

TESIS

**ANOMALI GEOKIMIA DISTRIBUSI LOGAM DASAR PADA
DAERAH BULUMARAUNG KABUPATEN BARRU
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI NURUL ISMA YOGIE WIRDANINGSI ADI
NIM: D062171005**



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

**ANOMALI GEOKIMIA DISTRIBUSI LOGAM DASAR PADA
DAERAH BULUMARAUNG KABUPATEN BARRU
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

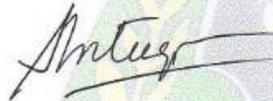
**ANDI NURUL ISMA YOGIE WIRDANINGSI ADI
NIM: D062171005**

Telah dipertahankan di hadapan panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 25 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

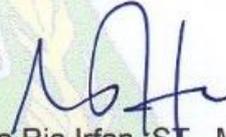
Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

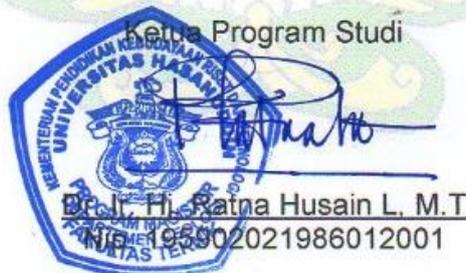


Dr. Adi Tonggihroh, ST., MT
Nip.196509282000031000



Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT
Nip. 197006061994122001

Ketua Program Studi



Dr. Hj. Ratna Husain L. M.T
Nip. 195902021986012001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Andi Nurul Isma Yogie Wirdaningsi Adi
NIM : D062171005
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“Anomali Geokimia Distribusi Logam Dasar Pada Daerah Bulumaraung
Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Agustus 2021

Yang Menyatakan



Andi Nurul Isma Yogie Wirdaningsi Adi

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Pertama - tama penulis memanjatkan Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat dan karunia-nya, serta pertolongan dan hidayah-nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tidak lupa shalawat dan salam penulis tujukan kepada Rasul Allah yang paling mulia yaitu junjungan Nabi Besar Muhammad SAW beserta sahabat - sahabatnya.

Adapun judul Tesis ini adalah "Anomali Geokimia Distribusi Logam Dasar Pada Daerah Bulumaraung Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan" yang kemudian menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Dua (S2) Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada Dr. Ir. Adi Tonggiroh., ST., MT. Sebagai Ketua Komisi Penasehat dan Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT. Sebagai Anggota Komisi Penasehat atas bantuan, arahan, bimbingan, kesabaran dan motivasi yang telah diberikan. Penulis juga berterima kasih Kepada Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L. MT. Yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST., M.T selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Bapak dan Ibu dosen Departemen Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya, dan seluruh Staf Administrasi Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Secara khusus Tesis ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua tercinta Ayahanda Adi Nukman, SE., MM. Dan ibunda Hj. Andi Sitti Aisyah yang selalu memberikan doa, semangat, motivasi, kasih sayang yang tak

terhitung nilainya, dukungan moril maupun materi serta perhatian dan nasehat-nasehat yang dapat membimbing penulis kearah yang lebih baik. Semoga penulis bisa mewujudkan harapan beliau untuk menjadi seseorang yang dapat dibanggakan. Buat suami penulis Andi Irwan, S.Ap yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan, nasehat, bimbingan dan kasih sayang kepada penulis yang tak terhitung nilainya, buat anak penulis Andi Al Ghifari Irwan & Andi Arumi Humaira Irwan yang telah menemani dan memberikan keceriaan, semangat buat penulis agar menyelesaikan tesis ini dengan semangat, dan juga buat adik-adik penulis Andi Zul Fithrah, S.IP dan Andi Tenri Ola, S.Kom yang tumbuh dan besar dilingkungan yang sama, serta berbagi bersama baik suka maupun duka yang selalu membantu memberi semangat dan dukungan. Serta ucapan terima kasih penulis haturkan pula untuk teman-teman Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin Angkatan 2016, 2017, 2018, 2019 dan teman-teman yang lain yang tidak bisa saya sebutkan semuanya, penulis ucapkan banyak terima kasih telah membantu penulis dalam penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa penulisan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan memiliki berbagai kekurangan. Olehnya itu penulis mengharapkan dukungan dan partisipasi aktif berupa kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi perbaikan dan penyempurnaannya. Akhir kata, semoga penyusunan Tesis ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis. Aamiin. Terima kasih.

Gowa, 21 Agustus 2021
Penulis,

Andi Nurul Isma Yogie Wirdaningsi Adi

ABSTRAK

ANDI NURUL ISMA YOGIE WIRDANINGSI ADI. *Anomali Geokimia Distribusi Logam Dasar Pada Daerah Bulumaraung, Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan* (dibimbing oleh Dr. Adi Tonggihroh, ST., MT dan Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT).

Suatu logam dasar dapat dicirikan dari relatif mudahnya mengalami oksidasi atau korosi, serta reaksi variatifnya dengan asam klorida (HCl) encer yang menghasilkan hidrogen. Contohnya adalah besi, nikel, timah, dan seng. Pada daerah sekitar Bulumaraung di indikasikan sebagai daerah yang terdapat proses mineralisasi. Salah satu cara untuk melakukan penyelidikan mineralisasi pada suatu daerah adalah dengan menggunakan penyelidikan geokimia. Pada kasus ini penyelidikan geokimia pada aliran sedimen pada sungai-sungai dengan aliran aktif untuk mengidentifikasi daerah aliran air anomali sebagai target untuk menentukan tubuh endapan. Material sedimen yang diperoleh pada endapan sungai berupa sedimen klastik halus berukuran pasir. Hasil pengolahan anomali geokimia diperoleh tembaga (Cu) berkisar antara 34 – 124 ppm, besi (Fe) antara 8.98 hingga > 50 %, Zn berkisar antara 75 hingga 589 ppm, dan timah (Pb) berkisar antara 23 hingga 255 ppm. Pola penyebaran unsur pada endapan sungai adalah mengikuti pola mobilitas unsur, yaitu nilai jumlah unsur akan tinggi pada hulu-hulu sungai dan akan mengecil kearah hilir sungai.

Kata Kunci: Sungai Bulumaraung, Logam Dasar, Anomali, Geokimia

ABSTRACT

ANDI NURUL ISMA YOGIE WIRDANINGSI ADI. Geochemistry Anomaly of Base Metal Distribution In Bulumaraung, Barru District, Barru Regency South Sulawesi Province (Supervised by Dr. Adi Tonggihroh, ST., MT and Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT)

A base metal can be characterized by its relative ease of oxidation or corrosion, as well as its varied reactions with dilute hydrochloric acid (HCl) to produce hydrogen. Examples are iron, nickel, lead, and zinc. The area around Bulumaraung is indicated as an area where is a mineralization process and predicted consists of a potential distribution of base metal. A method to identify mineralization is the method of the geochemical investigation. In this case, geochemical investigations on sediment flow in rivers with the active flow to identify anomalous watersheds as targets for determining sediment bodies. The sediment material obtained in river deposits is in the form of fine clastic sediments with sand-sized. The results of geochemical anomaly processing obtained copper (Cu) from 34 to 124 ppm, iron (Fe) from 8.98 to > 50%, Zn from 75 to 589 ppm, and tin (Pb) from 23 to 255 ppm. The distribution pattern of base metal elements in river deposits is following the elemental mobility, that is, the value of elements is higher at the up stream and getting lower at the down stream.

Keywords: Bulumaraung River, Base Metal, Anomaly, Geochemistry

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xx
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Ruang Lingkup Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Kondisi Geologi.....	7
2.1. Geologi Regional	7

2.2.	Geomorfologi Regional.....	8
2.3.	Stratigrafi Regional	9
2.4.	Struktur Geologi Regional.....	14
B.	Landasan Teori.....	15
2.5.	Sungai	15
2.5.1.	Tipe Genetik Sungai.....	16
2.5.2.	Kuantitas air sungai.....	16
2.5.3.	Stadia Daerah	16
2.6.	Logam Dasar (<i>Base Metal</i>).....	16
2.7.	Karakteristik Mineralisasi.....	17
2.8.	Sedimen Aliran (<i>Stream Sediment</i>)	17
2.9.	Ukuran butir dalam <i>Stream Sediment</i>	19
2.10.	Statistik Stream Sediment	32
2.11.	Unsur penciri	32
2.12.	Definisi Geokimia	34
2.13.	Anomali Geokimia	34
2.14.	Prinsip Dasar Prospeksi/Eksplorasi Geokimia.....	35
2.15.	Dispersi Geokimia	37
2.16.	Asosiasi Geokimia.....	38
2.17.	Mobilitas Unsur.....	40

2.18.	Geokimia Stream Sedimen dan Base Metal.....	41
BAB III. METODE PENELITIAN.....		43
A.	Rancangan Penelitian.....	43
B.	Lokasi Daerah Penelitian.....	44
C.	Waktu Penelitian.....	45
D.	Alat dan Bahan.....	45
3.1.	Alat.....	45
3.2.	Bahan.....	46
E.	Tahapan Penelitian.....	47
3.3.	Tahap Persiapan.....	47
3.4.	Tahap Pengambilan Data Sampel Sedimen Sungai (<i>Stream Sediment</i>).....	48
3.5.	Tahap Analisis Laboratorium.....	50
F.	Metode Pengambilan Data.....	52
3.6.	Survey Geokimia.....	52
3.6.1.	Survey Sedimen Sungai Aktif (<i>Stream Sediment</i>).....	52
3.6.2.	Analisis fraksi halus sedimen sungai aktif.....	52
3.6.3.	Survey Batuan.....	53
G.	Teknik Pengumpulan Data.....	54
3.7.	Data Awal.....	54

