

Karakteristik Endapan Timah Primer Pada Daerah Paku, Bangka Selatan, Kepulauan Bangka Belitung

Favian Avila Restiko*¹⁾

¹⁾Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

*favianavilarestiko91@gmail.com

Abstrak - Penelitian dilakukan di Desa Paku, Bangka Selatan, Kepulauan Bangka Belitung. Dilakukan pemetaan geologi secara mendetil seperti persebaran litologi, urutan stratigrafi, pola struktur geologi, persebaran alterasi dan mineralisasi, dan potensi sumber daya alam dengan tujuan mengetahui karakteristik endapan timah primer di daerah telitian. Tahap yang dilakukan yaitu tahap pendahuluan, tahap pengambilan data, dan tahap analisis data. Stratigrafi daerah telitian terdiri dari tiga satuan batuan, dari tua ke muda: litodem filit pemali, satuan Batupasir Tanjunggending, dan Endapan Aluvial. Struktur geologi berupa kekar, sesar, dan kedudukan batuan. Sesar dibagi menjadi tujuh kelompok yaitu, sesar mendatar kanan bukit panjang, mendatar kiri bukit panjang, mendatar kiri bukit baji, mendatar kanan bukit baji, mendatar kiri pelawan, mendatar kiri atiau, dan sesar naik bukit panjang. Zona alterasi daerah penelitian dibagi menjadi lima berdasarkan temperatur pembentukan mineral dari suhu tinggi – suhu rendah, yaitu, Kuarsa ± Serisit, Kuarsa ± Turmalin, Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin, Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Illit-smektit, Kaolin + Montmorilonit + Illit-smektit. Kandungan unsur Sn bervariasi berdasarkan geometrinya, geometri *sheeted vein* (112-114ppm) dan geometri *lode* (112-6.044ppm). Kadar Sn tertinggi terdapat pada urat tertekan (19.800Ppm) dan (21.621ppm) yang hadir di breksi hidrotermal dengan mineral kasiterit secara diseminasi dengan arah barat-timur

Kata kunci: Struktur geologi, Altersi, Mineralisasi.

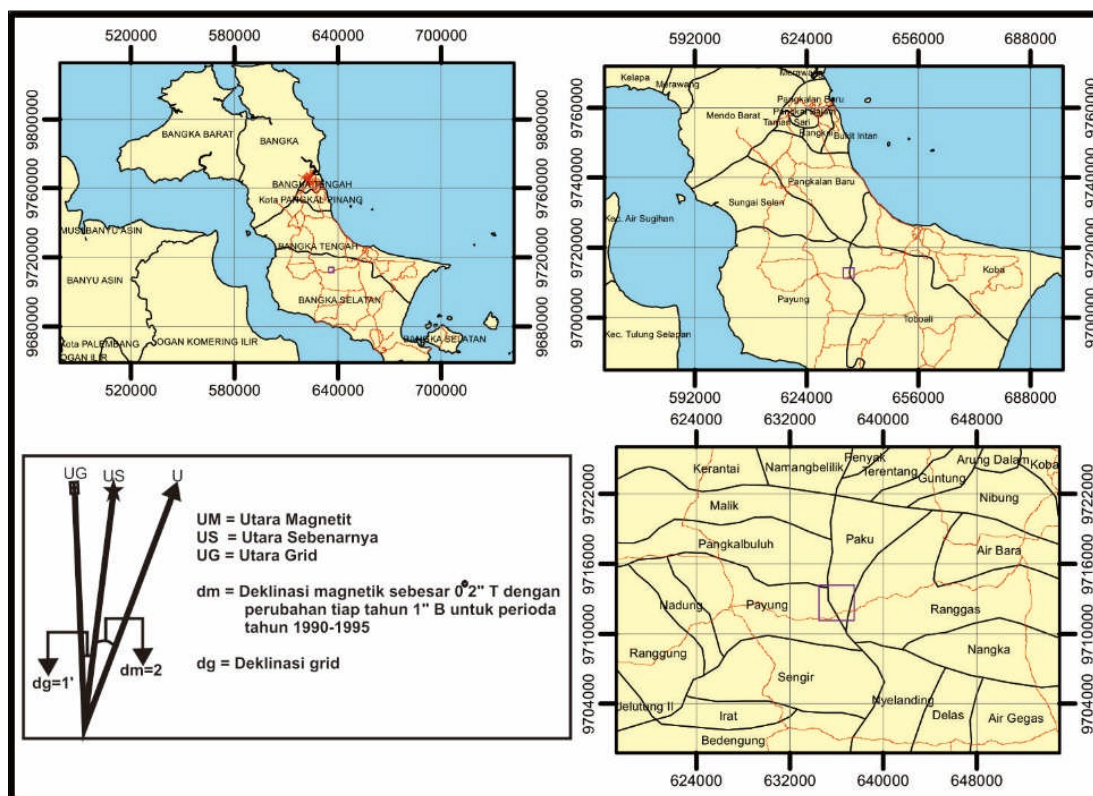
Abstract - Geological mapping conducted in Desa Paku, Bangka Belitung Islands. The mapping aimed to determine the characteristics of primary tin deposits in the study area by examining the distribution of lithology, stratigraphic sequence, geological structure patterns, distribution of alteration mineralization, and potential natural resources. The study involved three stages: preliminary, data acquisition, and data analysis. The stratigraphy of the study area consists of three rock units, from oldest to youngest: Pemali phyllite lithodeme, Tanjunggending sandstone unit, and Alluvial deposits. Geological structures include joints, faults, and bedding. Faults are divided into seven groups: right-lateral Bukit Panjang fault, left-lateral Bukit Panjang fault, left-lateral Bukit Baji fault, right-lateral Bukit Baji fault, left-lateral Pelawan fault, left-lateral Atiau fault, and normal Bukit Panjang fault. Study area are divided into five based on the formation temperature of minerals, from high to low temperature: Quartz ± Sericite, Quartz ± Tourmaline, Quartz + Sericite + Illite ± Dickite ± Halloysite ± Tourmaline, Quartz+Kaolin+Dickite ± Illite-smectite, Kaolin + Montmorillonite + Illite-smectite. Sn content varies based on geometry, sheeted vein (112-114 ppm) and lode (112-6.044 ppm). The highest Sn content in the sheeted vein (19,800 ppm) and (21,621 ppm), presented in hydrothermal breccia with disseminated cassiterite minerals in a WE direction.

