, the joint orientation of each rock has a similar.

Keywords: Batu Hijau, Structure, Density, Orientation.

1. PENDAHULUAN

Batu Hijau merupakan salah satu tambang emas dan tembaga di Indonesia yang saat ini dikelola oleh PT Amman

Mineral Nusa Tenggara (PT AMNT) dengan metode penambangan terbuka (*Open Pit Mining*). Area tambang ini terletak di kecamatan Maluk dan kecamatan

Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan aspek geologi, daerah Nusa Tenggara terletak pada zona subduksi aktif Indo-Australia yang berarah barat-timur. Zona subduksi ini membentuk rangkaian pulau dengan morfologi pegunungan vulkanik. Keberadaan zona subduksi ini mengakibatkan daerah Nusa Tenggara termasuk kedalam daerah tektonik aktif.

Selaras dengan pemikiran diatas, maka daerah Batu Hijau memiliki tingkat kompleksitas struktur yang tinggi. Keberadaan struktur tersebut dalam dunia pertambangan memiliki dampak positif dan negatif. Dampak positif dari keterdapatn struktur ini adalah sebagai media dalam proses mineralisasi, sedangkan dampak negatifnya adalah menjadi salah satu pemicu terjadinya longsor. Oleh karena itu penelitian akan membahas lebih lanjut mengenai keaktifan struktur yang terjadi di area tambang Batu Hijau yang diidentifikasi berdasarkan pola tegasan yang bekerja, tingkat kerapatan kekar dan kesamaan orientasi dari struktur yang ada pada batuan penyusun lereng tambang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pulau Sumbawa merupakan salah satu gugusan kepulauan Nusa Tenggara yang terletak pada busur kepulauan Banda dan merupakan kelanjutan dari zona solo (Van Bemmelen, 1949). Secara umum, karakteristik morfologi daerah Pulau Sumbawa dibagi menjadi dua kelompok, yaitu morfologi kompleks vulkanik dengan ketinggian mencapai 1500 mdpl pada bagian utara dan morfologi yang didominasi oleh perbukitan intrusi serta perbukitan curam pada bagian selatan.

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Sumbawa skala 1:250.000 (Dirjen Geologi dan Sumber Daya Mineral, Sudrajat dkk. 1998), maka stratigrafi daerah penelitian dari batuan tertua sampai batuan termuda tersusun atas Satuan Breksi-Tuf (Tmv) dan Batuan Terobosan (Tmi). Satuan Breksi-Tuf (Tmv) tersusun atas Breksi bersifat andesit, dengan sisipan tuf pasir, tuf batupung, dan batupasir tufan;

setempat mengandung lahar, lava andesit dan basal. Umumnya kelabu kehijauan dan hijau; setempat terpropiltkan, termineralkan, dan terkersikkan; terlihat urat kuarsa dan kalsit. Umur satuan ini menunjukkan Miosen, didasarkan atas umur fosil (Kadar 1972, komunikasi tertulis) yang terdapat dalam lensa Batugamping (Tml). Satuan Breksi-Tuf ini mempunyai kontak selaras menjemari dengan satuan Batupasir Tufan (Tms) dan juga satuan Batugamping (Tml). Sedangkan Satuan Batuan Terobosan (Tmi) tersusun atas andesit, basal, dasit, dan batuan yang tak teruraikan yang sebagian merupakan batuan beku lelehan. Satuan ini menerobos batuan berumur Miosen Awal (Tmv dan Tms). Dasit dan andesit pada umumnya mengandung pirit.

Struktur geologi Sumbawa secara umum berarah baratlaut-tengggara dan timurlaut-baratdaya. Batu Hijau terletak pada blok batuan yang mengalami pengangkatan, berjarak sekitar 30 km dari zona sesar left-lateral oblique-slip di sebelah timur laut, pengangkatan ini mengontrol penyebaran batuan sedimen vulkanik berumur Miosen (Garwin, 2000). Umur intrusi dan mineralisasi pada Batu Hijau mempunyai keterkaitan dengan perkiraan waktu terjadinya tumbukan lempeng Indo-Australia dengan Busur Banda di dekat Timor (Audley-Charles, 1986; Hall, 1996; Richardson and Blundell, 1996 dalam Garwin, 2000).