3.8.	Data Lapangan	54
3.9.	Data Laboratorium	56
H.	Analisis Laboratorium	57
3.10.	Analisis Sedimentologi	57
3.11.	Analisis Petrografi	59
3.12.	Analisis <i>ICP-MS</i>	60
I.	Pengolahan Data	60
3.13.	Analisis Geostatistik	61
3.13.1.	Analisis Univariat	61
3.13.2.	Analisis Multivariat	61
3.14.	Analisis Distribusi Logam Dasar	61
3.15.	Analisis Sistem Informasi Geografis	61
J.	Kompilasi Data dan Penyusunan Laporan	62
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		64
A.	Litologi Daerah Penelitian	64
4.1.	<i>Mudstone</i>	64
4.2.	<i>Packstone</i>	65
4.3.	<i>Wackestone</i>	67
4.4.	Diorit kuarsa	68
4.5.	Dasit	69

B.	Ukuran Butir dan Distribusi Partikel Sedimen	71
4.6.	<i>Mean</i> (M_z).....	76
4.7.	<i>Sortasi</i> (σ_1)	78
4.8.	<i>Skewness</i> (Sk_1)	78
4.9.	<i>Kurtosis</i> (K_G).....	78
C.	Geokimia Endapan Sungai	83
D.	Geostatistik Unsur Logam.....	83
4.10.	Tembaga (Cu)	84
4.11.	Besi (Fe).....	84
4.12.	Seng (Zn)	84
4.13.	Timah (Pb).....	84
E.	Korelasi Antar Unsur Logam.....	85
4.14.	Cu dan Fe.....	86
4.15.	Cu dan Zn.....	86
4.16.	Cu dan Pb	87
4.17.	Fe dan Zn.....	87
4.18.	Fe dan Pb.....	87
4.19.	Zn dan Pb.....	88
F.	Sebaran Unsur.....	88
	Unsur Tembaga (Cu).....	89

4.20.	Unsur Besi (Fe)	91
4.21.	Unsur Seng (Zn).....	93
4.22.	Unsur Timah (Pb).....	95
BAB V. PENUTUP		100
A.	Kesimpulan	100
B.	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		102
LAMPIRAN.....		107

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Skala ukuran butir untuk sedimen, menunjukkan kelas ukuran butir menurut Wentworth, satuan <i>phi</i> (Φ) yang sama dan nomor Ayakan Standar Amerika Serikat dinyatakan dalam milimeter dan ukuran Φ (Boggs, 2006).....	20
Tabel 2. Ukuran standar deviasi beserta istilah lisan/ <i>verbal</i> -nya (Boggs, 2006).....	25
Tabel 3. Nilai <i>skewness</i> beserta istilah <i>verbal</i> -nya (Folk, 1974 dalam Lewis & McConhie, 1994).	26
Tabel 4. Nilai kurtosis beserta istilah lisan/ <i>verbal</i> -nya (Folk, 1974 dalam Lewis & McConhie, 1994)	27
Tabel 5. Contoh dari unsur-unsur penciri yang digunakan dalam mendeteksi mineralisasi. (<i>Learned</i> dan <i>Boissen</i> , 1973 dalam <i>Levinson</i> ,1980).....	33
Tabel 6. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-01	72
Tabel 7. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-06	72
Tabel 8. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-11	72
Tabel 9. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-10	73
Tabel 10. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-09	73
Tabel 11. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-08	73
Tabel 12. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-05	74

Tabel 13. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-04	74
Tabel 14. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-12	74
Tabel 15. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-13	75
Tabel 16. Hasil olah data analisis ukuran butir pada Stasiun YG-03	75
Tabel 17. Nilai logaritma ukuran butir sedimen Sungai Bulumaraung.....	79
Tabel 18. Deskripsi verbal ukuran butir sedimen Sungai Bulumaraung...	79
Tabel 19. Persentase komponen sedimen.....	80
Tabel 20. Persentase komponen sedimen.....	81
Tabel 21. Hasil Analisa <i>ICP-OE/MS</i> (dalam satuan ppm)	83
Tabel 22. Nilai statistik unsur logam Cu, Fe, Zn dan Pb pada endapan sungai di daerah penelitian	84
Tabel 23. Koefisien korelasi antar unsur logam Cu, Fe, Zn dan Pb pada endapan sungai di daerah penelitian	85
Tabel 24. Statistik hasil interpolasi dari unsur logam pada daerah penelitian.....	98

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Geologi daerah penelitian (Modifikasi Sukamto,1982 & Kaharuddin, 2014).....	8
Gambar 2. Korelasi satuan batuan pada daerah penelitian (modifikasi Sukamto, 1982 & Kaharuddin, 2014)	14
Gambar 3. Diagram <i>Ternary</i> untuk kelompok tekstur klastik (Shephard, 1954 dalam Schnurren berger <i>et al.</i> , 2003).....	29
Gambar 4. Lokasi penelitian terletak di daerah Bulu Maraung dan sekitarnya, Kec. Barru, Kab. Barru, Provinsi Sulawesi Selatan.....	45
Gambar 5. Alat pengambilan data dan sampel stream sedimen.....	49
Gambar6. Kegiatan pengambilan sampel endapan sungai aktif menggunakan ayakan 200mesh.	50
Gambar 7. Preparasi sampel endapan sedimen sungai aktif (<i>Stream Sediment</i>).....	51
Gambar 8. Diagram alur penelitian	63
Gambar 9. Foto litologi <i>mudstone</i> ; a) Kenampakan contoh batuan pada YG-01; b-c) Foto mikroskopis dari sampel YG-01; d) Kenampakan contoh batuan pada YG-02; e-f) Foto mikroskopis dari sampel YG-02.	65

Gambar 10. Foto litologi packstone; a-b) Foto mikroskopis dari sampel YG-03; c) Kenampakan contoh batuan pada YG-03; d-e) Foto mikroskopis dari sampel YG-05; f) Kenampakan contoh batuan pada YG-05; g-h) Foto mikroskopis dari sampel YG-05; i) Kenampakan contoh batuan pada YG-05 .	66
Gambar 11. a) Kenampakan contoh batuan <i>wackestone</i> pada YG-07; b) Foto mikroskopis dari sampel YG-07	68
Gambar 12. a) Kenampakan contoh batuan diorite kuarsa pada YG-04; b) Foto mikroskopis dari sampel YG-04.....	69
Gambar 13. a) Kenampakan contoh batuan dasit pada YG-08; b) Foto mikroskopis dari sampel YG-08	70
Gambar 14. Kurva frekuensi ukuran butir pada sedimen Sungai Bulumaraung.....	76
Gambar 15. Kurva semi-logaritma distribusi sedimen Sungai Bulumaraung.....	77
Gambar 16. Distribusi sedimen Sungai Bulumaraung berdasarkan tekstur dan persentase komponen (modifikasi diagram Ternary dari Shephard, 1954 dalam Schnurren bergeret <i>al.</i> , 2003) kuran simbol.....	82
Gambar 17. Diagram <i>multiple plot</i>	85
Gambar 18. Pola sebaran tembaga (Cu) pada daerah penelitian.....	91
Gambar 19. Pola sebaran besi (Fe) pada daerah penelitian	93
Gambar 20. Pola sebaran seng (Zn) pada daerah penelitian	95

Gambar 21. Pola sebaran timah (Pb) pada daerah penelitian	97
Gambar 22. Pola sebaran timah (Pb) pada daerah penelitian	99

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
1. Deskripsi Lapangan	108
2. Deskripsi Petrografi.....	117
3. Analisis Geokimia ICP-MS	126
4. Peta-peta	141
5. Peta Topografi	142
6. Peta Stasiun Pengamatan	143
7. Peta Geologi	144
8. Peta Sebaran Cu	145
9. Peta Sebaran Zn.....	146
10. Peta Sebaran Pb.....	147
11. Peta Sebaran Fe.....	148
12. Peta Distribusi Base Matel	149

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
ϕ	<i>phi</i> , unit nomor ayakan standar Amerika Serikat
\emptyset	persentil, titik atau nilai yang membagi distribusi data menjadi seratus dengan bagian yang sama besar
σ	standar deviasi
'	menit, satuan sistem koordinat geografis
''	detik, satuan sistem koordinat geografis
°	derajat, satuan sistem koordinat geografis
%	persen, angka untuk menyatakan pecahan dari seratus
°C	derajat celcius, satuan tingkat suhu
BT	bujur timur
Cm	<i>centimeter</i> , satuan panjang
DAS	daerah aliran sungai
<i>et al.</i>	et alii, dan kawan-kawan
Ha	hektar are, satuan luas area
K _G	kurtosis
Km	kilometer, satuan panjang
LS	lintang selatan
M	meter, satuan panjang
Mdpl	meter di atas permukaan laut
Mm	milimeter, satuan panjang

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
μm	mikrometer, satuan panjang
M_z	<i>mean</i> , nilai rata-rata suatu frekuensi angka
Qac	<i>Quarter alluvial coastal</i>
Sk	<i>skewness</i>
Tmpw	<i>Tersier miosen pliosen walanae</i>
Tmpt	<i>Tersier miosen pliosen tacipi</i>
ZTR	zirkon, turmalin dan rutil
Δ	isotop unsur
Ppm	<i>Part per Million</i>
ppb	<i>Part per billion</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Stream Sedimen adalah suatu metode yang digunakan untuk mengambil sampel dalam berbagai ukuran yang terbentuk secara alami (Rose dkk, 1979). Secara umum metode ini sangat umum dalam eksplorasi mineral pada daerah tropis dan sub-tropis khususnya penelitian pada sedimentasi danau maupun sungai.