Keywords: geological structure, alteration, mineralization.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil timah terbesar di dunia. Keberadaan timah melimpah di Indonesia berada di Pulau Bangka. Pulau Bangka salah satu *Tin Islands* yang terletak pada *Sundaland* Lempeng Eurasia, dan bagian Sabuk Timah bagian Asia Tenggara (Cobbing, 1986). Pembentukan endapan timah tersebar di sepanjang Pulau Bangka secara umum merupakan proses peleburan kerak benua pada zona kolisi yang membentuk magma yang bersifat asam (Schwartz, 1955).

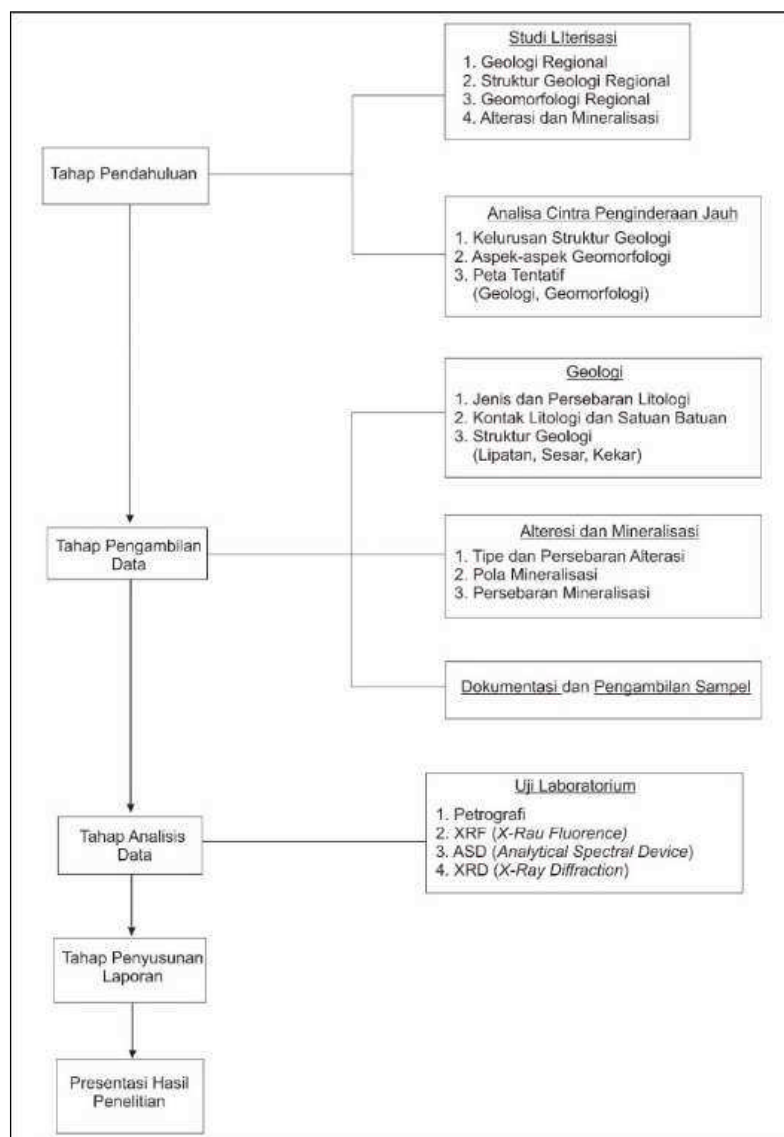
Berdasarkan penjelasan diatas, diharapkan penulis dapat melakukan penelitian yang mendetil dengan harapan mendapatkan hasil persebaran litologi, urutan stratigrafi, pola struktur geologi, persebaran alterasi dan mineralisasi, sejarah geologi, dan potensi sumber daya alam.



Gambar 1. Peta Indeks Lokasi Daerah Penelitian

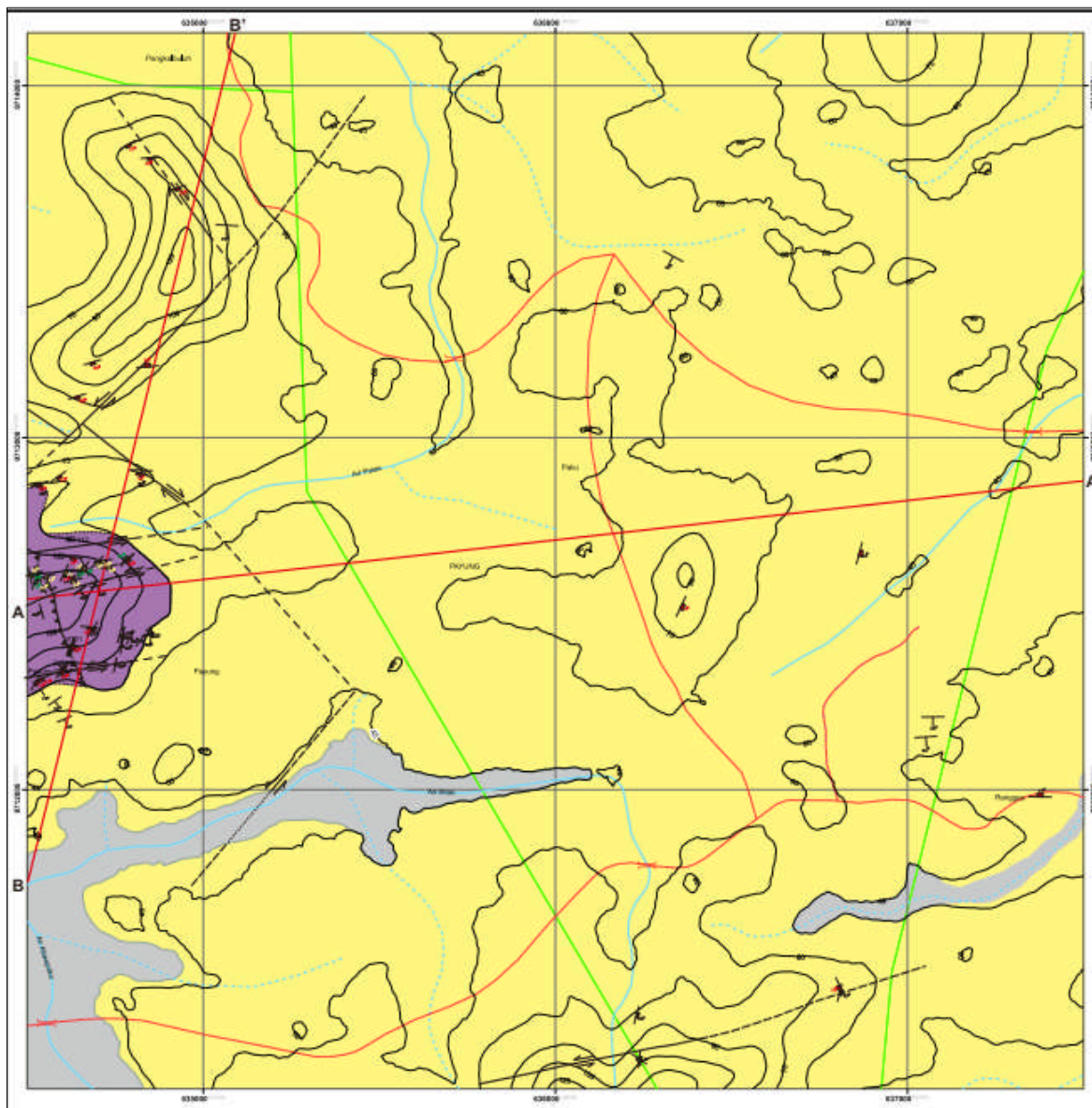
METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pemetaan geologi permukaan, pemetaan persebaran alterasi, dan analisis di Labrotarium (Petrografi, mineragrafi, analisis XRF, analisis XRD) dan dibagi menjadi tahapan, yaitu meliputi tahap pendahuluan, tahap pengambilan data, tahap analisis data, dan tahap penyusunan laporan. Metode dan tahap penelitian yang digunakan. Tahap pendahuluan digunakan untuk studi stratigrafi geologi regional, struktur geologi regional, dan pustaka mengenai alterasi dan minerlisasi. Tahap pengambilan data melakukan perekaman data primer dari lapangan meliputi plotting lokasi, deskripsi batuan, struktur geologi, dan pengambilan percontohan batuan. Tahap analisis data melakukan analisis XRF dan XRD, XRF digunakan untuk mengetahui komposisi unsur batuan sedangkan XRD untuk mengetahui komposisi mineral batuan. Perekaman data primer di lapangan dan analisis XRF dan XRD akan dikompilasi supaya mendapatkan peta geologi dan peta alterasi yang representatif serta menunjang dengan menentukan karakteristik endapan timah primer.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL & PEMBAHASAN