3. METODE

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah identifikasi lapangan dan analisis studio. Identifikasi lapangan meliputi pengambilan data orientasi kekar berupa Dip dan Dip Direction, data panjang kekar, jenis kekar dan pengambilan gambar yang terdapat pada batuan Vulkanik, Diorit dan Tonalit. Kemudian analisis studio meliputi tahap analisis kinematik dan analisis statistik. Analisis kinematik yang digunakan berupa proyeksi stereografi yang bertujuan untuk mengidentifikasi arah tegasan yang bekerja pada batuan.

Kemudian analisis statistik yang digunakan yaitu perhitungan kerapatan kekar dan uji ANOVA (*Analysis of variance*). Rumus kerapatan kekar yaitu:

$$\text{Kerapatan kekar (m/m}^2\text{)} = \frac{\sum \text{panjang kekar}}{\text{Luas area}}$$

Uji ANOVA bertujuan untuk menguji hipotesis penelitian yang menilai apakah ada perbedaan rerata antara kelompok. Rumus uji ANOVA yaitu:

$$F_{\text{hitung}} = \frac{(\sum_{j=1}^k X_j^2 - \frac{X^2}{N}) / (k - 1)}{(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k X_j^2) / (N - k)}$$

Keterangan: k : Jumlah kelompok; N : Jumlah seluruh data; nj : Jumlah anggota kelompok j

Setelah didapat nilai Fhitung, ketentuan kriteria pengambilan keputusan untuk hipotesis yang diajukan adalah:

- jika $F_{\text{test}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_1 diterima dan H_0 ditolak
- jika $F_{\text{test}} < F_{\text{tabel}}$, maka H_1 ditolak dan H_0 diterima

Dengan :

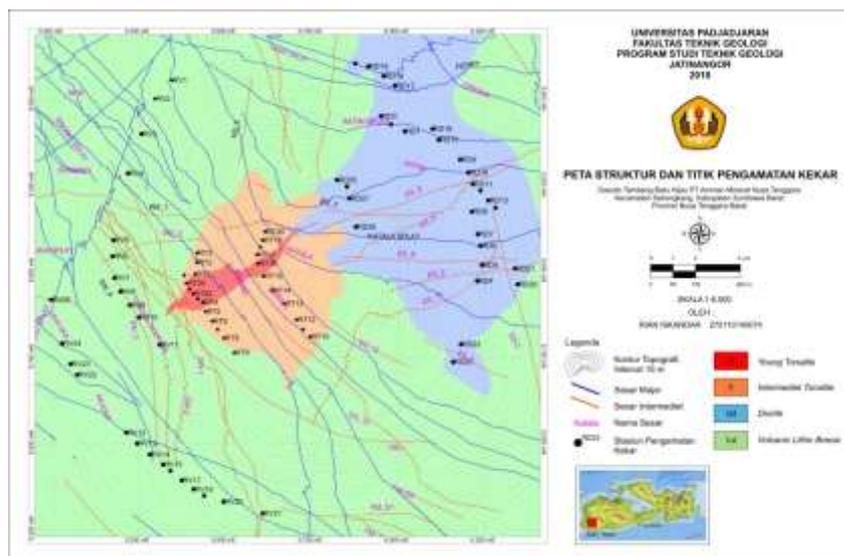
- H_1 berarti ada perbedaan rerata pada semua kelompok data; dan

- H_0 berarti tidak ada perbedaan rerata pada semua kelompok data.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Geologi