Geokimia adalah cabang ilmu geologi tentang studi unsur-unsur kimia penyusun bumi. Dalam eksplorasi sumber daya mineral, geokimia merupakan penyelidikan tentang rincian dan menemukan konsentrasi, dispersi dan distribusi unsur-unsur kimia, isotop, mobilitas unsur. Menurut Fortescue (2012) bahwa geokimia lingkungan studi khusus tentang indikator pencemaran lingkungan dari sumber alamiah dan non alamiah.

Penelitian geokimia yang didasarkan pada analisis sedimen aliran (*stream sediment*) adalah teknik yang sudah mapan yang selama lima dekade, telah digunakan di seluruh dunia. Teknik ini juga didasarkan hemat biaya untuk mengidentifikasi daerah aliran air anomali sebagai target untuk menentukan tubuh endapan.

Endapan mineralisasi pada batuan mengalami proses perbahan fisika kimia yang menyebabkan terjadinya pelapukan dan memisahkan mineral dari batuan. Hasil pelapukan yang terjadi pada batuan mengalami

transportasi dan terendapkan di sungai dalam bentuk pengendapan logam berat, yaitu terbentuknya secara konstituen alami batuan dari proses sedimentasi setelah melalui proses erosi, transportasi dan pengendapan. Secara umum unsur kimia dalam pengendapan membentuk pengendapan yang berbeda yang disebabkan oleh sifat mobilitasnya dan bercampur dengan material pasir.

Sedimen sungai dipengaruhi oleh air yang berfungsi sebagai transportasi logam dari daratan, mobilisasi logam dimulai dari proses pelapukan, erosi dan formasi batuan. Dalam proses mobilisasi, unsur jejak (*trace element*) terabsorpsi oleh material lempung dan material organik atau mungkin mengendap bersama dengan oksida dan hidroksida. Distribusi mineral terjadi secara alami dari formasi batuan mudah lapuk, di sungai.

Sedimen di sona pesisir biasanya didominasi oleh partikel terrigenous sebagai sumber material kontinental. Namun, kondisi hidrodinamika pada bagian bawah pantai komposisi sedimen dikontrol oleh komposisi sedimen (mineral dan kandungan bahan organik), ukuran butir, untuk mengontrol perilaku unsur kimia, termasuk logam berat (Lallier-Verges dan Albe ric, 1990; Murray dan Kuivila, 1990; Dean et al., 1997; Keil dan Cowie, 1999 vide Valdes et al, 2004).

Endapan sungai atau sedimen fluvial terbentuk dari hasil pelapukan batuan secara fisik dan kimia yang mengalami transportasi pada daerah sungai. Endapan yang terbentuk pada tepian sungai merupakan cerminan konsentrasi unsur yang bersumber dari batuan mineralisasi maupun yang

tidak termineralisasi (*unmineralized*) dan dapat mengungkap indikator mineral sepanjang aliran sungai.

Kegiatan pengambilan sampel pada endapan sungai (*stream sediment*) merupakan kegiatan orientasi dalam eksplorasi mineral. Tujuannya adalah penentuan jenis-jenis anomali geokimia dan membedakan nilai dasar regional (*background*) terhadap anomali (Rossiter, 1980). Metode geokimia dengan menggunakan data sedimen aliran sungai dalam skala regional memiliki kemampuan analisis data multi elemen dalam eksplorasi mineral. Survei semacam itu tidak hanya menghasilkan data signifikan dari ekonomi mineral tetapi juga memberikan informasi sumber endapan bijih yang jauh lebih menarik. Jadi, pengambilan sampel sedimen aliran sungai karena umumnya terdiri dari produk pelapukan batuan mineralisasi dan tidak termineralisasi kemudian masuk ke aliran sungai.

Menurut Elliot dkk., (1986) dalam Notodarmojo (2005), absorpsi logam berat dipengaruhi oleh afinitas (ion kation) yang terabsorpsi pada permukaan tanah (terpresipitasi) sebagai komponen yang taklarut. Akumulasi mineral berat terjadi akibat perubahan konsentrasi air pada sedimen seperti pH, Eh, sifat ion, tipe konsentrasi, ikatan logam dan distribusi ukuran (Davis, 1991).

Distribusi mineral berat akan mengalami transportasi, mengikuti aliran air sampai pada batas dimana energi air akan berkurang, yaitu muara sungai. Pada Muara sungai mineral berat akan berasosiasi dengan

endapan sungai seperti lempung dan pasir. Endapan ini akan berbentuk lapisan pada permukaan pantai dimana logam berat dan mineral berat berasosiasi sesuai dengan jenis lempungnya.

Penelitian tentang endapan sungai pada lempung telah banyak dilakukan sesuai dengan metode yang digunakan misalnya, *Inductively coupled plasma-mass spectrometry* (ICP-MS) dan pengolahan data dengan software SPSS v.25 dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA).

Secara regional, daerah Bulumaraung dan sekitarnya tersusun dari complex metamorf dan complex ultrabasa dengan bermacam jenis batuan sedimen dan intrusi batuan beku seperti dasit dan diorite. (Maulana dkk 2010). Mengacu pada kompleksitas dan perbedaan jenis batuan dan genetic sungai yang berkembang di daerah Bulumaraung dan sekitarnya, maka investigasi geokimia dengan mengacu pada pola aliran sedimen untuk mengetahui distribusi kandungan mineral berat perlu dilakukan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Litologi apa saja yang ada di sekitar daerah penelitian ?
2. Ukuran butir sedimen yang berkembang pada aliran sungai di daerah penelitian ?
3. Bagaimana hubungan antar unsur Fe, Cu, Pb, Zn pada daerah penelitian ?

4. Bagaimana anomali logam dasar Cu, Fe, Pb, Zn pada daerah penelitian ?
5. Bagaimana karakteristik geokimia logam dasar Cu, Fe, Pb, Zn pada daerah penelitian ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis litologi yang ada pada daerah penelitian.
2. Mengetahui ukuran butir sedimen pada aliran sungai di daerah penelitian.
3. Mengetahui hubungan antar unsur Fe, Cu, Pb, Zn pada daerah penelitian.
4. Mengetahui karakteristik fisik dan kimia logam dasar Cu, Fe, Pb, Zn pada daerah penelitian.
5. Mengetahui pola anomali logam dasar Cu, Fe, Pb, Zn daerah penelitian.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa perkembangan geokimia endapan mineral khususnya pada Departemen Teknik Geologi

2. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pemerintah setempat tentang adanya kandungan mineral pada batuan di daerah penelitian.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup/batasan dari penelitian ini adalah bagaimana distribusi dari nilai kimia unsur mineral pada sedimen sungai dan batuan pada daerah penelitian dengan menggunakan metode pemetaan dan geokimia.

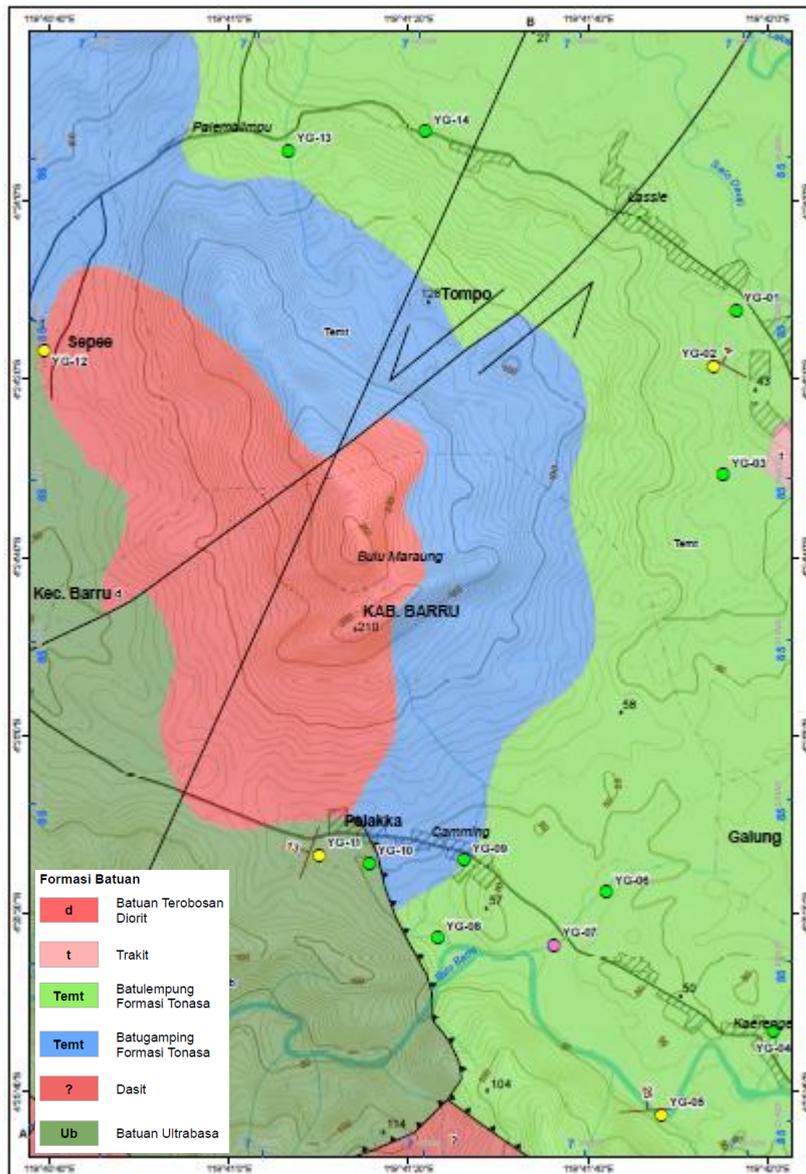
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kondisi Geologi