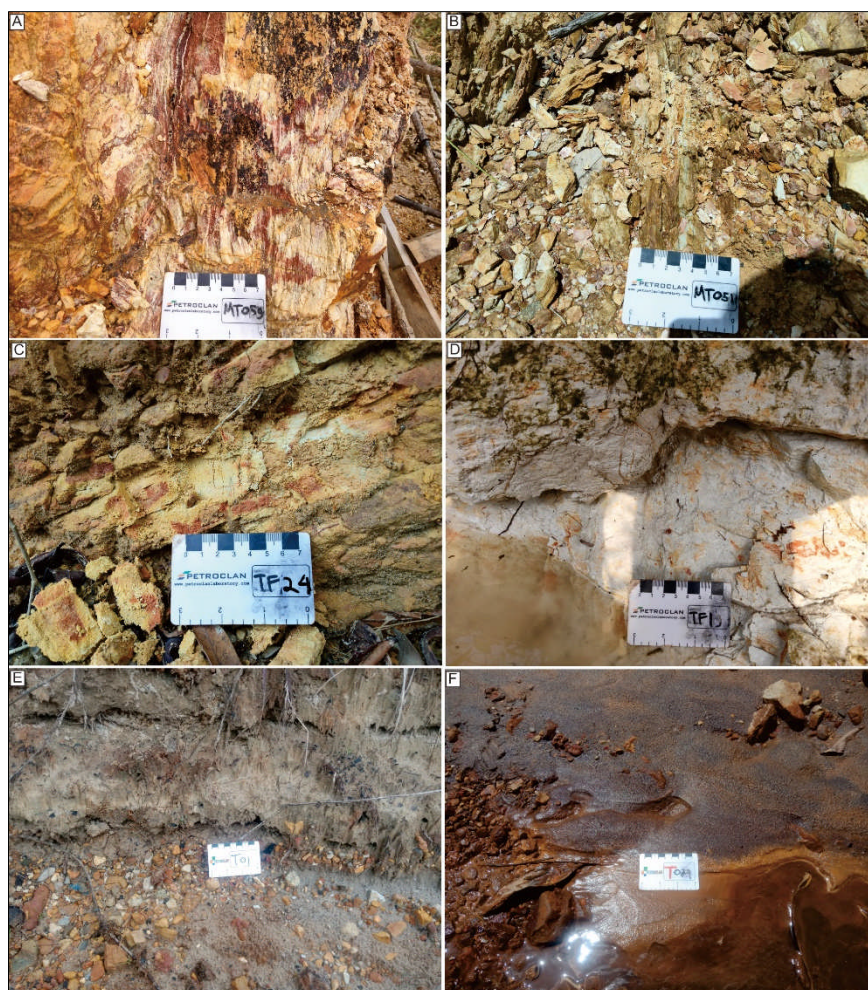
Gambar 3 Peta Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi

Stratigrafi daerah telitian terdiri dari tiga satuan batuan, dari tua ke muda: litodem filit pemali, satuan Batupasir Tanjunggending, dan Endapan Aluvial. Berdasarkan kenampakan di lapangan, satuan batupasir Tanjunggending memiliki hubungan tidakselaras dengan satuan filit pemali yang lebih tua yang dicirikan dengan adanya batas kontak ketidakselarasan satuan tersebut berupa konglomerat alas dan memiliki hubungan stratigrafi tidak selaras dengan satuan endapan aluvial yang lebih muda yang dicirikan dengan adanya jeda waktu pengendapan yang jauh.

Litodem Filit Pemali disusun oleh litologi yang terdiri dari filit, metabatupasir, slate, milonit, breksi sesar, dan fault gauge. Satuan ini didominasi oleh filit. Satuan Batupasir Tanjunggending disusun oleh litologi yang terdiri dari batupasir dan perselingan batupasir dengan lempung. Satuan ini didominasi oleh batupasir.