Daerah Batu Hijau menurut Garwin (2000), secara umum tersusun atas satuan perbukitan vulkanik dan satuan perbukitan intrusi. Perbukitan intrusi memperlihatkan morfologi curam yang merupakan hasil dari proses struktur yang berkembang. Kemudian pada satuan perbukitan vulkanik memperlihatkan morfologi yang sedikit terjal dengan vegetasi berupa hutan tropis. Akibat dari proses Penambangan, Geomorfologi Batu Hijau mengalami perubahan menjadi morfologi bukaan lahan tambang (Open Pit) berbentuk kerucut terbalik dengan diameter $\pm 2,5$ km dan elevasi tertinggi 500 mdpl serta elevasi terendah -315 mdpl. Stratigrafi Batu Hijau terdiri dari 4 satuan batuan, dengan urutan dari tua ke muda antara lain, Volcanic Lithic Breccia (Miosen Awal - Miosen Tengah), Diorit (Miosen Tengah - Miosen Akhir), Intermediate Tonalite (Miosen Tengah - Miosen Akhir), dan Young Tonalite (Miosen Tengah - Miosen Akhir) (Clode, dkk, 1999).



Gambar 4.1 Peta Struktur dan Titik Pengamatan Kekar

Garwin (2000) menyebutkan bahwa di daerah Batu Hijau terjadi dua kali perioda tektonik yaitu perioda kompresi yang memiliki arah tegasan relatif barat laut-tenggara dan perioda relaksasi yang memiliki arah tegasan relatif barat daya-timur laut. Struktur geologi Batu Hijau pada umumnya dikontrol oleh keberadaan sesar dan kekar dari Fase tektonik dan akibat penerobosan magma/intrusi. Arah umum dari struktur yang berkembang di daerah Batu Hijau berarah barat laut-tenggara dan timurlaut- baratdaya. Struktur mayor yang berarah barat laut-tenggara di Batu Hijau antara lain Zona Sesar Tongoloka Puna, Zona Sesar Tongoloka dan Zona Sesar Katala (Garwin, 2000).

4.2 Analisis Struktur Geologi

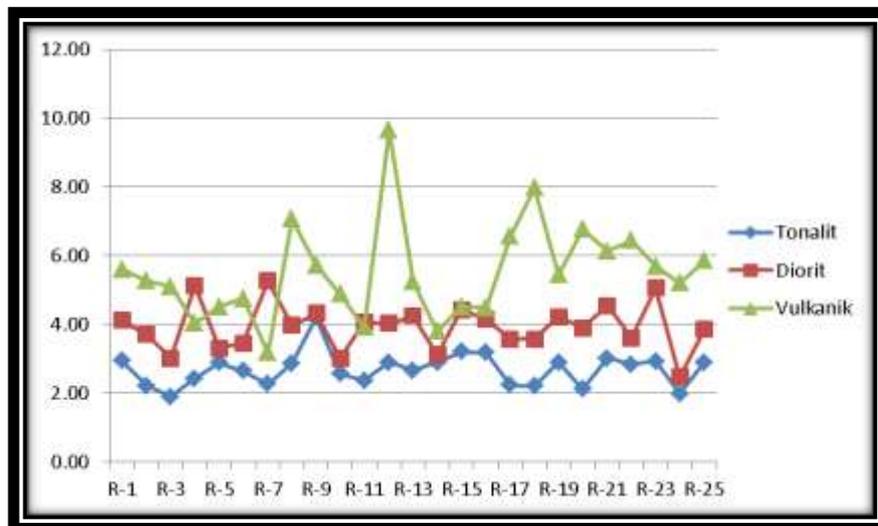
Analisis struktur geologi dilakukan untuk mengidentifikasi keaktifan struktur yang berkembang di daerah penelitian. Aspek yang menjadi parameter dalam identifikasi tersebut yaitu pola tegasan, kerapatan kekar dan kesamaan orientasi. Analisis Pola Tegasan dilakukan untuk mengetahui pola tegasan yang berkembang terhadap suatu batuan. Data yang dianalisis berupa orientasi kekar yang terdapat pada batuan. Hasil analisis dikelompokkan berdasarkan arah tegasan dan posisi kekar pada batuan tersebut sesuai dengan posisi stratigrafinya. Untuk mempermudah dalam

merekonstruksi pola tegasan pada masing-masing batuan, maka analisis ini dimulai dari data kekar yang terdapat pada batuan paling muda. Berikut merupakan Rekapitulasi Pola Tegasan yang berkembang di daerah Batuhijau.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Pola Tegasan