2.1. Geologi Regional

Secara regional, daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi, skala 1:250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (Sukanto,1982). Kajian mengenai geologi regional lembar ini terbagi atas geomorfologi regional, stratigrafi regional, dan struktur geologi regional.



Gambar 1. Peta Geologi daerah penelitian (Modifikasi Sukamto, 1982 & Kaharuddin, 2014).

2.2. Geomorfologi Regional

Geomorfologi regional daerah penelitian termasuk dalam Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi. Terletak pada koordinat 119°15'00" – 120°45'00" Lintang Selatan dan 04°00'00" – 05°00'00" Bujur Timur yang meliputi daerah tingkat II Kabupaten Maros,

Pangkep, Barru, Watangsoppeng, Wajo, Watampone, Sinjai, dan Kotamadya Pare-pare yang semuanya termasuk dalam wilayah Tingkat I Propinsi Sulawesi Selatan.

Lembar peta ini berbatasan dengan Lembar Majene – Palopo di bagian Utara, Lembar Ujung Pandang, Benteng, Sinjai di bagian Selatan, Selat Makassar di bagian Barat, dan Teluk Bone di bagian Timur (Sukamto, 1982). Pada peta lengan Selatan Pulau Sulawesi secara umum terdapat dua baris pegunungan yang memanjang hampir sejajar pada arah Utara – Barat laut dan dipisahkan oleh Lembah Sungai Walanae (Sukamto, 1982).

Pegunungan pada bagian Barat menempati hampir setengah luas daerah, melebar di bagian Selatan dan menyempit di bagian Utara dengan ketinggian rata-rata 1500 meter. Pembentuknya sebagian besar berupa batuan gunungapi dan batugamping (Sukamto, 1982). Pegunungan pada bagian Timur lebih sempit dan rendah, ketinggian puncak rata-ratanya 700 meter. Pembentuknya sebagian besar berupa batuan gunungapi.

Lembah Walanae yang memisahkan kedua pegunungan tersebut di bagian Utara lebih lebar dari pada di bagian Selatannya. Di tengah lembah terdapat Sungai Walanae yang mengalir ke Utara. Di bagian Selatan berupa perbukitan rendah dan di bagian Utara berupa dataran aluvial.

2.3. Stratigrafi Regional

Pemekaran yang terjadi pada Tersier Awal membawa bagian Timur dari Kalimantan ke wilayah Pulau Sulawesi sekarang, dimana rifting dan pemekaran lantai samudera di Selat Makassar pada masa Paleogen,

menciptakan ruang untuk pengendapan material klastik yang berasal dari Kalimantan. Stratigrafi regional daerah Barru menurut Sukanto (1982), tersusun oleh batuan Pra-Tersier sebagai batuan dasar (basement) yang terdiri dari batuan ultrabasa (peridotit yang sebagian besar terserpentinikan) dan batuan metamorf (sekis). Secara tidak selaras batuan ini ditindih oleh batuan dari Formasi Balangbaru yang merupakan endapan laut dalam yang bersifat pejal (serpih) yang berumur Kapur.

Geologi daerah bagian Timur dan Barat Sulawesi Selatan pada dasarnya berbeda, dimana kedua daerah ini dipisahkan oleh sesar Walanae. Di masa Mesozoikum, basement yang kompleks berada di dua daerah, yaitu di bagian Barat Sulawesi Selatan dekat Bantimala dan di daerah Barru yang terdiri dari batuan metamorf, ultramafik, dan sedimen. Adanya batuan metamorf yang sama dengan batuan metamorf di Pulau Jawa, Pegunungan Meratus di Kalimantan Tenggara, dan batuan di Sulawesi Tengah menunjukkan bahwa basement kompleks Sulawesi Selatan mungkin merupakan pecahan fragmen akibat akresi kompleks yang lebih besar di masa *Lower Cretaceous*. Batuan sedimen di masa *Upper Cretaceous* mencakup Formasi Balangbaru dan Marada berada di bagian Barat dan Timur daerah Sulawesi Selatan, dimana Formasi Balangbaru tidak selaras dengan kompleks basement, terdiri dari batuan *sandstone* dan *silty-shales*, sedikit batuan konglomerat, *pebbly sandstone*, dan breksi konglomerat, sedangkan Formasi Marada terdiri dari campuran *sandstone*, *siltstone*, dan *shale* (van Leeuwen, 1981), dimana unit-unit Formasi

Balangbaru berisi struktur khas sedimen aliran deposit, termasuk debris flow, graded bedding, dan indikasi turbidit.

Batuan vulkanik berumur Paleosen terdapat di bagian Timur daerah Sulawesi Selatan dan tidak selaras dengan Formasi Balangbaru. Di daerah Bantimala batuan vulkanik ini disebut Bua dan di daerah Biru disebut Langi. Formasi ini terdiri dari lava dan endapan piroklastik andesit dengan komposisi *trachy*-andesit dengan sisipan limestone dan shale (van Leeuwen, 1981). Sifat calc-alkaline dan unsur tanah tertentu menunjukkan bahwa batuan vulkanik merupakan hasil subduksi dari arah Barat (van Leeuwen, 1981).

Stratigrafi daerah penelitian termasuk pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat (Sukamto, 1982), yaitu sebagai berikut :

(s): Batuan Malihan; sebagian besar sekis dan sedikit genes; secara megaskopis terlihat mineral di antaranya glaukohan, garnet, epidot, muskovit, dan klorit; di bawah mikroskop mengenali sekis glaukohan, eklogit, sekis garnet, sekis amfibol, sekis klorit, sekis muskovit, sekis muskovit-tremoilit-aktinolit, sekis muskovit-aktinolit, genes albit-ortoklas, dan genes kuarsa-feldspar; eklogit tidak ditemukan berupa singkapan, melainkan berupa sejumlah bongkah besar di daerah batuan malihan; sekisnya mengandung grafit; berwarna kelabu, hijau, coklat dan biru. Batuan malihan ini umumnya tersebar miring ke arah Timur laut, sebagian terbreksikan, dan tersesarkan naik ke arah Baratdaya. Satuan ini tebalnya

tidak kurang dari 2000 m dan bersentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Penarikan Kalium/Argon pada sekis di Timur Bantimala menghasilkan umur 111 juta tahun (J.D. Obradovich, 1974 dalam Sukamto, 1982).

(Ub): Batuan Ultrabasa; peridotit, sebagian besar terserpentinitan, berwarna hijau tua sampai kehitaman, kebanyakan terbreksikan dan tergerus melalui sesar naik ke arah Baratdaya; pada bagian yang pejal terlihat struktur berlapis dan di beberapa tempat mengandung lensa kromit; satuan ini tebalnya tidak kurang dari 2500 meter dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya.