Endapan Aluvial terdiri dari material lepas dengan ukuran butir mulai dari lempung- kerakal (<1/256 mm – 64 mm) yang berada pada tepian sungai yang saat ini sudah menjadi endapan tailling atau endapan buangan hasil penambangan (gambar 4).



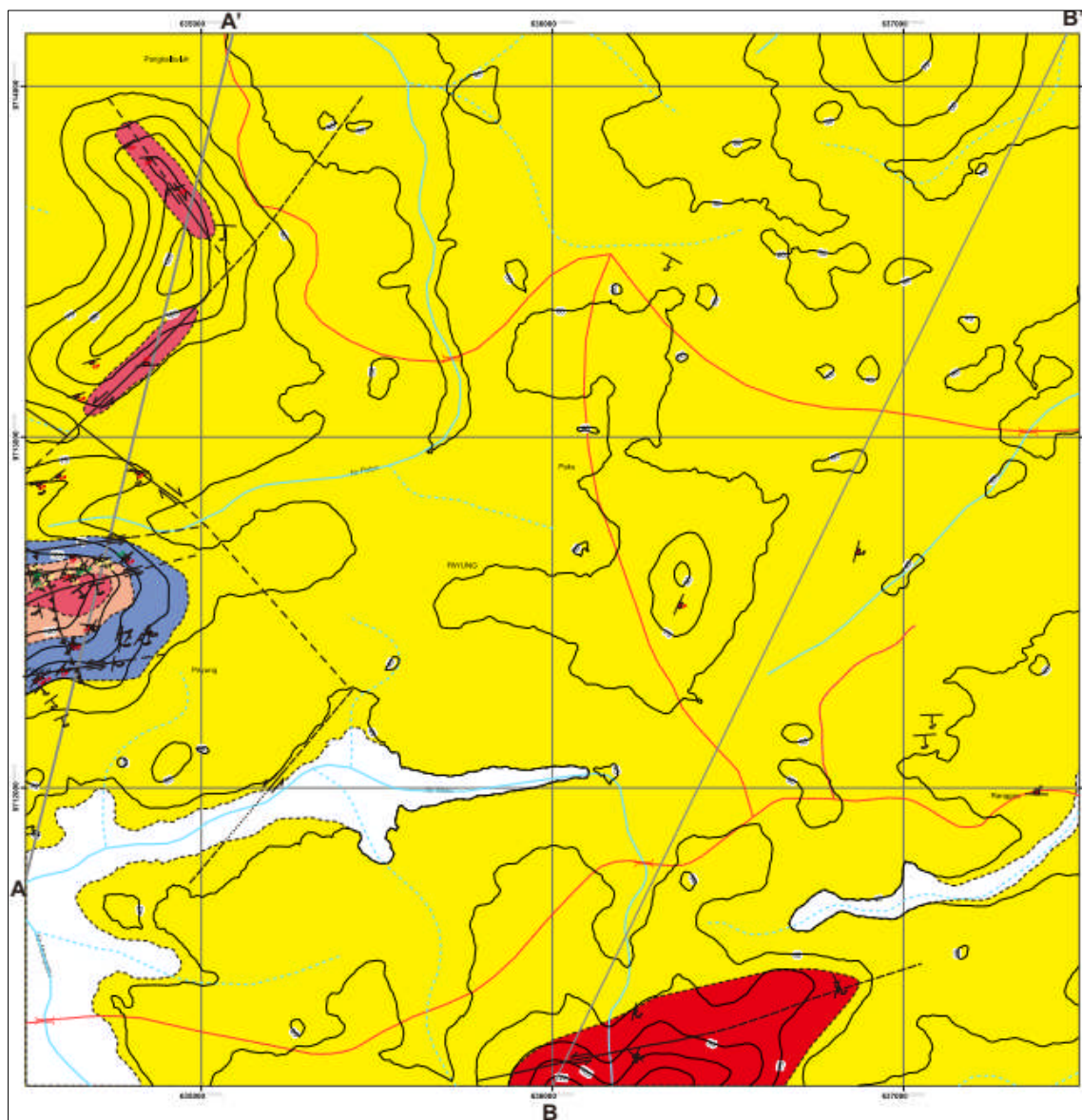
Gambar 4 foto close up Metabatupasir dengan Struktur Foliasi (A), Foto Close Up Batupasir Pada LP 116 (B), Foto Close Up Batupasir (C), Foto Close Up Batupasir (D), Foto Close Up Endapan Aluvial (E & F)

Struktur Geologi

Sesar berkembang secara masif yang memiliki pola serta memiliki hubungan yang berkesinambungan. Sesar yang hadir di daerah telitian merupakan jenis sesar mendatar yang memiliki kemiringan bidang yang tegak sedangkan pada sesar naik relatif miring 51° . Bukti-bukti sesar yang di dapatkan di lapangan antara lain bidang sesar, gores garis, breksiasi, shear fracture, gash fracture, dan offset litologi.

Berdasarkan data lapangan yang diambil sesar yang berkembang di daerah telitian dapat dibagi tujuh, yaitu Sesar Kiri Bukit Panjang, Sesar Kanan Bukit Panjang, Sesar Kiri Bukit Baji, Sesar Kanan Bukit Baji, Sesar Kiri Bukit Pelawan, Sesar Kiri Sungai Atiau, dan Sesar Naik Bukit Panjang (gambar 3).

Alterasi dan Mineralisasi



Gambar 5 Peta Alterasi Daerah Penelitian

Zona alterasi di daerah telitian dapat diketahui pada pengamatan lapangan dan dilakukan analisis XRD (X-Ray Diffraction). Zonasi himpunan mineral di daerah telitian diklasifikasikan menjadi lima yang berdasarkan pembentukan suhu tinggi – suhu rendah, yaitu, Kuarsa ± Serisit, Kuarsa ± Turmalin, Kuarsa + Serisit + Ilit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin, Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Ilit-smektit, Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit (gambar 5).

Kuarsa ± Serisit (Silisik 1)

Zonasi Kuarsa ± Serisit berkembang pada litologi metabatupasir dan batupasir. Kuarsa ± Serisit hadir secara intensif pada breksi hidrotermal khususnya pada litologi metabatupasir. Zona Kuarsa ± Serisit dicirikan dengan kehadiran mineral kuarsa dominan serta mineral kuarsa dan serisit diberbagai tempat. Zona ini merupakan berkembangnya mineralisasi dengan kadar tinggi dengan kehadiran yang mencapai kadar 21.621 Ppm Sn, dengan kadar tertinggi hadir di breksi hidrotermal 21.621 Ppm Sn dan urat kuarsa-oksida-kasiterit (gambar 6a).