Batuan	Arah Tegasan Relatif	Keterangan
Tonalit	N173°E/27°	Oblik Lateral NW-SE
Diorit	N315°E/36°	Oblik Lateral NW-SE
	N142°E/40°	Oblik Lateral NW-SE
Vulkanik	N161°E/27°	Oblik Lateral NW-SE
	N150°E/52°	Oblik Vertikal NW-SE

Kemudian berdasarkan hasil perhitungan kerapatan kekar, didapatkan bahwa kerapatan kekar pada batuan Vulkanik relatif lebih tinggi dibandingkan dengan batuan Diorit, dan kerapatan kekar pada batuan Diorit relatif lebih tinggi dibandingkan pada batuan Tonalit. Perhitungan Kerapatan ini dilakukan sesuai dengan titik pengamatan pada masing-masing batuan. Berikut merupakan data hasil pengukuran Kerapatan kekar pada masing-masing batuan.



Gambar 4.2 Grafik distribusi nilai kerapatan kekar

Berdasarkan uji Anova didapatkan bahwa terdapat kesamaan orientasi kekar yang terdapat pada masing-masing batuan. Orientasi yang dimaksud adalah nilai *Dip* dan *Dip Direction*. Adanya kesamaan ini terlihat dari hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} lebih kecil dibandingkan dengan F_{tabel} , yang berarti Hipotesis H_0 diterima, sehingga benar bahwa orientasi kekar yang ada pada semua batuan yang ada di area tambang Batu Hijau memiliki kesamaan. Berikut merupakan data rekapitulasi uji ANOVA *Dip* dan *Dip Direction*.

Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil uji Anova *Dip Direction*

Sumber variasi	JK	d.k	Rata-rata JK	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar kelompok	45.39	2	22.69	0.00284	3,09
Inter kelompok	741960.34	93.	7978.06		

Tabel 4.3 Rekapitulasi hasil uji Anova *Dip*

Sumber variasi	JK	d.k	Rata-rata JK	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar kelompok	1265.14	2	632.57	3.0315	3,09
Inter kelompok	19405.81	93.	208.66		

4.3 Pembahasan

Daerah Batuhijau memiliki tingkat kompleksitas struktur yang cukup tinggi. Hal tersebut terlihat dari banyaknya kekar dan sesar yang ada di area tersebut. Dari sejarah tektoniknya, area Batu Hijau terkena intrusi sebanyak dua kali ditambah gaya kompresi dari zona subduksi aktif yang ada di sebelah selatan kepulauan Nusa Tenggara. Keberadaan zona subduksi aktif tersebut dapat menjadi masalah jika struktur di daerah Batuhijau mengalami aktifasi. Salah satu dari masalah yang dapat terjadi yaitu masalah kestabilan lereng, yang pada tingkatan tertentu dapat mengganggu operasional pertambangan. Untuk melihat keaktifan struktur tersebut, salah satu pendekatan yang dilakukan adalah dengan melihat pola tegasan yang berkembang,

kerapatan kekar dan kesamaan orientasi kekar yang ada pada batuan penyusun area tambang,

Berdasarkan analisis kinematik dari data kekar yang terdapat pada masing-masing batuan, pola tegasan yang bekerja pada masing-masing batuan penyusun area tambang Batu Hijau memiliki kesamaan. Hal tersebut dapat terlihat dari adanya kesamaan dari sigma 1 (satu) yang berarah relatif NW-SE pada masing-masing batuan. Pola tegasan tersebut teridentifikasi dari hasil rekonstruksi pola tegasan yang dimulai dari batuan termuda dan menerus kebatuan tertua. Adanya kesamaan ini mengindikasikan bahwa gaya yang bekerja pada batuan termuda menerus sampai batuan tertua.