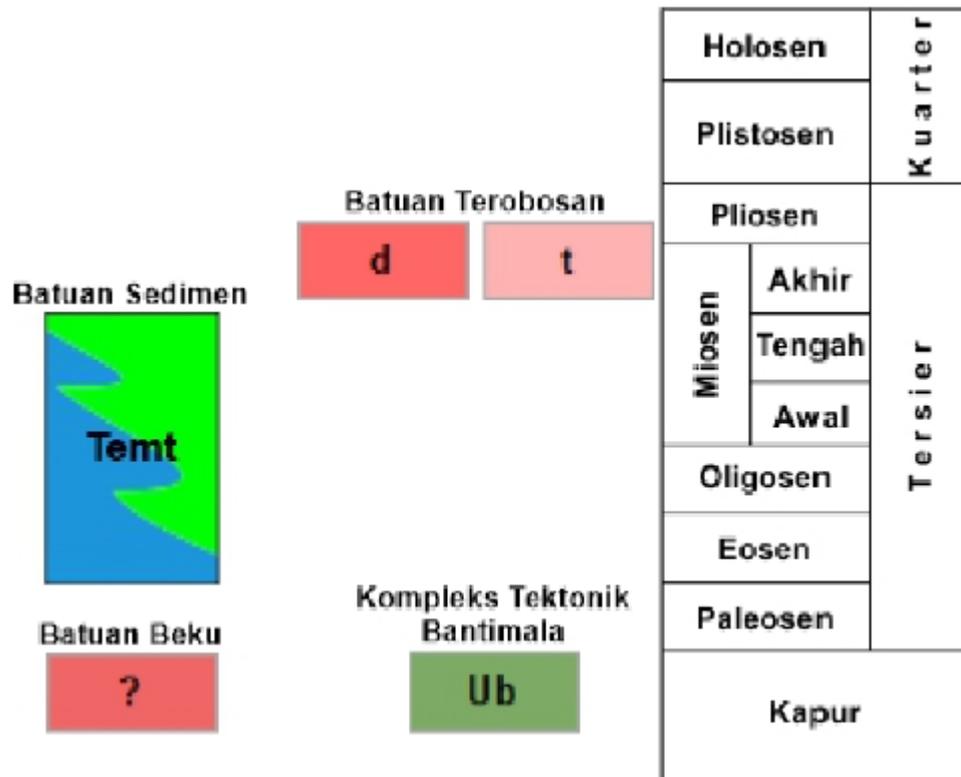
(m): kompleks melange; batuan campur aduk secara tektonik terdiri dari gres, breksi, konglomerat, batupasir; tersekiskan, serpih kelabu, serpih merah, rijang radiolaria merah, batusabak, sekis, ultramafik, basal, diorit, dan lempung; himpunan batuan ini mendaun, kebanyakan miring ke arah Timurlaut dan tersesarkan naik ke arah Baratdaya; satuan ini tebalnya tidak kurang dari 1750 m dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya.

(Temt): Formasi Tonasa; batugamping koral pejal, sebagian terhablurkan, berwarna putih dan kelabu muda; batugamping bioklastik dan kalkarenit, berwarna putih, coklat muda, dan kelabu muda, sebagian berlapis, berselingan dengan napal Globigerina tufaan; bagian bawahnya mengandung batugamping berbitumen, setempat bersisipan breksi batugamping dan batugamping pasir; di daerah Ralla ditemukan

batugamping yang mengandung banyak serpihan sekis dan batuan ultramafik; batugamping berlapis sebagian mengandung banyak foraminifera kecil dan beberapa lapisan napal pasiran mengandung banyak kerang (*pelecypoda*) dan siput (*gastropoda*) besar. Batugamping pejal pada umumnya terkekalkan kuat; di daerah Tanete Riaja terdapat tiga jalur napal yang berselingan dengan jalur batugamping berlapis.

Berdasarkan atas kandungan fosilnya, menunjukkan kisaran umur Eosen Awal (Ta.2) sampai Miosen Tengah (Tf) dan lingkungan neritik dangkal hingga dalam dan laguna. Tebal Formasi Tonasa diperkirakan tidak kurang dari 3000 meter, menindih tidak selaras batuan Formasi Mallawa dan tertindih tidak selaras oleh Formasi Camba, diterobos oleh sill, dyke, dan stock batuan beku yang bersusun basal, trakit, dan diorit.

(d): diorit – granodiorit; terobosan diorit dan granodiorit, terutama berupa stok, dan sebagian berupa retas, kebanyakan bertekstur porfiri, berwarna kelabu muda sampai kelabu. Diorit yang tersingkap di sebelah Utara Bantimala dan di sebelah Timur Barru menerobos batupasir Formasi Balangbaru dan batuan ultramafik; terobosan yang terjadi di sekitar Camba sebagian terdiri dari granodiorit porfiri, dengan banyak fenokris berupa biotit amfibol, dan menerobos batugamping Formasi Tonasa serta batuan Formasi Camba. Penarikan Kalium/Argon granodiorit dari Timur Camba pada biotit menghasilkan 9,03 juta tahun (J. D. Obradovich, 1974 dalam Sukamto, 1982).



Gambar 2. Korelasi satuan batuan pada daerah penelitian (modifikasi Sukamto, 1982 & Kaharuddin, 2014)

2.4. Struktur Geologi Regional

Pulau Sulawesi dan sekitarnya adalah salah satu dari beberapa kompleks aktif margin di dalam ilmu geologi, struktur, dan tektonik. Daerah pada bagian tengah dari Pulau Sulawesi merupakan pertemuan tiga lempeng konvergen, sebagai hasil interaksi tiga lempeng bumi mayor dalam waktu Neogen (Sukamto, 1975 dalam Elburg dan Foden, 1998).

Akhir dari kegiatan gunungapi pada Kala Miosen Awal diikuti oleh kegiatan tektonik yang menyebabkan terjadinya permulaan terban Walanae. Terban Walanae ini memanjang dari Utara ke Selatan lengan Sulawesi bagian Barat sehingga struktur sesar inilah yang mempengaruhi

terhadap struktur geologi sekitarnya. Proses tektonik ini juga yang menyebabkan terbentuknya cekungan tempat pembentukan Formasi Walanae. Peristiwa ini berlangsung sejak awal Miosen Tengah dan menurun perlahan selama proses sedimentasi hingga Kala Pliosen (Sukamto, 1982).

Sesar utama yang berarah Utara – Baratlaut terjadi sejak Miosen Tengah dan tumbuh sampai setelah Pliosen. Adanya perlipatan besar yang berarah hampir sejajar dengan sesar utama diperkirakan terbentuk sehubungan dengan adanya tekanan mendatar berarah kira–kira Timur – Barat pada kala sebelum Pliosen Atas. Tekanan ini pula menyebabkan adanya sesar sungkup lokal yang menyesarkan batuan Kapur Atas di daerah Bantimala ke atas batuan Tersier. Perlipatan dan pensesaran yang relatif lebih kecil di bagian Timur Lembah Walanae dan di bagian Barat pegunungan Barat, yang berarah Baratlaut – Tenggara dan merencong, kemungkinan besar terjadi akibat gerakan mendatar ke kanan sepanjang sesar besar.

B. Landasan Teori

2.5. Sungai

Sungai adalah bagian permukaan bumi yang letaknya lebih rendah dari tanah disekitarnya dan menjadi tempat mengalirnya air tawar menuju ke laut, danau, rawa atau ke sungai yang lain.

2.5.1. Tipe Genetik Sungai

Sungai-sungai yang mengalir di daerah Barru pada umumnya menunjukkan aliran yang berlawanan dengan arah kemiringan perlapisan batuan, sehingga dengan demikian dapat digolongkan sebagai sungai dengan tipe aliran Obsekuen.

2.5.2. Kuantitas air sungai

Sungai-sungai yang terdapat di Barru termasuk jenis sungai periodik dimana kuantitas airnya besar, pada musim hujan tetapi pada musim kemarau airnya kecil atau kering.

2.5.3. Stadia Daerah

Daerah Barru umumnya memperlihatkan kenampakan bentang akan berupa perbukitan dan pegunungan yang sebagian sudah tampak meruncing dan setempat-setempat terjadi penggundulan pada bukit-bukit. Bentuk lembah umumnya masih sempit dengan lereng terjal pada proses erosi lebih lanjut. Sebagian sungai nampak menempati dasar lembah dan relative lurus dengan aliran yang tidak begitu deras, disamping itu pula dataran pedataran belum begitu meluas. Berdasarkan pada kenampakan dari ciri-ciri bentang alam seperti yang telah disebutkan maka dapatlah disimpulkan bahwa stadia daerah termasuk dalam stadia muda menjelang dewasa.

2.6. Logam Dasar (*Base Metal*)

Dalam pengertian geologis dan pertambangan, istilah *base metal* atau "Logam dasar" mengacu pada volume tinggi, elemen logam bernilai

rendah dan biasanya dibatasi pada tiga elemen: tembaga, timah, dan seng. Asosiasi umum logam dasar adalah Cu, Cu-Zn, Cu-Pb-Zn, dan Pb-Zn, biasanya berasosiasi pula dengan belerang sehingga endapan logam dasar disebut pula polimineral.

2.7. Karakteristik Mineralisasi

Berdasarkan dimensi sebaran pada endapan bijih (*ore deposits*), beberapa tipe mineralisasi berupa *veins*, *vein sets*, *stockworks*, *fractures*, *'crackled zones'* dan *breccia pipes* pada umumnya berasosiasi dengan struktur. Secara regional, suatu kompleks endapan porfiri yang memiliki nilai ekonomis biasanya dicirikan oleh tingginya tingkat kerapatan *mineralized veins* dan *fractures*. Jumlah/konsentrasi *veinlets* tersebut akan semakin besar dengan bertambahnya permeabilitas batuan induk (*host rock*) sepanjang berlangsungnya proses mineralisasi.

Komposisi mineralogi suatu endapan porfiri secara umum cukup bervariasi. Kehadiran pirit (FeS_2) sebagai mineral sulfida yang dominan dapat mencirikan endapan porfiri Cu, Cu-Mo dan Cu-Au (Ag), yang menunjukkan tingginya kandungan sulfur yang terdapat dalam endapan. Sebaliknya, pada endapan porfiri Sn, W dan Mo akan memperlihatkan kandungan sulfur dan mineral-mineral sulfida yang rendah, dimana kehadiran mineral-mineral oksida akan lebih dominan.