Gambar 6 Foto Close Up Metabatupasir teralterasi Kuarsa ± Serisit (A), Close Up Batupasir Teralterasi Kuarsa ± Turmalin(B), Close Up Metabatupasir teralterasi Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin (C), Close Up Metabatupasir teralterasi Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Illit-smektit (D), Close Up Batupasir teralterasi Kaolin + Montmorilonit + Illit-smektit (E)

Kuarsa ± Turmalin (Silisik 2)

Zonasi Kuarsa ± Turmalin hadir pada litologi batupasir. Zona Kuarsa ± Turmalin hadir secara intens khususnya pada litologi batupasir. Zonasi Kuarsa ± Turmalin dicirikan dengan kehadiran kuarsa yang dominan dan hadir turmalin diberbagai tempat. Zona ini merupakan berkembangnya mineralisasi dengan kadar sedang dengan kehadiran yang mencapai kadar 1.852 Ppm Sn (gambar 6b).

Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin (Greisen)

Zona himpunan mineral Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin berkembang pada litologi metabatupasir. Zona Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin hadir secara intensif pada batuan metabatupasir yang berubah. Kuarsa + Serisit + Illit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin dicirikan dengan kehadiran mineral kuarsa, serisit, dan illit yang dominan serta mineral dikit, halosit, dan turmalin diberbagai tempat. Zona ini adalah tempat berkembangnya mineralisasi dengan kadar tinggi 1200-2200 Ppm Sn dengan kadar tinggi hadir pada urat kuarsa teroksidasi (gambar 6c).

Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Illit-smektit(Argilik 1)

Zonasi himpunan Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Illit-smektit berkembang pada litologi metabatupasir. Zona Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Illit-smektit hadir secara intensif pada batuan metabatupasir yang berubah. Zonasi himpunan Kuarsa + Kaolin +

Dikit ± Ilit-smektit dicirikan dengan kehadiran kuarsa, kaolin, serta dikit yang dominan serta mineral illit-smektit diberbagai tempat. Zona ini merupakan zona berkembangnya mineralisasi dengan kadar 200-400 Ppm Sn (gambar 6d).

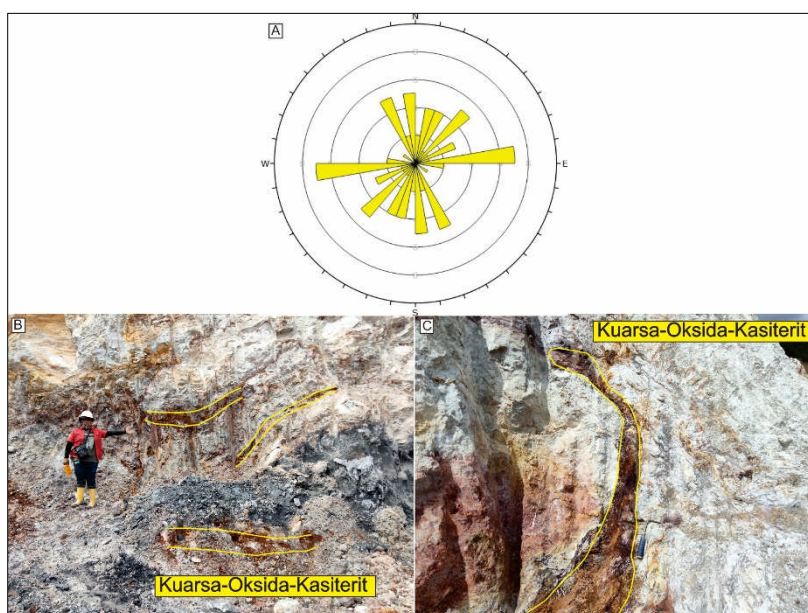
Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit (Argilik 2)

Zona himpunan mineral Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit berkembang pada litologi batupasir. Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit hadir secara intensif pada batuan batupasir yang terubah. Zona himpunan mineral Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit dicirikan dengan kehadiran mineral kaolin dan montmorilonit yang dominan serta mineral illit-smektit diberbagai tempat. Berdasarkan hasil analisis XRF menunjukkan bahwa kandungan Sn < 200 ppm (gambar 6e).

Sistem Urat

sistem urat daerah telitian terbentuk akibat proses tektonik dan dapat diklasifikasikan berdasarkan hadirnya mineral pada urat, yaitu kuarsa-oksida-kasiterit, urat kuarsa, urat kuarsa-turmalin, urat illit. Urat tersebut memiliki geometri sheeted vein (urat yang sejajar), veinlet (urat yang memiliki ukuran <1cm, dan lode (urat yang memiliki ukuran >1cm. Ukuran urat bervariasi mulai dari 0,5 cm – 20 cm.

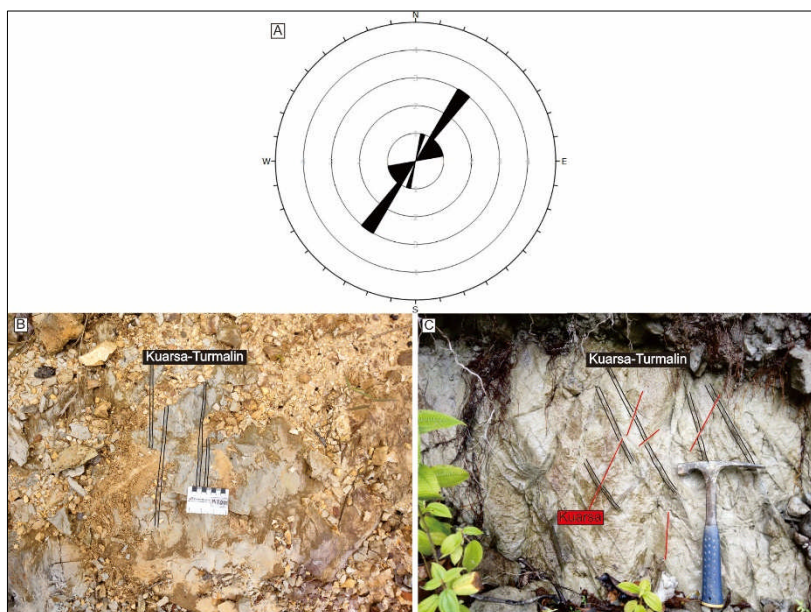
Urat Kuarsa - Mineral Oksida – Kasiterit



Gambar 7 Diagram Mawar untuk Urat Kuarsa – Oksida – Kasiterit (A), Singkapan Urat Kuarsa – Oksida – Kasiterit dengan Geometri Lode yang Diambil Pada Lp 38 dengan geometri Lode dengan kadar 6.044(B), Close Up Urat Kuarsa – Oksida- Kasiterit tertekan dengan kadar 214 Ppm Sn(C).