Bukti lain dari adanya kemenerusan pola tegasan ini yaitu terdapat kesamaan orientasi dari kekar yang dihasilkan oleh pola tegasan yang berkembang pada batuan termuda yang terdapat juga pada batuan tua (Diorit dan Vulkanik). Adanya kesamaan ini tercermin dari hasil uji statistik Anova (*Analysis of Variance*) yang mengakomodir kesamaan dari tiap kelompok data yang diwakili oleh masing-masing batuan. Hipotesis yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan rerata dari tiap kelompok data diterima berdasarkan uji ini, yang berarti struktur yang ada di batuan termuda menerus sampai batuan tertua di area tambang Batu Hijau.

Selain itu berdasarkan analisis kinematik, terdapat juga pola tegasan yang berkembang pada batuan tua (dalam hal ini diorit dan vulkanik) sebelum batuan muda terbentuk. Adanya pola tegasan tersebut mengindikasikan bahwa terdapat gaya yang bekerja pada batuan tua sebelum batuan muda ada. Kondisi tersebut tidak terlepas dari posisi stratigrafi batuan penyusun area penelitian. Berdasarkan hal tersebut maka diinterpretasikan batuan Tonalit terkena deformasi minimal satu kali, kemudian batuan Diorit terkena deformasi minimal dua kali dan batuan Vulkanik terkena deformasi minimal tiga kali.

Deformasi pertama yaitu deformasi yang dihasilkan oleh pola tegasan yang

membentuk deformasi pada batuan Vulkanik sebelum batuan Diorit dan batuan Tonalit terbentuk. Pola tegasan yang membentuk deformasi pertama ini memiliki arah relatif vertikal. arah vertikal ini diinterpretasikan berasal dari intrusi batuan Diorit. Deformasi kedua yaitu deformasi yang dihasilkan oleh pola tegasan yang membentuk deformasi pada batuan Diorit sebelum batuan Tonalit terbentuk. deformasi ini menerus sampai batuan Vulkanik dan memiliki arah pola tegasan relatif vertikal. arah vertikal ini diinterpretasikan berasal dari intrusi batuan Tonalit. Deformasi ketiga yaitu deformasi yang dihasilkan oleh pola tegasan yang membentuk deformasi pada Batuan Tonalit yang menerus sampai batuan Diorit dan batuan Vulkanik. Pola tegasan yang membentuk deformasi ketiga ini memiliki arah relatif NW-SE. arah ini diinterpretasikan berasal dari gaya kompresi dari zona subduksi aktif yang ada di sebelah selatan kepulauan Nusa Tenggara.

Adanya variasi jumlah tegasan yang bekerja pada masing-masing batuan, menyebabkan kerapatan kekar pada batuan penyusun area tambang bervariasi. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa Kerapatan kekar pada batuan Vulkanik lebih tinggi dibandingkan dengan Kerapatan kekar pada Batuan Diorit dan Tonalit, dan Kerapatan kekar pada batuan Diorit lebih tinggi dibandingkan dengan Kerapatan kekar pada batuan Tonalit. Kemudian adanya variasi nilai kerapatan ini dikontrol juga oleh karakteristik sifat mekanik masing-masing batuan. Pada batuan Tonalit, nilai sifat mekanik batuanya relatif lebih besar dibandingkan dengan sifat mekanik Diorit dan Vulkanik, yang berarti Batuan Tonalit relatif lebih resisten terhadap gaya, sehingga frekuensi kekar yang terbentuk relatif lebih sedikit dibandingkan dengan frekuensi kekar pada Diorit dan Vulkanik. Dari hasil tersebut dapat diinterpretasikan bahwa kerapatan kekar yang ada pada masing-masing batuan dikontrol oleh jumlah tegasan yang bekerja

sesuai dengan posisi stratigrafinya, serta karakteristik sifat mekanik batuanya.

