

GEOLOGI DAN KARAKTERISTIK BATUAN PADA KONTAK *HEAVY SULFIDE ZONE* BAGIAN TIMUR TAMBANG *GRASBERG BLOCK CAVE* PT. FREEPORT INDONESIA, MIMIKA, PAPUA

Alvian Kristianto Santoso, Heru Sigit Purwanto, Sugeng Raharjo
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: geoupn@indosat.net.id

Sari - Satuan batuan pada daerah penelitian dibagi menjadi 8 satuan. Dari tua ke muda, satuan batuan pada daerah penelitian antara lain, Dolomit Waripi; Batugamping Faumai; Diorit Dalam; Andesit Fragmental Dalam; Andesit Dalam; Diorit Plagioklas; Andesit *Main Grasberg* dan Diorit *South Kali*. Sedangkan Alterasi daerah penelitian dibagi menjadi alterasi potasik, skarn, endoskarn, silika, filik dan penggantian sulfida. Struktur geologi daerah penelitian dibagi menjadi 5 arah umum yaitu arah Barat berupa sesar turun, arah Timur Laut 1 berupa sesar mendatar kiri, arah Selatan berupa sesar turun, arah Tenggara berupa sesar mendatar kiri, dan arah Timur Laut 2 berupa sesar kanan. Karakter batuan pada batuan sedimen karbonat dekat *Heavy Sulfide Zone* terbagi menjadi skarn dan marmer atau dolomit dengan urat intensif, serta *marginal (dissolution) breccia* yang mencirikan pelarutan dan infiltrasi fluida sisa sulfida. Karakter batuan pada *Heavy Sulfide Zone* terbagi menjadi pirit \pm pirhotit masif (pada dolomit) dan pirit masif (pada marmer / batugamping, pasir sulfida, breksi sulfida, serta perselingan sulfida. Sedangkan karakter batuan pada kontak batuan beku dengan *Heavy Sulfide Zone* berupa alterasi endoskarn dan alterasi silika. *Heavy Sulfide Zone* di bagian utara dari intrusi Diorit *South Kali* berukuran tebal dengan komponen utama pirit, dan nilai RQD yang buruk- sedang serta kandungan air *water dripping - water flowing*. Pada *Heavy Sulfide Zone* di bagian selatan dari intrusi Diorit *South Kali*, ukurannya lebih tipis, dengan komponen pirit \pm pirhotit, dan nilai RQD sedang-sangat baik dan kandungan air *dry-water dripping*.

Kata-kata kunci: *Heavy Sulfide Zone*, *Grasberg Block Cave*, Alterasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Demi kesuksesan bangsa Indonesia dalam menghadapi tantangan ke depan, Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI) menyusun strategi untuk pengonsentrasian eksplorasi beberapa bahan galian penting. Hal ini merupakan bentuk nyata kontribusi ahli geologi di Indonesia demi kemajuan bangsa. Dalam rangka pembangunan, beberapa bahan galian yang direncanakan perlu diperbanyak oleh IAGI ialah migas, emas, tembaga, besi, nikel dan bagian-bagian semen. Emas dan tembaga merupakan bahan galian yang digunakan sebagai modal pengembangan.

PT Freeport Indonesia merupakan salah satu perusahaan di bidang pertambangan tembaga dan emas terbesar di Indonesia. *Grasberg Block Cave* (GBC) merupakan tambang bawah tanah yang mulai dikembangkan di tahun 2011. Lokasinya terletak di bagian bawah dari tambang terbuka *Grasberg*. *Grasberg Block Cave* berada pada elevasi 3.300 hingga 2.600 meter di atas permukaan laut dengan cadangan 1.019.088.000 ton dengan rata-rata kadar tembaga 0,98%; emas 0,77 g/t dan perak 3,34 g/t.

Daerah penelitian secara administratif berada pada Distrik Ertsberg, Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. Area *Grasberg Block Cave* berada pada wilayah kontrak karya "A", yang merupakan tambang bawah tanah di bagian bawah *Grasberg*. Penelitian terbatas dilakukan pada daerah pengembangan tambang bawah tanah *Grasberg Block Cave* di level 2810, 2830 dan 2850.

Heavy Sulfide Zone yang berupa material dengan kandungan pirit \pm pirhotit lebih dari 20% membatasi kontak antara kompleks batuan intrusi *Grasberg* dengan batuan sedimen. Penelitian mengenai *Heavy Sulfide Zone* pada daerah tambang bawah tanah *Grasberg Block Cave* masih belum banyak, sehingga pemahaman mengenai karakteristik dari batuan ini masih belum sepenuhnya dimengerti. Penelitian ini diharapkan dapat menganalisis karakteristik dari *Heavy Sulfide Zone* pada setiap kontak batuan, dan interpretasi awal dari kontrol persebaran, mineralogi dan tekstur dari *Heavy Sulfide Zone* yang terbentuk.

Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa dan mendeskripsikan mengenai keadaan geologi dan karakteristik batuan pada kontak *Heavy Sulfide Zone*. Tujuan penelitian ini adalah agar dapat menentukan karakter pada *Heavy Sulfide Zone* dan menginterpretasikan faktor yang mengontrol pembentukannya.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada area tambang bawah tanah *Grasberg Block Cave* sebagai salah satu bagian dari wilayah kontrak karya milik PT Freeport Indonesia. Lokasi penelitian dapat dicapai dengan menaiki bis selama ± 4 jam atau dengan helikopter selama ± 45 menit.

Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi, persebaran litologi beserta struktur geologi yang menyusun daerah penelitian. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan pembagian karakteristik *Heavy Sulfide Zone* dan suatu model karakteristik *Heavy Sulfide Zone* yang berada pada bagian utara dan selatan dari intrusi Diorit *South Kali*.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data penelitian diambil dari hasil pemetaan, yang kemudian didukung oleh data bor GBCPA-01-04, GBCPA-01-05 dan GBCPA-02-06. Pemetaan dilakukan pada *drift* untuk mengenali jenis batuan, struktur geologi dan sebaran alterasi pada daerah penelitian. Data bor terpilih digunakan untuk mengenali karakteristik batuan pada *Heavy Sulfide Zone* (batuan dengan kadar mineral sulfida 20%) yang kemudian dijadikan dasar interpretasi aspek genetik dari *Heavy Sulfide Zone*.