2.8. Sedimen Aliran (*Stream Sediment*)

Ekplorasi geokimia dengan menggunakan metode *stream*

sediment dilakukan karena lebih efisien terhadap biaya dan waktu. Terutama untuk mengidentifikasi daerah-daerah anomali yang singkapan mineralisasinya belum diketahui (El-Makky dan Sediek, 2012; Yilmaz dkk, 2015). Namun metode ini tidak efisien dalam menemukan endapan mineral yang singkapan batuan jauh di bawah permukaan dan tertutupi oleh batuan lain (Yilmaz dkk, 2015).

Stream sediment atau pengambilan sampel pada endapan sungai merupakan metode umum eksplorasi endapan emas dan logam dasar yang bertujuan menganalisis lumpur, pasir, lempung atau material dasar sungai baik kering maupun basah (test318.weebly.com). Material *stream sediment* (endapan sungai aktif) berasal dari erosi dan transportasi tanah, batu, dan material lainnya yang terkumpul di dalam daerah tangkapan air baik di hulu maupun sepanjang sungai. Kumpulan material ini merupakan tempat pengambilan sampel.

Metode *stream sediment* pertama kali digunakan efektif dalam eksplorasi mineral sejak 1950-an. *Stream sediment* merupakan metode sampling dari hulu sungai sampai muara sungai karena dianggap representatif dari singkapan batuan dalam suatu aliran sungai (Lahermo dkk, 1995). Teknik sampling *stream sediment* dilengkapi dengan pemetaan geologi sehingga menghasilkan distribusi spasial dari variabel geokimia dengan mempertimbangkan faktor geomorfologi dan hidrografi pola wilayah yang disurvei (Spadoni, 2006). Sampling pada batuan inhomogen yang tersingkap pada daerah aliran sungai dapat dilokalisasi

dengan pengambilan data terbatas. Sebaliknya sumber data samping pada tingkat erosi cukup kuat dan tersebar luas di daerah aliran sungai maka intensitas sampling mempertimbangkan faktor geomorfologi dan fitur hidrologi. Metode ini kemudian dikembangkan yang sesuai dalam studi lingkungan dan sebagai multidisiplin yang diakui oleh Kelompok Penelitian Geokimia di Imperial Sekolah Tinggi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas London (Webb dan Thompson, 1978). Sejak itu banyak atlas geokimia nasional telah dipublikasikan di Eropa menggunakan metode *stream sediment* (Plant dan Ridgeway 1990, Plant dkk, 1996, 1997).

2.9. Ukuran butir dalam *Stream Sediment*

Survei dengan metode *stream sediment* digunakan dalam analisa mineralisasi dan profenance dalam survey geokimia dapat efektif dengan mempertimbangkan karakter geokimia pada satu sample dengan ukuran fraksi medium, dengan catatan ada pemetaan geokimia dalam satu daerah aliran sungai termasuk lingkungan penambangan.

a. *GrainSize*

Grain size adalah sifat dasar batuan sedimen silisiklastik dan menjadi salah satu sifat deskriptif yang penting batuan tersebut (Boggs, 2006). Ahli sedimentologi secara umum mengaitkan tiga aspek ukuran partikel, yaitu:

1. Teknik mengukur ukuran butir dan menyatakannya dalam istilah beberapa tipe ukuran butir atau skala tingkat.
2. Metode untuk meringkas data yang banyak dan menyajikannya dalam bentuk grafik atau statistik sehingga akan lebih mudah di analisa.
3. Kegunaan data ukuran butir.

Beberapa ukuran butir atau tingkat skala telah dikembangkan, tetapi skala yang paling banyak digunakan secara universal oleh ahli sedimentologi adalah skala Udden-Wentworth. Skala ini, pertama kali diusulkan oleh Udden pada 1898 kemudian dimodifikasi dan dikembangkan oleh Wentworth pada tahun 1922, di mana skala geometri pada tiap nilai tersebut dua kali lebih besar dari nilai terdahulu (Tabel 1). Skala Udden-Wentworth berkisar dari $>1/256$ mm (0,0039 mm) sampai >256 mm dan terbagi menjadi empat kategori utama (lempung, lanau, pasir dan kerikil). Kegunaan dari modifikasi skala Udden-Wentworth adalah skala philogaritma, yang mana data ukuran butir dinyatakan dalam satuan angka yang sama untuk tujuan plotting grafik dan perhitungan statistik.

Tabel 1. Skala ukuran butir untuk sedimen, menunjukkan kelas ukuran butir menurut Wentworth, satuan *phi* (Φ) yang sama dan nomor Ayakan Standar Amerika Serikat dinyatakan dalam milimeter dan ukuran Φ (Boggs, 2006).

	US Standard sieve mesh	Millimeters	Phi (ϕ) units	Wentworth size class	
GRAVEL		4096	-12		
		1024	-10	Boulder	
		256	-8		
		64	-6	Cobble	
		16	-4		
		4	-2	Pebble	
		6	-1.75		
		7	-1.5	Granule	
		8	-1.25		
		10	-1.0		
SAND		12	-0.75		
		14	-0.5	Very coarse sand	
		16	-0.25		
		18	0.0		
		20	0.25		
		25	0.5	Coarse sand	
		30	0.75		
		35	1.0		
		40	1.25		
		45	1.5	Medium sand	
		50	1.75		
		60	2.0		
		70	2.25		
		80	2.5	Fine sand	
		100	2.75		
		120	3.0		
		140	3.25		
		170	3.5	Very fine sand	
	200	3.75			
MUD		230	4.0		
		270	4.25		
		325	4.5	Coarse silt	
	SILT		0.044	4.75	
			0.037	5.0	
			0.031	5.32	
			0.0156	6.0	Medium silt
			0.0078	7.0	Fine silt
	CLAY		0.0039	8.0	Very fine silt
			0.0020	9.0	
		0.00098	10.0	Clay	
		0.00049	11.0		
		0.00024	12.0		
	0.00012	13.0			
	0.00006	14.0			

Skala ini diusulkan oleh Krumbein pada tahun 1934 (Boggs, 2006), berdasarkan hubungan berikut:

$$\Phi = -\log_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

Φ = ukuran *phi*

S = ukuran butir dalam milimeter

Ukuran *phi* (Φ) dan milimeter yang setara ditunjukkan pada Tabel 1.

Ukuran butir dapat dipresentasikan menggunakan bahasa

matematika dan grafik. Terdapat tiga metode grafik yang umum digunakan

(Boggs, 2006), yaitu:

a) Histogram

Histogram didapatkan dari persentase berat individu yang diplot ke dalam grafik. Histogram ukuran butir merupakan sebuah diagram batang dimana ukuran butir diplot pada sumbu absis dari grafik dan persentase berat individu pada sepanjang sumbu ordinat. Histogram menyediakan metode bergambar yang cepat dan mudah untuk menggambarkan distribusi ukuran butir karena perkiraan ukuran butir rata-rata dan sortasi/pemilahan dapat terlihat secara sepintas. Histogram memiliki penggunaan yang terbatas, karena bentuk dari histogram dibuat berdasarkan interval ayakan menggunakan grafik, sehingga tidak dapat digunakan untuk memperoleh nilai matematika untuk perhitungan statistik.

b) Kurva Frekuensi

Kurva frekuensi merupakan cerminan histogram yang sangat utama dimana kurva halus menunjukkan batang grafik yang tidak menerus. Titik yang saling terhubung dari tiap kelas pada histogram dengan kurva halus memberikan perkiraan bentuk kurva frekuensi. Akan tetapi posisi dari poin terbesar pada kurva akan tergambar dengan teliti. Histogram ukuran butir diplot dari data yang diperoleh dari pengayakan/*sieving* pada interval ayakan yang sangat kecil dan menghasilkan perkiraan bentuk kurva frekuensi. Ketepatan kurva frekuensi dapat berasal dari kurva kumulatif dengan metode grafik khusus yang digambar secara detail oleh Folk (1974).

c) Kurva Kumulatif

Kurva kumulatif ukuran butir dihasilkan dengan memplot ukuran butir dan berlawanan dengan frekuensi persentase berat kumulatif. Kurva ini tidak berkaitan dengan interval ayakan. Selain itu, data yang diperoleh dari kurva kumulatif memungkinkan untuk dilakukan perhitungan pada beberapa ukuran butir yang penting dalam parameter statistik. Kurva kumulatif dapat diplot pada skala ordinat aritmatika atau pada skala log dimana ordinat aritmatika digantikan dengan ordinat log. Ketika data ukuran-*phi* telah diplot pada ordinat aritmatika, kurva kumulatif memiliki bentuk "S". *Slope* pada bagian tengah kurva menunjukkan sortasi dari sampel. *Slope* yang sangat curam mengindikasikan sortasi baik dan *slope* yang sangat landai/rendah menunjukkan sortasi buruk. Jika kurva kumulatif telah diplot pada kertas log, bentuk kurva akan cenderung ke arah garis lurus jika jumlah butiran mengalami distribusi yang normal. Pada distribusi normal, nilainya menunjukkan distribusi yang datar, lebar atau nilai rata-rata. Dalam statistik konvensional, populasi yang didistribusikan secara normal dari nilai yang diplot pada kurva frekuensi akan menghasilkan kurva berbentuk bel sempurna.