5. KESIMPULAN

Pola tegasan yang bekerja pada batuan Tonalit yaitu tegasan oblik lateral yang berarah NW-SE, kemudian pada batuan diorit yaitu tegasan oblik lateral yang berarah NW-SE dan tegasan oblik lateral NW-SE, yang diinterpretasikan dari intrusi batuan Tonalit, sedangkan pada batuan Vulkanik yaitu tegasan oblik lateral yang berarah NE-SW dan tegasan oblik vertikal NW-SE yang diinterpretasikan dari intrusi batuan Diorit dan Tonalit. Pola tegasan yang bekerja pada masing-masing batuan memiliki kesamaan yaitu berarah oblik lateral NE-SW, dimana pola tegasan yang sama ini terjadi pada batuan yang paling muda kemudian menerus sampai batuan yang paling tua. Kerapatan kekar pada batuan Tonalit sekitar 2,69 m/m², kemudian pada batuan Diorit kerapatan kekarnya sekitar 3,99 m/m², sedangkan pada batuan Vulkanik kerapatan kekarnya sekitar 5,51 m/m². Dari nilai tersebut dapat diinterpretasikan bahwa kerapatan kekar yang ada pada masing-masing batuan dikontrol oleh jumlah tegasan yang bekerja sesuai dengan posisi stratigrafinya serta karakteristik sifat mekanik batuanya. Berdasarkan uji statistik Anova, orientasi kekar pada masing-masing batuan memiliki kesamaan, yang berarti struktur yang ada dibatuan termuda menerus sampai batuan tertua di area tambang Batu Hijau, dimana struktur pada batuan termuda ini diinterpretasikan aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Billings, M. P., & Billings, M. P. 1972. Structural geology (No. 551.1 B5). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Davis, G.H., & Stephen, J.R., 1996. Structural Geology of Rocks and Regions. John Wiley.
- Garwin, Steve. 2002. The Geologic Setting Of Intrusion-Related Hydrothermal Systems Near The Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa,

- Indonesia. 15:337-349.
- Fossen, H. 2016. *Structural geology*. Cambridge University Press.
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonics of the Indonesian region* (No. 1078). US Govt. Print. Off.
- Lisle, R. J., & Leyshon, P. R. 2004. *Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers*. Cambridge University Press.
- McClay, K. R., 1987. *The Mapping of Geological Structures*. John Wiley & Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore.
- Sudjana. 1992. *Metode Statistika Edisi Ke 5*. TARSITO: Bandung
- Sudradjat, A., Mangga, A., dan Suwarna, N., 1998. *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa tenggara, Direktorat Jendral Geologi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi* : Bandung.
- Sugiyono. 2015. *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan RND*. Bandung: Alfabeta.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, Nijhoff, The Hague.
- Billings, M. P., & Billings, M. P. 1972. *Structural geology* (No. 551.1 B5). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Davis, G.H, & Stephen, J.R., 1996. *Structural Geology of Rocks and Regions*. John Wiley.
- Garwin, Steve. 2002. *The Geologic Setting Of Intrusion-Related Hydrothermal Systems Near The Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia*. 15:337-349.
- Fossen, H. 2016. *Structural geology*. Cambridge University Press.
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonics of the Indonesian region* (No. 1078). US Govt. Print. Off.
- Lisle, R. J., & Leyshon, P. R. 2004. *Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers*. Cambridge University Press.
- McClay, K. R., 1987. *The Mapping of Geological Structures*. John Wiley & Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore.
- Sudjana. 1992. *Metode Statistika Edisi Ke 5*. TARSITO: Bandung
- Sudradjat, A., Mangga, A., dan Suwarna, N., 1998. *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa tenggara, Direktorat Jendral Geologi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi* : Bandung.
- Sugiyono. 2015. *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan RND*. Bandung: Alfabeta.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, Nijhoff, The Hague.