Satuan Diorit *South Kali*

Satuan Diorit *South Kali* pada daerah penelitian teralterasi menjadi batuan teralterasi potasik, endoskarn dan filik. Pada Diorit *South Kali* yang teralterasi potasik berwarna abu-abu, Diorit *South Kali* yang teralterasi propilitik dan ter-overprint oleh potasik batuan berwarna putih kehijauan, pada batuan yang teralterasi filik berwarna putih susu. Secara deskriptif, satuan Diorit *South Kali* memiliki kristal berbentuk euhedral hingga anhedral, dengan ukuran kristal 0,5 cm hingga afanitik, dengan keseragaman inequigranular porfiritik. Fenokris umumnya berupa biotit, magnetit, magnetit yang terkloritisasi, atau serisit-kaolinit. Satuan Diorit *South Kali* memiliki umur $2,99 \pm 0,05$ juta tahun yang lalu berdasarkan dating Zirkon U-Pb yang dilakukan di tahun 2015 oleh *University of Texas*. Batuan ini terbentuk sebagai intrusi yang melalui sesar *South Kali*, sehingga intrusi ini memanjang pada arah Tenggara – Barat Laut dan memotong seluruh batuan pada *Grasberg Igneous Complex (GIC)*.

Satuan Diorit *Main Grasberg*

Satuan Diorit *Main Grasberg* pada daerah penelitian teralterasi potasik dan filik. Batuan Diorit *Main Grasberg* yang teralterasi potasik berwarna coklat kehitaman, sedangkan yang teralterasi filik berwarna putih. Batuan dari Satuan Diorit *Main Grasberg* memiliki bentuk kristal euhedral hingga anhedral, dengan ukuran fanerik halus hingga afanitik, dengan keseragaman inequigranular porfiritik. Fenokris secara umum berupa biotit, magnetit atau serisit. Satuan Diorit Dalam memiliki umur $3,07 \pm 0,05$ juta tahun yang lalu berdasarkan dating Zirkon U-Pb yang dilakukan di tahun 2015 oleh *University of Texas*. Batuan ini terbentuk dan membawa fluida yang kaya akan kandungan unsur logam.

Satuan Diorit Plagioklas

Satuan Diorit Plagioklas pada daerah penelitian teralterasi potasik, penggantian sulfida dan endoskarn. Diorit Plagioklas yang teralterasi potasik umumnya berwarna abu-abu hingga coklat, saat teralterasi penggantian sulfida berwarna coklat tua hingga kuning sedangkan saat teralterasi endoskarn akan berwarna hijau tua hingga hitam. Secara umum, batuan Diorit Plagioklas bertekstur plutonik, holokristalin, fanerik kasar-fanerik sangat halus, inequigranular porfiritik, dengan penciri fenokris plagioklas yang besar dan membundar, beserta mineral magnetit, kuarsa dan hornblende. Satuan Diorit Plagioklas memiliki umur $3,13 \pm 0,07$ juta tahun yang lalu berdasarkan dating Zirkon U-Pb yang dilakukan di tahun 2015 oleh *University of Texas*.

Satuan Breksi Diatrema Dalam

Satuan Breksi Diatrema Dalam memiliki ciri-ciri utama bertekstur breksi dengan fragmen andesit dan matriks diorit. Satuan Breksi Diatrema Dalam pada daerah penelitian teralterasi silisifikasi, potasik, filik dan penggantian sulfida. Satuan Breksi Diatrema Dalam yang teralterasi potasik seringkali ditemui berwarna coklat keabuan, saat teralterasi filik dan silisifikasi akan berwarna putih, sedangkan pada alterasi penggantian sulfida akan berwarna kuning keemasan. Batuan ini umumnya didukung oleh matriks, dengan fenokris yang umum berupa biotit sekunder dan plagioklas. Satuan Breksi Diatrema Dalam terbentuk bersamaan dengan pembentukan fase dalam, dengan kandungan fragmen berupa andesit dan diorit. Satuan Breksi diinterpretasikan terbentuk akibat proses pengintrusian oleh fluida magmatik pembentuk intrusi baru.

Satuan Andesit Dalam

Satuan Andesit Dalam dicirikan dari tekstur kristal yang halus. Pada daerah penelitian, satuan ini teralterasi filik, potasik dan penggantian sulfida. Pada alterasi potasik, batuan ini berwarna abu-abu kecoklatan, saat teralterasi filik akan berwarna putih susu, sedangkan saat teralterasi penggantian sulfida berwarna kuning keemasan. Batuan dari Satuan Andesit Dalam memiliki bentuk kristal anhedral, berukuran afanitik hingga fanerik halus, hipokristalin, dengan butiran yang seragam (equigranular) allotiomorfik. Fenokris yang umum muncul ialah biotit dan plagioklas. Satuan

Andesit Dalam memiliki umur $3,20 \pm 0,12$ juta tahun yang lalu berdasarkan dating Zirkon U-Pb yang dilakukan di tahun 2015 oleh *University of Texas*. Satuan Andesit Dalam terbentuk bersamaan dengan pembentukan fase dalam, dan beberapa bagiannya runtuh saat proses diatrema dan masuk ke dalam batuan dari Satuan Breksi Diatrema Dalam.