Urat kuarsa-oksida-kasiterit banyak dijumpai pada batuan metabatupasir dengan ciri-ciri berwarna coklat kemerahan yang memiliki orientasi berarah barat-timur dan timur laut-barat.

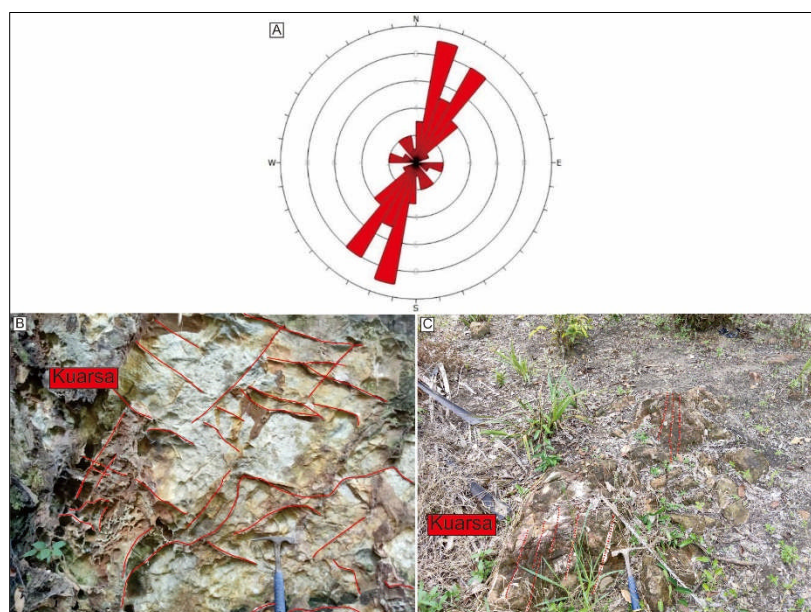
Urat Kuarsa Turmalin



Gambar 8. Diagram Mawar untuk Urat Kuarsa Turmalin (A), Close Up Urat dengan Geometri Sheeted Vein Kuarsa Turmalin dengan Kadar 112 Ppm Sn(B), Close Up sheeted vein Kuarsa Turmalin dengan Kadar 114 Ppm Sn yang dipotong oleh urat kuarsa(C)

Urat kuarsa turmalin hadir pada batuan metabatupasir dan batupasir dengan ciri-ciri berwarna putih kehitaman yang memiliki orientasi berarah timurlaut - baratdaya dan utara - selatan.

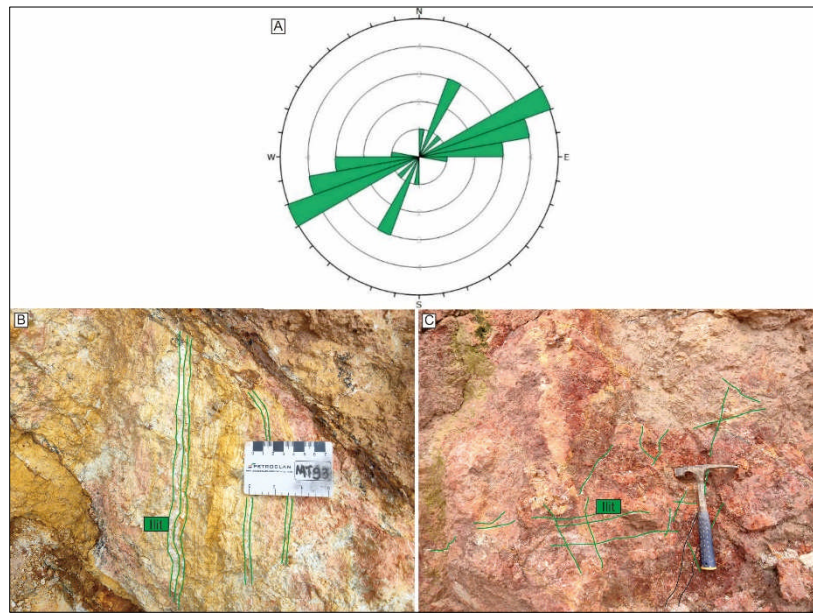
Urat Kuarsa



Gambar 9. Diagram Mawar untuk Urat Kuarsa (A), Close Up Urat Stockwork Kuarsa(B)Close Up Geometri Sheeted Vein Urat Kuarsa(C).

Urat kuarsa hadir pada batuan metabatupasir dan batupasir dengan arah ciri-ciri berwarna putih yang memiliki orientasi berarah timur laut-baratdaya, Utara Timurlaut Selatan Baratdaya, dan barat-timur.