Deviasi penyimpangan dari distribusi ukuran butir secara normal dapat dengan mudah dilihat pada plot log dengan deviasi pada kurva kumulatif dari garis lurus. Sebagian besar populasi normal dari butiran dalam sedimen silisiklastik atau batuan sedimen tidak memiliki distribusi normal. Bentuk dari kurva log mencerminkan kondisi dari proses

transportasi sedimen dan dengan demikian dapat digunakan sebagai alat dalam penentuan lingkungan pengendapan.

Terdapat tiga pengukuran matematika dari ukuran butir rata-rata yang umum digunakan (Boggs, 2006), yaitu:

a) *Mode*

Frekuensi terbanyak yang terdapat pada ukuran butir dalam sebuah populasi butiran. Diameter dari ukuran *mode* yang sesuai dengan diameter butiran digambarkan oleh titik yang paling curam (titik infleksi) pada kurva kumulatif. Sedimen silisiklastik dan batuan sedimen cenderung memiliki sebuah ukuran *mode*, tetapi beberapa sedimen memiliki dua *mode/bimode*, dengan satu *mode* pada bagian akhir yang kasar dari distribusi ukuran butir dan satu *mode* lagi pada bagian akhir yang halus. Bahkan beberapa diantaranya merupakan polimode.

b) *Median*

Titik tengah dari distribusi ukuran butir. Sebagian dari butiran dengan berat yang lebih besar dari *median* dan sebagian lainnya memiliki berat yang lebih kecil. Median sama dengan diameter 50 persentil pada kurva kumulatif.

c) *Mean*

Rata-rata aritmatika dari seluruh ukuran butir pada sampel. *Mean* aritmatika yang sebenarnya dari sebagian besar sampel sedimen tidak dapat ditentukan. Hal ini karena angka total dari butiran pada sebuah sampel (tiap-tiap butiran kecil) tidak dapat dihitung atau diukur. Perkiraan

dari *mean* aritmatika dapat ditentukan dari pengambilan nilai persentil yang terpilih dari kurva kumulatif dan nilai rata-rata.

Sortasi/pemilahan dari populasi butiran adalah pengukuran *range* dari persentase butiran dan besar penyebarannya, dimana ukuran-ukuran ini berada di sekitar *mean*. Sortasi dapat diperkirakan di lapangan atau dalam laboratorium dengan menggunakan kaca pembesar atau dengan mikroskop dan dapat digunakan dalam bagan estimasi visual.

Penentuan sortasi yang lebih akurat memerlukan perhitungan matematika pada data ukuran butir. Pernyataan matematika dari sortasi adalah standar deviasi. Pada statistik konvensional, satu standar deviasi meliputi 68% bagian tengah dari area di bawah kurva frekuensi. 68% dari nilai ukuran butir tergantung pada plus atau minusnya suatu standar deviasi pada *mean*. Istilah *verbal* untuk sortasi yang sesuai dengan beragam nilai dari standar deviasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran standar deviasi beserta istilah lisan/*verbal*-nya (Boggs, 2006).

Standar Deviasi	<i>Verbal Terms</i>	Istilah Verbal
-----------------	---------------------	----------------

<0,35 ϕ	<i>Very well sorted</i>	Sortasi sangat baik
0,35 – 0,50 ϕ	<i>Well sorted</i>	Sortasi baik
0,50 – 0,71 ϕ	<i>Moderately well sorted</i>	Sortasi sedang baik
0,71 – 1,00 ϕ	<i>Moderately sorted</i>	Sortasi sedang
1,00 – 2,00 ϕ	<i>Poorly sorted</i>	Sortasi buruk
2,00 – 4,00 ϕ	<i>Very poorly sorted</i>	Sortasi sangat buruk
>4,00 ϕ	<i>Extremely poorly sorted</i>	Sortasi sangat amat buruk

Sebagian besar populasi ukuran butir sedimen biasa tidak memperlihatkan distribusi ukuran butir normal atau normal-log. Kurva frekuensi pada beberapa populasi tidak normal bukan merupakan kurva berbentuk lonceng sempurna, melainkan menunjukkan kondisi yang tidak simetris beberapa derajat, atau *skewness* kecondongan. *Mode*, *mean* dan *median* dalam populasi *skewness* ukuran butir, semuanya berbeda. *Skewness* mencerminkan sortasi pada bagian akhir dari populasi ukuran butir. Populasi yang memiliki butiran halus dominan pada bagian akhir disebut sebagai *skewness* positif atau *skewness* halus, artinya *skewness* dengan nilai ke arah positif. Populasi yang memiliki butiran kasar yang dominan pada bagian akhir adalah *skewness* negatif atau *skewness* kasar. *Skewness verbal* lisan berhubungan dengan nilai perhitungan *skewness* yang akan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *skewness* beserta istilah *verbal*-nya (Folk, 1974 dalam Lewis & McConhie, 1994).

<i>Skewness</i>	<i>Verbal Skewness</i>	<i>Verbal Skewness</i>
------------------------	-------------------------------	-------------------------------

> + 0,30	<i>Very fine skewed</i>	Skewness sangat halus
+0,30 hingga +0,10	<i>Fine skewed</i>	Skewness halus
+0,30 hingga -0,10	<i>Symmetrical</i>	Simetris
-0,10 hingga -0,30	<i>Coarse skewed</i>	Skewness kasar
< -0,30	<i>Very coarse skewed</i>	Skewness sangat kasar

Kurva ukuran butir dapat menunjukkan berbagai derajat dari ketajaman atau keruncingan puncak. Derajat keruncingan puncak disebut kurtosis. Kurva tajam-runcing disebut *leptokurtic*; kurva runcing-datar disebut *platykurtic*. Meskipun kurtosis umumnya dihitung bersama dengan parameter ukuran butir lainnya, makna geologinya belum diketahui dan diindikasikan memiliki sedikit nilai dalam studi ukuran butir (Boggs, 2006).

Tabel 4. Nilai kurtosis beserta istilah lisan/*verbal*-nya (Folk, 1974 dalam Lewis & McConhie, 1994)

Kurtosis	Verbal Kurtosis	Kurtosis Verbal
< 0.67	<i>Very platykurtic</i>	Sangat <i>platykurtic</i>
0.67 hingga 0.90	<i>Platykurtic</i>	<i>Platykurtic</i>
0,90 hingga 1,11	<i>Mesokurtic</i>	<i>Mesokurtic</i>
1,11 hingga 1,50	<i>Leptokurtic</i>	<i>Leptokurtic</i>
1.50 hingga 3.00	<i>Very leptokurtic</i>	Sangat <i>leptokurtic</i>
>3.00	<i>Extremely leptokurtic</i>	Sangat amat <i>leptokurtic</i>

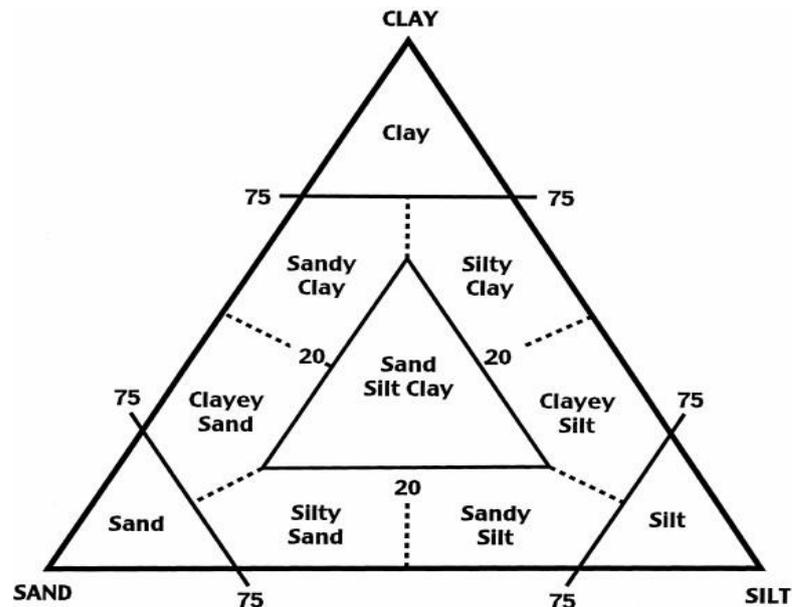
a) Klasifikasi Sedimen Klastik

Sedimen klastik diklasifikasikan dengan menentukan nama utama yang menggambarkan komponen tekstur mayor pada sedimen seperti

pasir, lanau, dan lempung. Penambahan pengubah mayor dan minor digunakan untuk menggambarkan komponen yang kurang melimpah (misalnya tanah liat diatom) atau untuk menyediakan deskripsi lebih rinci tentang komponen dominan (misalnya pasir vitrik). Pengubah mayor memungkinkan untuk menggambarkan mineralogi, fabrik, atau kebulatan pada komponen utama sementara pengubah minor menggambarkan mineralogi dan tekstur komponen dalam jumlah kecil. Pengubah mayor juga dapat digunakan untuk menggambarkan terbentuknya komponen non-klastik, seperti komponen kimia atau biologi yang hadir dalam jumlah kecil atau besar. Pengubah minor (menggunakan akhiran dengan -) menjelaskan unsur-unsur komposisi yang terdiri dari persentase kecil (10- 25%) dari sedimen atau *trace components* yang diagnostik, misalnya, *angular quartzofeldspathic sands* dengan pecahan moluska yang melimpah.