Satuan Diorit Dalam

Satuan Diorit Dalam pada daerah penelitian teralterasi menjadi batuan filik, potasik dan silisifikasi. Pada alterasi potasik, batuan berwarna coklat, yang terlaterasi filik dan silisifikasi berwarna putih. Secara umum, satuan ini dicirikan oleh kenampakan tekstur porfiritik. Seringkali dijumpai biotit sekunder pada alterasi potasik, diikuti dengan silika dan anhidrit dalam bentuk urat. Kalkopirit juga hadir, dan mengindikasikan kadar tembaga dan emas yang baik. Kristal berbentuk subhedral hingga euhedral, dengan ukuran kristal fanerik halus, dengan kemas equigranular porfiritik. Fenokris umumnya berupa biotit, plagioklas dan serisit. Satuan Diorit Dalam memiliki umur $3,32 \pm 0,06$ juta tahun yang lalu berdasarkan dating Zirkon U-Pb yang dilakukan di tahun 2015 oleh *University of Texas*. Batuan ini terbentuk pada fase Dalam dan di beberapa bagian ikut runtuh saat proses diatrema dan masuk sebagai fragmen batuan dari Satuan Breksi Diatrema Dalam.

Satuan Batugamping Faumai

Satuan Batugamping Faumai dicirikan oleh marmer sebagai hasil dari metamorfisme kontak. Satuan Batugamping Faumai pada daerah penelitian teralterasi eksoskarn dan penggantian sulfida. Saat teralterasi eksoskarn, warnanya berupa kemerahan atau kehijauan, tergantung dari komposisi mineral alterasinya. Saat teralterasi penggantian sulfida, batuan akan berwarna kuning keemasan. Pada Satuan Batugamping Faumai, tidak berhasil ditemukan batuan yang mengandung fosil untuk diteliti umurnya. Umur dari Satuan Batugamping Faumai menurut van Ufford di tahun 1996 ialah Eosen Awal atau Tengah hingga Akhir. Batugamping pada satuan ini menurut van Ufford terbentuk pada lingkungan laut dangkal, khususnya pada *shallow marine carbonate platform*.

Satuan Dolomit Waripi

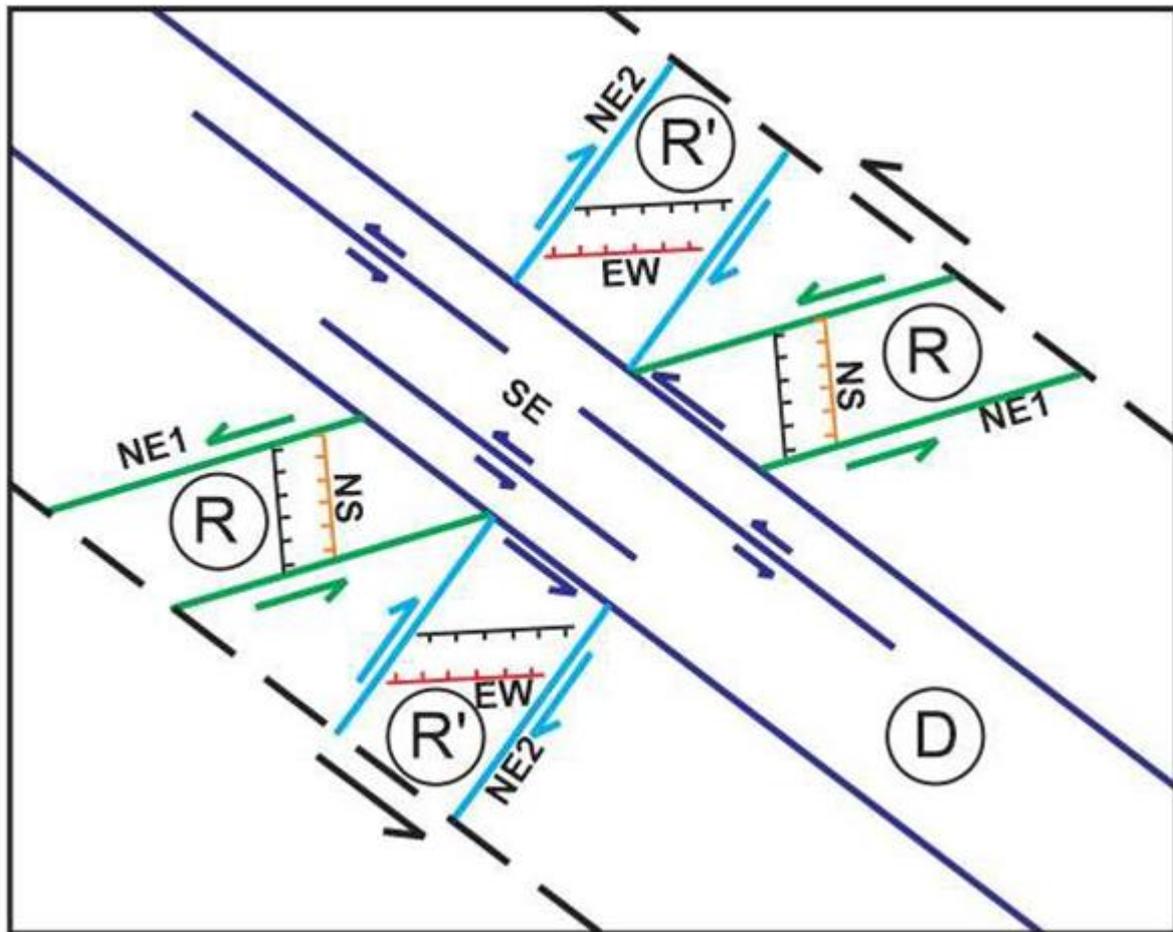
Satuan Dolomit Waripi dicirikan oleh dolomit yang berwarna abu-abu gelap. Satuan Dolomit Waripi pada daerah penelitian teralterasi eksoskarn dan penggantian sulfida. Saat teralterasi eksoskarn, warnanya berupa kemerahan atau kehijauan, tergantung dari komposisi mineral alterasinya. Saat teralterasi penggantian sulfida, batuan akan berwarna kuning keemasan. Pada Satuan Dolomit Waripi, tidak berhasil ditemukan batuan yang mengandung fosil untuk diteliti umurnya. Van Ufford juga tidak berhasil menemukan fosil untuk menentukan umur dari Formasi Waripi, sehingga umurnya hanya diinterpretasi menjadi Kapur Akhir atau Paleosen hingga Eosen Awal. Dolomit pada satuan ini menurut van Ufford terbentuk pada lingkungan *shallow – marine shelf*.