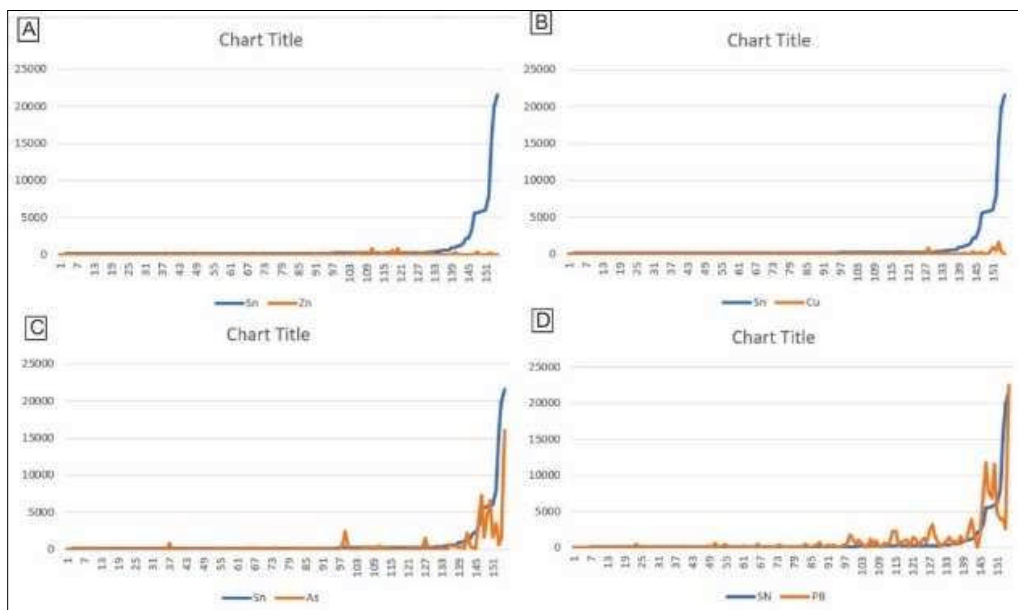
Urut Irit



Gambar 10. Diagram Mawar untuk Urat irit (A), Close Up Urat Irit dengan Geometri Sheeted Vein (B), Close Up Urat Stockwork Irit(B)

Urut irit hadir pada batuan metabatupasir dengan arah ciri-ciri berwarna putih susu yang memiliki orientasi berarah timurlaut - baratdaya dan barat-timur.

Mineralisasi Lokasi Daerah Penelitian

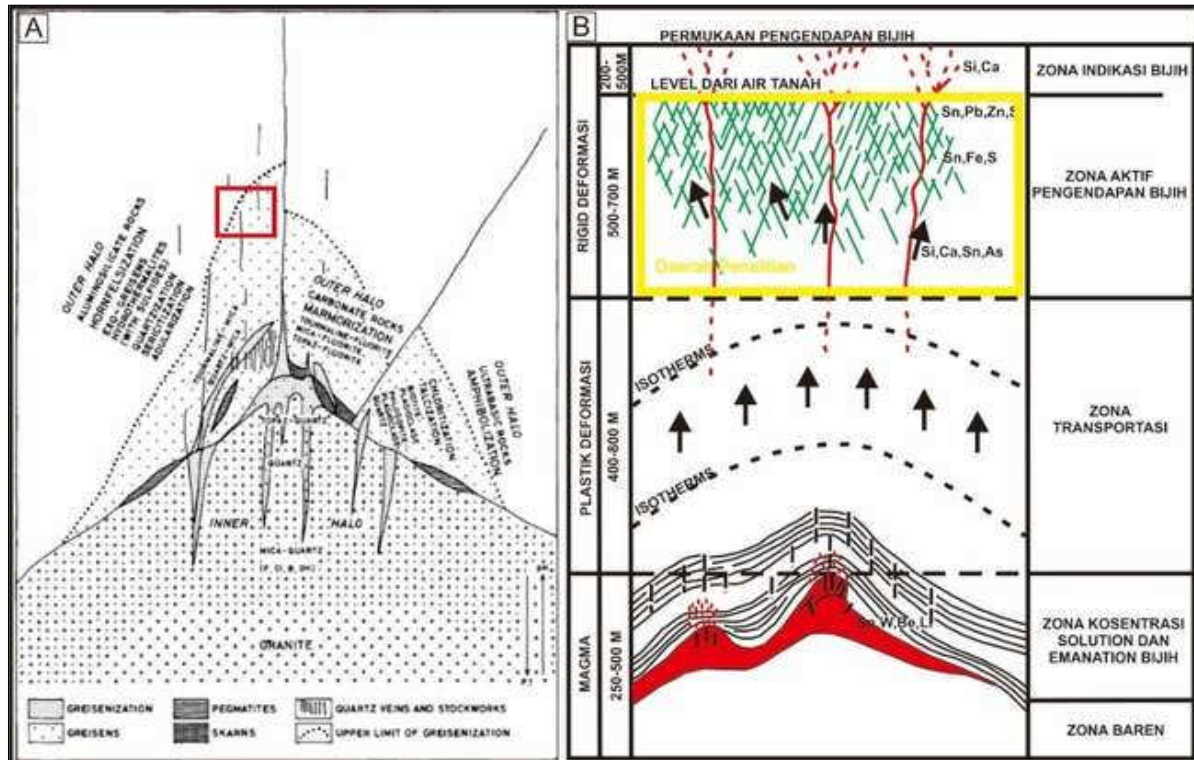


Gambar 11 Grafik Hubungan Unsur Sn dengan Cu, As, dan Pb

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa seiring meningkatnya unsur Sn akan terjadi penurunan unsur Zn dan Cu, sedangkan untuk unsur As dan Pb berasosiasi dengan unsur Sn yang meningkat. Hal ini dikarenakan mineralisasi yang mengandung unsur Pb dan As, yaitu galena dan arsenopirit hadir saat fase gresenisasi awal dan fase urat, sedangkan mineralisasi yang mengandung unsur Cu yaitu kalkopirit dan kalkosit hadir di fase gresenisasi akhir dan Zn (sphalerite)

hadir saat fase gresenisasi akhir dan fase urat. Daerah penelitian termasuk dalam fase pengendapan urat yang dibuktikan dengan kehadiran unsur-unsur melimpah Sn, Pb, dan As pada urat di lapangan dengan adanya analisis XRF dan unsur yang tidak melimpah Cu dan Zn.

Karakteristik Endapan Timah Primer



Gambar 12 Penampang Sistem Endapan Greisen (Modifikasi Scherba, 1970 dalam Taylor 1979) (A) Zona vertikal Endapan Timah (Mel'nicov 1965 dalam Taylor, 1979)

Tabel 1 Karakteristik Endapan Timah Primer Daerah Penelitian

Source Rock	Pluton Granit
Host Rock	Metabatusir, Batupasir, Lempung, filit, dan Slate
Mineral Ubahan	Kuarsa, Serisit, Turmalin, Serisit, Kaolin, Ilit, Dikit, Ilit-smektit Halosit, Montmorilonit
Komoditi Logam	Sn
Komoditi Ikutan	Pb, As, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo
Geometri Struktur	sheeted vein, lode vein, single vein, dan antidilatational jog
Kontrol Alterasi dan Mineralisasi	Berupa Struktur geologi sesar dan kekar