UMUR GEOLOGI			SATUAN BATUAN	KOLOM STRATIGRAFI	KOLOM LITODEM
ZAMAN	KALA	ABSOLUT			
Tersier	Pliosen	2,99 ± 0,05	Intrusi Diorit <i>South Kali</i>		
		3,07 ± 0,05	Intrusi Diorit <i>Main Grasberg</i>		
		3,13 ± 0,07	Intrusi Diorit Plagioklas		
			Breksi Diatrema Dalam		
		3,20 ± 0,12	Intrusi Andesit Dalam		
		3,32 ± 0,06	Intrusi Diorit Dalam		
	Eosen	Tengah/Akhir		Batugamping Faumai	
	Awal		Dolomit Waripi		

*umur berdasarkan Zirkon U-Pb dating, 2015 University of Texas

Gambar 1. Stratigrafi daerah penelitian

STRUKTUR GEOLOGI



Gambar 2. Model Sesar Pada Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian, sesar yang ditemukan dikelompokkan berdasarkan arah umumnya. Pengelompokan sesar menggunakan analisis stereografis membagi sesar menjadi 5 kelompok, yaitu :

1. Kelompok EW

Sesar dari kelompok EW memiliki arah umum $N269^{\circ}E/76^{\circ}$. Sesar ini menggunakan data bidang sesar yang ditemukan dengan kedudukan $N265^{\circ}E/62^{\circ}$, dan kedudukan gores garis $570, N340^{\circ}E$ dan rake 82° . Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard pada tahun 1972, sesar ini dinamakan *Normal Slip Fault*. Sesar-sesar ini ditarik juga dari urat-urat yang terisi oleh mineral serisit dan kuarsa dengan hancuran yang dominan. Kondisi air secara umum merupakan *dry - water flowing*.

2. Kelompok NE1

Sesar-sesar dari kelompok sesar NE1 memiliki arah umum $N070^{\circ}E/65^{\circ}$. Sesar ini menggunakan data bidang sesar yang ditemukan dengan kedudukan $N069^{\circ}E/65^{\circ}$, dan kedudukan gores garis $10^{\circ}, N070^{\circ}E$ dan rake 20° . Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard pada tahun 1972, sesar ini dinamakan *Right Slip Fault*. Di dalam penarikannya, sesar-sesar lain pada kelompok ini ditarik dari kekar-kekar dan urat-urat kuarsa yang memiliki intensitas 6 bidang per meter. Kondisi batuan yang tersesarkan memiliki variasi kondisi air dari *dry* hingga *water dripping*.

3. Kelompok NE2

Sesar yang tergabung dalam kelompok sesar NE2 memiliki arah umum $N033^{\circ}E/52^{\circ}$. Sesar ini dianalisa dengan bidang sesar yang ditemukan di lapangan dengan kedudukan $N048^{\circ}E/79^{\circ}$ dan kedudukan gores garis $38^{\circ}, N219^{\circ}E$. Rake dari gores garis 40° . Penamaan sesar berdasarkan klasifikasi sesar dari Rickard 1972 ialah *Reverse Left Slip Fault*. Sesar yang berada di kelompok ini dibangun dari kekar-kekar dan urat-urat dengan intensitas 6 bidang per meter. Kondisi air pada batuan yang dilewati sesar NE2 memiliki kondisi air *dry* hingga *water dripping*.

4. Kelompok NS

Sesar pada kelompok NS memiliki arah umum $N176^{\circ}E/71^{\circ}$. Ditemukan salah satu bidang sesar yang dianalisa stereografis dengan kedudukan bidang $N172^{\circ}E/80^{\circ}$, dan kedudukan gores garis $77^{\circ}, N217^{\circ}E$. Rake memiliki nilai 80° . Menurut klasifikasi Rickard 1972, sesar ini dinamai *Normal Slip Fault*. Urat-urat yang

menjadi bagian zona hancuran dari sesar ini terisi oleh kuarsa dan anhidrit dengan intensitas sangat tinggi. Kondisi air pada sesar-sesar ini ialah *water dripping*.

5. Kelompok SE

Sesar dari kelompok SE memiliki arah umum N1270E / 730. Sesar ini dianalisa dengan bidang sesar yang ditemukan dilapangan dengan kedudukan N127°E / 80° dan kedudukan gores garis N308°E / 1°. Rake dari gores garis 2°. Penamaan sesar berdasarkan klasifikasi sesar dari Rickard 1972 ialah *Left Slip Fault*. Sesar dibangun dari kekar-kekar, *clay gouge* dan urat-urat kuarsa dengan intensitas tinggi. Kondisi air pada sesar-sesar ini *dry* hingga *water dripping*.

Model sesar pada daerah penelitian dibangun berdasarkan teori dari Riedel. Model sesar yang ada menggambarkan setiap kelompok sesar mewakili sesar yang terdapat pada model Riedel. Struktur pada model dapat terbentuk setelah rezim tektonik berupa orthogonal convergence berubah menjadi oblique convergence.

Pada daerah penelitian, terdapat 5 kelompok sesar yang mewakili sesar-sesar yang terbentuk pada Model Riedel. Pada awalnya, terbentuk sesar yang besar berarah Barat Laut akibat tumbukan dari Lempeng Pasifik. Di dalam zona sesar yang besar ini, terbentuk sesar yang sesuai dengan Model Riedel berupa pasangan R shear dan R' shear yang diwakili oleh pasangan kelompok sesar NE1 dan NE2. Di dalam zona sesar NE1 dan NE2 terbentuk sesar-sesar yang relatif tegak lurus (diwakilkan oleh kelompok sesar EW dan NS) terhadap zona hancurannya, sebagai hasil tarikan di dalam zona sesar mendatar. Setelah itu, seluruh sesar yang ada dipotong oleh zona sesar besar berarah Barat Laut yang baru.

HEAVY SULFIDE ZONE

Heavy Sulfide Zone pada daerah penelitian didefinisikan sebagai daerah yang batuanannya mengandung mineral sulfida (pirit dan pirhotit) lebih dari 20% dari keseluruhan volume batuan. Pengertian *Heavy Sulfide Zone* yang digunakan berdasarkan dari definisi yang digunakan di PT. Freeport Indonesia. Alterasi batuan demikian disebut sebagai penggantian sulfida. Batuan yang kaya akan mineral sulfida seperti pada daerah penelitian juga terdapat dalam model endapan porfiri menurut Lowell dan Guilbert di tahun 1970, yang melakukan penelitian dan membuat model porfiri di Kalamazoo, Michigan, Amerika Serikat. Pada daerah penelitian, *Heavy Sulfide Zone* memiliki bentuk relatif melingkar, melingkupi Kompleks Batuan Beku Grasberg dan membatasinya dengan batuan sedimen di bagian luarnya. Komposisi mineral yang menyusunnya secara umum berupa pirit atau pirhotit.

Karakteristik batuan akan dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu batuan pada kontak antara batuan sedimen karbonat (Batugamping Faumai atau Dolomit Waripi) dengan *Heavy Sulfide Zone*, batuan yang berada di dalam *Heavy Sulfide Zone*, dan batuan pada kontak antara batuan beku dengan *Heavy Sulfide Zone*. Berdasarkan data pemetaan dan log detil karakteristik batuan dibagi oleh komposisi mineralogi, tekstur, jenis urat, nilai RQD dan kondisi air.

KARAKTERISTIK BATUAN PADA KONTAK ANTARA BATUAN SEDIMEN DENGAN HEAVY SULFIDE ZONE

Karakter batuan pada kontak antara batuan sedimen dengan *Heavy Sulfide Zone* dilihat berdasarkan parameter komposisi, mineralisasi, tipe urat, nilai RQD dan kondisi air.

Batuan karbonat dengan urat kalsit – dolomit ± sulfida

Marmer atau dolomit dengan urat hitam memiliki ciri-ciri berwarna putih hingga putih keabuan, kristalin, dengan muncul urat berwarna hitam dengan komposisi kalsit dan dolomit yang terkadang di pinggirnya berisi mineral opak (sisa sulfida) yang terlihat pada Lampiran 16 dan Lampiran 17. Urat ini akan semakin intensif jika mendekati kontak dengan *Heavy Sulfide Zone*. Mineralisasi yang terbentuk umumnya berupa pirit minor – 5 dan magnetit 3%. Nilai RQD bervariasi 50-100% dengan kandungan air *moist – water flowing*.

Marginal Breccia

Istilah marginal breccia diadopsi dari penelitian yang dilakukan Adam Lambert mengenai *Heavy Sulfide Zone* di area lain. Breksi ini merupakan breksi yang terbentuk akibat proses pelarutan (dissolution breccia) pada batugamping, yang kemudian membentuk gua. Proses pergerakan larutan hidrotermal membuat gua tersebut mengalami keruntuhan, sehingga fragmen dari batuan penyusun gua tersebut tertanam pada matriks halus sebagai sisa presipitasi campuran larutan hidrotermal dengan fluida formasi. Ciri-ciri dari batuan ini ialah breksi dengan fragmen marmer dengan matriks hitam gelap. Mineralisasi umumnya berupa pirit sebanyak 8%. Nilai RQD rata-rata sebesar 50-75% dengan kandungan air *moist*.

Eksoskarn

Alterasi berupa eksoskarn diinterpretasikan muncul akibat larutan pembentuk *Heavy Sulfide Zone* tidak dapat mengubah batuan yang mengalami kontak dan teralterasi oleh fluida hidrotermal yang sudah ada sebelumnya pada suhu yang tinggi. Ciri-cirinya ialah batuan umumnya berwarna hijau hingga hijau kehitaman dengan

kandungan mineral utama magnetit-piroksen-garnet-tremolit- klorit. Mineralisasi berupa magnetit 10-30%, pirit 7-13% dan pirhotit 9%. Nilai RQD 75-100% dan kandungan air *dry- water dripping*.

KARAKTERISTIK BATUAN PADA HEAVY SULFIDE ZONE

Karakter batuan pada *Heavy Sulfide Zone* dilihat berdasarkan parameter mineralisasi, tekstur, tipe urat, nilai RQD dan kondisi air.

Sulfida masif

Batuan berupa sulfida (pirit-pirhotit) masif merupakan batuan yang umum ditemukan di dalam *Heavy Sulfide Zone*. Komposisi dari pirhotit-pirit ini sangat dominan, berkisar dari 60-80%. Ciri-cirinya ialah batuan umumnya berwarna abu kecoklatan hingga kuning keemasan, dan seringkali berasosiasi dengan magnetit. Urat yang terbentuk berupa pirit 1-7 mm dan kuarsa 1-3 mm.. Batuan ini memiliki sifat kemagnetan yang bervariasi, dari lemah hingga kuat.

Pasir sulfida

Pasir pirhotit merupakan material lepas berukuran pasir yang banyak mengandung mineral pirhotit dan pirit. Pasir akan berwarna coklat keabuan hingga kemerahan dan memiliki sifat kemagnetan lemah-sedang, dengan kandungan mineral pirhotit-pirit mencapai 60-75%, , dengan tambahan mineral magnetit-hematit, dan kalkopirit minor, bornit-kovelit minor dan kalkopirit minor. Nilai RQD 0% dikarenakan bteksturnya berupa material lepas. Kondisi air *water dripping – water flowing*.