Berdasarkan data lapangan yang dilakukan setelah pemetaan dan didukung oleh hasil analisis laboratorium, penulis menentukan karakteristik mineralisasi (Tabel 1), disimpulkan bahwa tipe endapan daerah penelitian mengacu pada Scherba, 1970 dalam Taylor (1979), adalah Tipe Endapan Exogreisen dalam Fase Pengendapan Urat dan mengacu pada (Mel'nicov, 1965 dalam Taylor, 1979) lokasi penelitian terdapat pada Zone Active Deposition pada kedalaman 500-700 meter pada kondisi deformasi yang keras atau batuan brittle dan kandungan unsur Sn terdapat di batuan dinding dan terdapat pada urat yang tertekan, dan geometri urat berupa sheeted vein, lode, dan veinlet

Lokasi pada daerah penelitian ditemukan mineralisasi berupa kasiterit, galena, arsenopirit, pirit, kalkopirit, dan mineral oksida berupa hematit, goetit, dan kalkosit. Lokasi daerah penelitian ditemukan urat tertekan dan urat tarikkan dengan geometri lode yang dikontrol oleh sesar yang memiliki orientasi arah yang membentuk geometri anti dilatational breccia. Kehadiran mineralisasi berupa kasiterit dengan unsur Sn menunjukkan berasosiasi dengan kehadiran unsur Pb dan As.

Oleh karena itu, mineralisasi pada daerah penelitian terdapat pada Zone Active Deposition yang mengacu pada (Mel'nicov,1965 dalam Taylor,1979).

KESIMPULAN

1. **Geomorfologi Daerah Telitian:** Perbukitan Terisolasi (D1), Dataran Bergelombang (D2), Dataran aluvial (F1), dan Tubuh Sungai(F2)
2. **Stratigrafi Derah Telitian:** Litodem Filit Pemali(permian),Satuan Batupasir Tanjunggenting (Trias Awal - Akhir), Endapan Aluvial.
3. **Struktur geologi:** sesar dijumpai di daerah tenelitian berupa sesar mendatar kanan dan kiri dengan 3 arah orientasi, yaitu NW-SE, NE-SW, dan E-W
4. **Alterasi dan mineralisasi** daerah telitian diklasifikasikan menjadi lima zonasi yang berdasarkan suhu pembentukan mineral, yaitu dari suhu tinggi – suhu rendah , yaitu, Kuarsa ± Serisit, Kuarsa ± Turmalin, Kuarsa + Serisit + Ilit ± Dikit ± Halosit ± Turmalin, Kuarsa + Kaolin + Dikit ± Ilit-smektit, Kaolin + Montmorilonit + Ilit-smektit. Tipe mineralisasi timah primer daerah telitian berupa pengisian urat dan tersebar di tubuh batuan. Kadar unsur Sn berbeda berdasarkan geometrinya, geometri sheeted vein memiliki kadar (112-114ppm). Kadar unsur Sn pada geometri lode memiliki kadar (112-6.044 ppm). Kadar Sn yang tinggi juga terdapat pada urat tertekan (19.800 Ppm) dan kadar Sn tertinggi (21.621 ppm) hadir dalam bentuk mineral kasiterit pada breksi hidrotermal secara diseminasi dengan orientasi arah barat-timur (E-W).
5. **Geokimia Sn:** seiring meningkatnya unsur Sn akan terjadi penurunan unsur Zn dan Cu, sedangkan untuk unsur As dan Pb menunjukkan bahwa berasosiasi dengan unsur Sn yang meningkat.
6. **Tipe endapan** daerah telitian ialah tipe endapan greisen pada fase pengendapan urat dan masuk kedalam zonasi aktif pengendapan bijih

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W. Van, 1949, The Geology of Indonesia, Vol. 1 A, Government Printing Office, The Hauge, Amsterdam.
- Browne L R P. 1978. Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields. New Zealand: New Zealand Geological Survey
- Boggs Sam, Jr. 2006. Principles Of Sedimentology And Stratigraphy Fourth Edision. United States of America
- Cobbing. 1986. The Granites Of The Southeast Asian Tin Belt. Journal Of The Geological Society, London, Vol. 143, 1986, pp. 537-550
- Corbett & T.Leach. 1997. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems : Structure, Alteration, and Mineralization. Short Course Manual Draft as at 2 May 1997.
- Corbett, Greg. 2002.Epithermal Gold For Explorations. AIG Journal paper 2002-01, February 2002
- Franto. 2015. Interpretasi Struktur Geologi Regional Pulau Bangka Berdasarkan Citra Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Jurnal Promine, Juni 2015, Vol.3(1), hal 10-20
- Katili, et al. 1967. Structure and Age Of The Indonesian Tin Belt With Special Reference To Bangka. Elsevier Publishing Company.Hal 1-16.
- Korchagin dkk. 2003. Find of Early Planktonic Foraminifers in the Triassic of the Crimea. Doklady Earth Science Vol. 390 No. 4 2003. Hal 482 – 486.
- Margono. U, RJB, Supandjono, dan E. Partoyo. 1995. Peta Geologi Lembar Bangka Selatan, Sumatera. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Metcalf, I. 2011. Tectonic Framework and Phanerozoic Evolution of Sundaland. Gondwana Research, Vol. 19
- Pirajno., 2009, Hydrothermal Processes and Mineral Systems: Springer Science + Bussines Media B.V. 2009
- Pirajno F., 1992, Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris.
- Pettijohn, F. J. 1975. A Classification Of Breccias. Iowa: The Jurnal Of Geology. Vol. 25. Hal 165.
- Pracejus, Benhard. 2008. The Ore Minerals Under The Microscope An Optical Guide. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company

- Reyes, Agnes G. 2000. *Petrology And Minerak Alteration In Hydrothermal System: From Diagenesis To Volcanic Catastrophes*. New Zeland: The United Nations University.
- Rickard, M.J. 1972. *Fault Classification: Discussion*. *Geology Society of America Bulletin* 1972 :83 No. 8 hal 2545 – 2546
- Scherba, G.N. 1970. *Greisens*. *International Geology Reviews* 12:2 hal 114 - 150
- Schwartz dkk. 1995. *The Southeast Asian Tin Belt*. *Earth Science Reviews* 38 (1995) hal 95 – 293.
- Taylor, R.G. 1979. *Geology of Tin Deposits* . New York : Elsevier Scientific Publishing Company
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphology Ariel Phhotographic Interpretation and Mapping*. Enschede: ITC
- Verstappen, H. 1985. *Applied Geomorphology Survey and Natural Hazard Zoning*. Enschede: ITC
- Winter, John D. 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey : Prentice Hall Inc.