Breksi sulfida

Breksi sulfida merupakan batuan yang sekilas nampak seperti pirhotit masif, namun di dalamnya terdapat fragmen- fragmen pirit. Batuan ini tersusun oleh fragmen pirit \pm kalkopirit dan matriks berupa pirhotit. Fragmen berukuran 0,5-7 cm dengan bentuk angular- subrounded, sedangkan matriks berupa pirhotit. Perbandingan fragmen dengan matriks secara umum 20% : 80%. Komposisinya berupa pirhotit 40-70%, pirit 5-10%, magnetit 3-13% dan kalkopirit 1-3%. Urat berupa pirit \pm pirhotit \pm kalkopirit 10 mm dan magnetit 1 mm. RQD bervariasi dari 25-100% dan kandungan air *dry-moist*.

Perselingan sulfida

Batuan yang berseling kandungan mineral sulfidanya ditemukan dengan ciri-ciri perselingan warna akibat perubahan prosentase kandungan mineral sulfida. Kandungan mineral pirhotit dapat bervariasi dari 5-55%, pirit 20-50%, magnetit 4-10%, kalkopirit trace-4% dan kovelit trace.

KARAKTERISTIK BATUAN PADA KONTAK ANTARA BATUAN BEKU DENGAN HEAVY SULFIDE ZONE

Karakter batuan pada kontak antara batuan beku dengan *Heavy Sulfide Zone* dilihat berdasarkan parameter komposisi, mineralisasi, tipe urat, nilai RQD dan kondisi air.

Endoskarn

Batuan pada area kontak batuan beku dengan *Heavy Sulfide Zone*. Batuan ini umumnya berwarna hitam kehijauan, disusun oleh mineral magnetit, garnet, klinopiroksen, tremolit dan hornblende. Dengan nilai RQD 75-100% dan kondisi air *dry*.

Silika

Batuan tersilisifikasi umumnya ditemukan pada daerah Kompleks Batuan Beku Grasberg yang berkontak dengan *Heavy Sulfide Zone*. Kandungan mineral berupa silika dominan berkisar antara 20-70%, serisit 3-7%, dan klorit minor yang bisa mencapai 7%. Umumnya masih juga ditemukan mineral sulfida pirit sebanyak 8-14%. Urat berupa pirit 1-17 mm, serisit 1-3 mm dan kuarsa 1-5 mm. Nilai RQD 25-75% dengan kondisi *air moist-water dripping*.

Potasik

Batuan teralterasi potasik memiliki kandungan mineral K-Felspar 20%, biotit 10%, silika 5% dan anhidrit 5%. Mineralisasi berupa magnetit 8%, pirhotit 2%, kalkopirit 2% dan pirit berupa trace. Urat yang terbentuk berupa anhidrit 3-5 mm, kuarsa 1-5 mm dan pirit 1 mm. Nilai RQD 25-100% dengan kondisi air *dry*.

KARAKTERISTIK HEAVY SULFIDE ZONE PADA BAGIAN UTARA DAN SELATAN

Secara umum, batuan *Heavy Sulfide Zone* pada daerah penelitian dibagi oleh intrusi Kali. Salah satu pembeda yang terlihat ialah ketebalan dari *Heavy Sulfide Zone* sendiri, dimana di bagian utara ketebalannya berkisar antara 64 hingga 91,8 meter, sedangkan di bagian selatan berkisar antara 19,8 hingga 47,2 meter. Perbedaan yang paling mencolok ialah dari protolith batuan. Pada bagian utara, protolithnya merupakan Batugamping Faumai dan Andesit Dalam. Pada bagian selatan, protolithnya berupa Dolomit Waripi dan Breksi Diatrema Dalam. Batuan dekat kontak *Heavy Sulfide Zone* memiliki beberapa karakteristik yang didasarkan pada parameter jenis alterasi, mineral alterasi, mineralisasi, jenis urat, kandungan logam, jenis kontak, nilai RQD dan kondisi air.

KARAKTERISTIK PADA KONTAK HEAVY SULFIDE ZONE BAGIAN UTARA

Batuan sedimen yang berkontak dengan *Heavy Sulfide Zone* merupakan batuan dari satuan Batugamping Faumai. Satuan Batugamping Faumai pada kontak *Heavy Sulfide Zone* sendiri dibagi menjadi tidak teralterasi dan teralterasi eksoskarn. Batuan beku pada kontak dengan *Heavy Sulfide Zone* berasal dari satuan Andesit Dalam. Satuan Andesit Dalam pada kontak *Heavy Sulfide Zone* dibagi menjadi 2 yaitu yang teralterasi potasik dan yang teralterasi silika.

Pada Batugamping Faumai yang tidak teralterasi, mineralisasi berupa pirit dan magnetit minor, urat berupa urat hitam. Kadar tembaga 0,08 – 0,12%, emas 0,2 – 1,81 ppm, perak 6,9 – 33,4 ppm, timbal 1913 – 7978 ppm dan seng 6211 – 13687 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Batugamping Faumai tegas, dengan nilai RQD 25-50 % dan kondisi air *water dripping – water flowing*.

Pada Batugamping Faumai teralterasi eksoskarn memiliki kandungan mineral alterasi garnet 5% dan kalsit 15%. Mineralisasi berupa pirit 13-15 % dan magnetit 30%. Urat yang muncul berupa urat hitam setebal 1 mm dan kalsit setebal 1 mm. Kadar tembaga 0,12 – 0,27 %, emas 0 – 0,5 ppm, dan perak 2 – 16 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Batugamping Faumai teralterasi eksoskarn tegas, dengan nilai RQD 25-50 %. Kondisi air *water dripping – flowing*.

Pada Andesit Dalam yang teralterasi potasik, komposisi mineral alterasi K-Felspar 20%, serisit 10%, silika 5%, sedangkan mineralisasi yang muncul berupa pirit 13%, dan urat berupa urat pirit 1-9 mm dan kuarsa 1-4 mm. Kadar tembaga 0,22 – 0,72 %, emas 0,2 – 1,27 ppm, perak 0,25 – 1,7 ppm, timbal 2,5 ppm dan seng 16 – 29 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Andesit Dalam gradasional, dengan nilai RQD 50-75 % dan kondisi air *dry*.

Pada Andesit Dalam teralterasi silika memiliki kandungan mineral alterasi silika 20-24% dan klorit 7% serisit 3-7%. Mineralisasi berupa pirit 8-14 %. Urat yang muncul berupa urat pirit setebal 1-17 mm dan kuarsa setebal 1-4 mm. Kadar tembaga 0,06 – 0,15 %, emas 0,12 – 0,19 ppm, perak 0,25 ppm, timbal 18 – 26 ppm, dan seng 24 – 34 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Andesit Dalam teralterasi silika gradasional, dengan nilai RQD 25-75%. Kondisi air *dry*.

KARAKTERISTIK PADA KONTAK HEAVY SULFIDE ZONE BAGIAN SELATAN.

Batuan sedimen yang berkontak dengan Kontak *Heavy Sulfide Zone* merupakan batuan dari satuan Batugamping Faumai yang teralterasi eksoskarn. Batuan beku pada kontak dengan *Heavy Sulfide Zone* berasal dari satuan Breksi Diatrema Dalam. Satuan Breksi Diatrema Dalam pada kontak *Heavy Sulfide Zone* dibagi menjadi 2, yaitu yang teralterasi potasik dan alterasi silika.

Batuan sedimen yang berkontak dengan *Heavy Sulfide Zone* merupakan batuan Dolomit Waripi. Pada Dolomit teralterasi eksoskarn memiliki kandungan mineral alterasi skarn sebesar 60%. Mineralisasi berupa pirit 7%, pirhotit 9% dan magnetit 10-30%. Urat yang muncul berupa pirhotit 1 mm pirit 1-2 mm magnetit 1-3 mm dan kuarsa 1-2 mm. Kadar tembaga 0,27 – 1,04 %, emas 0,3 – 1,74 ppm, perak 3,9 – 10,7 ppm, timbal 130 – 374 ppm dan seng 1018 – 7755 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Dolomit Waripi teralterasi eksoskarn gradasional, dengan nilai RQD 75-100 %. Kondisi air *moist*.

Batuan beku yang berkontak dengan *Heavy Sulfide Zone* berasal dari satuan Breksi Diatrema Dalam. Pada Breksi Diatrema Dalam yang teralterasi potasik, komposisi mineral alterasi K-Felspar 20%, serisit 10%, silika 5%, sedangkan mineralisasi yang muncul berupa magnetit 8%, pirhotit 2% dan pirit trace. Urat berupa urat anhidrit 3-5 mm, kuarsa 1-5 mm magnetit 1-3 mm dan pirit 1 mm. Kadar tembaga 0,77 – 1,22 %, emas 0,04 – 0,76 ppm, dan perak 2,2 – 3,6 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Breksi Diatrema Dalam gradasional, dengan nilai RQD 75-100 % dan kondisi air *dry*. Pada Andesit Framental Dalam teralterasi silika memiliki kandungan mineral alterasi silika 10-22% dan gipsium 5%. Mineralisasi berupa pirit 5-17 % dan magnetit minor -18%. Urat yang muncul berupa urat pirit setebal 1-2 mm. Kadar tembaga 0,69 – 1,01%, emas 0,53 – 0,98 ppm, dan perak 1,6 – 4,3 ppm. Kontak antara *Heavy Sulfide Zone* dengan Breksi Diatrema Dalam teralterasi silika gradasional, dengan nilai RQD 75-100 %. Kondisi air *dry*.

Tabel 1. Karakteristik batuan pada kontak Heavy Sulfide Zone bagian utara

Karakteristik		Batugamping Faumai		Andesit Dalam	
Alterasi		Tidak teralterasi	Skarn	Potasik	Silika
Mineral Alterasi		-	gn 5 %, kal 15 %	KF 20%, ser 10%, sil 5%	sil 20-24%, chl 7%, ser 3-7%
Mineralisasi		Pirit dan magnetit minor	py 13 - 15 %, mag 30 %	py 13%	py 8-14%
Urut (mm)		Urut hitam intens	urut hitam 1, kal 1	py 1-9, qz 1-4	py 1-17, qz 1-4
Assay	Cu(%)	0.08 - 0.12	0.12 - 0.27	0.22 - 0.72	0.06 - 0.15
	Au (ppm)	0.2-1.81	0 - 0.50	0.2 - 1.27	0.12 - 0.19
	Ag (ppm)	6.9 - 33.4	2 - 16	0.25 - 1.7	0.25
	Pb (ppm)	1913 - 7978	-	2.5	18 - 26
	Zn (ppm)	6211 - 13687	-	16 - 29	24 - 34
Jenis Kontak		Tegas	Tegas	Gradasional	Gradasional
RQD		25 - 50 %	25 - 50 %	50 - 75 %	25 - 75 %
Kondisi Air		Water Dripping - Water Flowing	Water Dripping - Water Flowing	Dry	Dry

Tabel 2. Karakteristik batuan pada kontak Heavy Sulfide Zone bagian selatan

Karakteristik		Dolomit Waripi	Breksi Diatrema Dalam	Diorit South Kali
Alterasi		Skarn	Potasik	Potasik
Mineral Alterasi		Mineral hijau (gn-px-pl 60%)	KF 20%, bio 10%, sil 5%, an 5%	bio 12%, hbl 5%, klo 5%, dan sil 5%
Mineralisasi		Mag 10-30%, py 7%, po 9%	mag 8%, po 2%, py trace, cpy 2%	py trace
Urut (mm)		po 1, py 1-2, mag 1-3, qz 1-2	an 3-5, qz 1-5, mag 1-3, py 1	an 2-5, qz 1
Assay	Cu(%)	0.27 - 1.04	0.77 - 1.22	0.69 - 1.01
	Au (ppm)	0.3 - 1.74	0.04 - 0.76	0.53 - 0.98
	Ag (ppm)	3.9 - 10.7	2.2 - 3.6	1.6 - 4.3
	Pb (ppm)	130 - 374	-	-
	Zn (ppm)	1018 - 7755	-	-
Jenis Kontak		Gradasional	Gradasional	Tegas
RQD		75-100%	75-100%	75-100%
Kondisi Air		Moist	Dry	Dry

Berdasarkan data penelitian, perbedaan secara umum dari *Heavy Sulfide Zone* di bagian utara dan selatan disimpulkan menjadi *Heavy Sulfide Zone* pada daerah selatan lebih tipis dibandingkan yang di utara. *Heavy Sulfide Zone* pada bagian selatan hanya membentuk tekstur perselingan sulfida, sedangkan di bagian utara membentuk sulfida masif dan perselingan sulfida. Kedua alasan yang telah disebutkan menggambarkan bahwa Batugamping Faumai merupakan batuan yang lebih reaktif terhadap larutan sisa sulfida dibandingkan Dolomit Waripi, sehingga proses pembentukan *Heavy Sulfide Zone* bisa lebih ekstensif. Secara mineralogi, *Heavy Sulfide Zone* pada daerah utara didominasi oleh mineral pirit, sedangkan yang di selatan dari intrusi *South Kali* didominasi oleh mineral pirhotit. Nilai RQD menunjukkan bahwa di daerah utara lebih buruk dibandingkan yang di selatan, dan kandungan air pada daerah utara umumnya *water dripping - water flowing* sedangkan di

selatan *dry* hingga *moist*. Kontrol utama yang diinterpretasikan mempengaruhi mineralogi ialah kontrol dari batuan asal dan kemunculan air.

KESIMPULAN

Satuan batuan pada daerah penelitian dibagi menjadi 8 satuan. Dari tua ke muda, satuan batuan pada daerah penelitian antara lain, Dolomit Waripi; Batugamping Faumai; Intrusi Diorit Dalam; Intrusi Breksi Diatrema Dalam; Intrusi Andesit Dalam; Intrusi Diorit Plagioklas; Intrusi Andesit Grasberg Utama dan Intrusi Diorit Kali. Struktur geologi pada daerah penelitian dibagi menjadi 5 arah umum, yaitu sesar sesar SE, sesar NE1, sesar NE2, sesar S dan Sesar W. Karakter batuan pada kontak batuan sedimen dengan *Heavy Sulfide Zone* hingga kontak *Heavy Sulfide Zone* dengan batuan beku dibagi menjadi 10 berdasarkan tekstur dan mineraloginya, yaitu karbonat dengan urat kalsit – dolomit ± sulfida, eksoskarn, *marginal breccia*, perselingan sulfida, sulfida masif, breksi sulfida, pasir sulfida, batuan beku teralterasi potasik, silika, dan endoskarn. *Heavy Sulfide Zone* pada bagian selatan umumnya membentuk tekstur sulfida masif (dominan pirit-pirhotit) dan perselingan sulfida, sedangkan pada bagian utara membentuk tekstur sulfida masif (dominan pirit) dan perselingan sulfida, pada bagian tengah di utara Intrusi South Kali terbentuk breksi sulfida dan pasir sulfida. Kadar Cu, Au dan Ag pada kontak *Heavy Sulfide Zone* daerah penelitian umumnya meningkat. *Heavy Sulfide Zone* memiliki nilai RQD yang rendah pada kontak dengan batuan sedimen, dan memiliki nilai RQD yang sedang hingga tinggi pada kontak dengan batuan beku. *Heavy Sulfide Zone* relatif memiliki kondisi air wet pada kontak dengan batuan sedimen, dan memiliki kondisi *dry* pada kontak dengan batuan beku karena RQD batuan yang lebih rendah. *Heavy Sulfide Zone* pada bagian selatan memiliki nilai RQD yang relatif tinggi dan kondisi air *dry – moist*, sedangkan pada bagian utara memiliki nilai RQD yang rendah dan kondisi air *water dripping – flowing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bateman, A. M., 1981. *Deposit Mineral 3rd edition*. John Wiley and Sons, New York.
- Corbett, G.J and Leach, T.M. 1998. *Southwest Pacific Rim Gold- Copper Systems: Structure, alteration and Mineralization*. Special Publication Series : Society of Economic Geologist..
- Corbett, G.J. 2002. *Structural controls to Porphyry Cu-Au and Epithermal Au- Ag deposits in Applied Structural Geology for Mineral Exploration*. Australian Institute of Geoscientists Bulletin 36, p. 32-35.
- Cloos, Mark., Sapiie, Benyamin., van Ufford, Quarles., Weiland, Richard., Warren, Paul., McMahon, Timothy. 2005. Collisional delamination in New Guinea : The Geotectonics and subduction breakoff. *The Geological Society of America*. Colorado : USA.
- Guilbert, G. M., & Park, C. F. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Bandung.
- Lambert, Adam L. 2008. *Petrology of the Southwest Margin of the Grasberg Igneous Complex, Papua, Indonesia*. Unpublished. University of Texas : Austin.
- Lingrend, W. 1933. *Mineral Deposit*. USA : McGraw-Hill Book Company. Inc.
- Morrison, Kingston. 1995. *Important Hydrothermal Minerals and Their Significance*. Geothermal and Mineral Services, Kingston Morrison Ltd.
- Pirajno, Franco. 2009. Hydrothermal Process and Mineral Systems. *Springer Ltd* : Perth.
- Rickard, M. J., 1972. *Fault Classification Discussion : Geological Society of America Bulletin*. Vol. 83, hal 2545-2546. Sapiie, Benyamin., Cloos, Mark. 2014. *Strike-slip faulting and veining in the Grasberg giant porphyry Cu- Au deposit, Ertsberg (Gunung Bijih) mining district, Papua, Indonesia*. International geology Review, Vol 55, No.1, Taylor & Francis Informa Ltd : Inggris.
- Sillitoe, Richard H. 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology, Vol. 105*. Society of Economic Geology: England.
- Van Ufford, Andrew I. Quarles. 1996. *Stratigraphy, structural geology, and tectonics of young forearc-continent collision, western Central Range, Irian Jaya (western New Guinea), Indonesia*. University of Texas : Austin.