Skala ukuran butir *Udden-Wentworth* mendefinisikan rentang ukuran butir dan nama kelompok tekstur (kerikil, pasir, lanau dan lempung) dan sub-kelompok (pasir halus, lanau kasar, dll.) yang digunakan sebagai nama utama sedimen klastik. Ujung-akhiran dapat ditempelkan pada nama-nama utama pasir, endapan lumpur, dan lempung ketika endapan tersebut ditimbang; serpih dapat digunakan sebagai nama utama untuk batulanau atau batulempung yang terlitifikasi dan menyerpih; serta konglomerat digunakan sebagai nama utama pada kerikil dengan bentuk fragmen bulat dan breksi bila bentuk fragmennya menyudut. Komposisi butir klastik dapat dijelaskan oleh mineralogi menggunakan pengubah seperti kuarsa,

feldspar, mika, zeolitik, litik (untuk fragmen batuan), vitrik (untuk pecahan gelas), *calcareous*, *gypsiferous*, atau *sapropelic* (masing-masing digunakan pada *detrital clasts* kalsium karbonat, gipsum dan bahan organik); serta dalam beberapa kasus provenan seperti, *sed-lithic*, *meta-lithic*, gneissik, basaltik, dll. Fabrik dari sedimen dapat dijelaskan oleh pengubah mayor berupa *grain-supported*, *matrix-supported*, dan imbrikasi. Bentuk butiran dapat dijelaskan oleh pengubah utama berbentuk *rounded*, *sub-rounded*, *sub-angular*, dan *angular* (Schnurrenberger dkk, 2003).



Gambar 3. Diagram Ternary untuk kelompok tekstur klastik (Shephard, 1954 dalam Schnurrenberger *et al.*, 2003)

Sedimen kimia atau biogenik dalam jumlah besar atau kecil dijumlahkan untuk menentukan perkiraan persentase berdasarkan hasil *smear slide* (Schnurrenberger dkk, 2003)

b) Klasifikasi Sedimen Kimia

Klasifikasi sedimen kimia didefinisikan untuk mencakup sedimen yang umumnya terdiri dari mineral autigenik dan diagenetik yang dibentuk

oleh pengendapan anorganik pada kolom air atau pasca-pengendapan pada kolom sedimen. Subkategori kategori sedimen kimia didefinisikan sebagai evaporit dan sedimen karbonat. Pengusulan istilah “*mud*” sebagai nama utama untuk kategori sedimen ini ditambahkan ke istilah yang menggambarkan mineralogi; misalnya, lumpur karbonat, lumpur gipsum atau lumpur gipsum *calcareous* (Schnurrenberger *et al.*, 2003).

Bagian utama dari sistem klasifikasi sedimen ini meliputi identitas dan perkiraan kelimpahan berbagai komponen matriks sedimen. Untuk penentuan kelimpahan komponen sedimen secara cepat, analisis yang dapat digunakan adalah *smear slide*. Deskripsi *smear slide* sedimen harus berupa analisis utama dalam mengklasifikasikan suatu sedimen. Morfologi kristal dan sifat optik lainnya memungkinkan identifikasi karbonat berbeda (aragonit vs kalsit atau dolomit), garam (gipsum dan halit) dan silikat (kuarsa, liat mineral, plagioklas, gelas vulkanik) mineral, serta komponen biogenik (diatom, bahan organik, moluska dan sebagainya). Persentase perkiraan komponen yang berbeda dapat diperkirakan. Adapun untuk mineral yang tidak umum, identifikasi yang sering digunakan berupa analisis XRD (*X-ray Diffraction*).

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat bervariasi tergantung pada tingkat kematangan sedimen (Verma, 2013; Armstrong-Altrin *et al.*, 2013). Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ lebih tinggi pada daerah lingkungan darat dibandingkan dengan lingkungan transisi dan laut. Ditinjau dari gradasi ukuran butir, rasio ini juga meningkat dari pasir sedang hingga sangat halus,

sebagai hasil efek pelapukan kuarsa. Sedimen yang belum mengalami proses pematangan dan berada pada daerah muara sungai menunjukkan kontribusi sedimen hasil pelapukan batuan basaltik yang dibawa oleh sungai. Material sedimen yang belum dewasa ini tidak tertransportasi jauh pada sepanjang pantai dan berada dekat dengan mulut sungai. Rasio Al_2O_3/TiO_2 pada sedimen klastik dapat digunakan sebagai indikator utama dalam menentukan jenis batuan sumber (Armstrong-Altrin dkk, 2012). Menurut Girty dkk. (1996) rasio $Al_2O_3/TiO_2 < 14$ dalam sedimen adalah sugestif dari batuan sumber mafik, sedangkan rasio pada kisaran 19-28 kemungkinan dianggap berasal dari batuan sumber felsik. Floyd & Leveridge (1987) mengemukakan bahwa kandungan K_2O dan Rb pada sedimen klastik juga dapat digunakan sebagai indikator batuan sumber dan kedua elemen berhasil diterapkan oleh Pe-Piper dkk. (2008) untuk batuan klastik *Cretaceous Scotia Basin*, Kanada (Armstrong-Altrin dkk, 2012).

Sejumlah penelitian menggunakan aktivitas sortasi hidrolis dan efek ukuran butir untuk melengkapi data komposisi batuan sumber (Armstrong-Altrin dkk, 2012). Perbedaan proporsi kuarsa, feldspar, amphibole, piroksin, olivin dan mineral berat pada batuan sumber dapat menentukan komposisi geokimia pasir di daerah pantai. Kandungan Fe_2O_3 dan TiO_2 dalam pasir Nautla meningkat seiring dengan penurunan ukuran butir. Sebaliknya, pada daerah Playa Azul dan Tecolutla, kandungan Fe_2O_3 dan TiO_2 pada pasir halus dan sangat halus habis, hal ini menunjukkan bahwa kandungan mineral berat seperti magnetit dan ilmenit relatif tidak signifikan.

2.10. Statistik Stream Sediment

Pendekatan statistik dalam menganalisis asosiasi sampling terhadap singkapan batuan menggunakan asumsi statistik bahwa konsentrasi unsur dianggap sebagai nilai referensi rata-rata suatu area. Dalam analisis data stream sedimen digunakan bantuan statistik tipe multivariate yang menghubungkan unsur-unsur logam dasar. Analisis multivariat sampel sedimen sungai membantu mengungkap ciri dan karakteristik unsur geokimia dari jenis mineralisasi tertentu (He dkk,2014; Sadeghi dkk, 2013 vide Farahbakhsh, 2019). Analisis faktor adalah analisis multivariat yang terkenal yang telah dikembangkan untuk mengungkapkan kumpulan elemen yang secara genetik hadir dalam deposit bijih target (misalnya, El-Makky, 2012; dkk, 2013; Kumru dan Bakaç, 2003; Parsa dkk., 2016; Reimann dkk, 2002; Sadeghi dkk, 2015; Van Helvoort dkk, 2005; Farah bakhsh, 2019). Ada beberapa tantangan dengan metode analisis faktor yang mengungkapkan lebih dari satu asosiasi multi-elemen atau asosiasi yang tidak secara genetik terkait dengan deposit bijih target (Cheng, 2007; Spadoni, 2006; Xie dkk, 2010; Yilmaz, 2003; Zuo dkk, 2009; Farah bakhsh, 2019).

2.11. Unsur penciri

Unsur penciri atau yang sering disebut sebagai *pathfinder* dijelaskan oleh Warren dan Delavault (1953;1956) dalam Levinson (1980) sebagai unsur-unsur yang relatif bergerak dan berasosiasi atau selalu bersama sama dengan unsur-unsur yang menjadi target pencarian, akan tetapi lebih

mudah untuk ditemukan karena unsur-unsur tersebut biasanya memiliki tingkatan mobilitas yang tinggi, sehingga akan membentuk daerah sebaran yang lebih luas dibandingkan dengan unsur-unsur yang dicari.

Tabel 5. Contoh dari unsur-unsur penciri yang digunakan dalam mendeteksi mineralisasi. (*Learned dan Boissen, 1973 dalam Levinson, 1980*)

ASOSIASI BIJIH	UNSUR TARGET	PATHFINDER ELEMENTS
Tembang Porfiri	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Komplek Bijih Sulfida	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, (sebagai SO ₄), SB, Se, CD, Ba, F, Bi
Urat Logam Mulia	Au, Ag	As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Ti
Endapan Skarn	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be
Uranium (Batupasir)	U	Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb
Uranium (Urat)	U	Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F
Tubuh Bijih Ultrabasa	Pt, Cr, Ni	Cu, Co, Pd
Urat Flourspar	F	Y, Zr, Rb, Hg, Ba

Unsur-unsur penciri (*pathfinder*) ini dapat mempermudah dalam pencarian unsur-unsur yang dicari karena kemampuannya untuk mengindikasikan keberadaan unsur lain di sekitar endapan. Sebagai contoh unsur As dapat digunakan sebagai unsur penciri adanya emas dan unsur Ag dalam urat, serta dapat juga sebagai penciri adanya emas, perak, tembaga, kobalt dan seng dalam asosiasi bijih sulfida.

2.12. Definisi Geokimia

Pengertian geokimia secara tradisional adalah deskripsi kimia bumi yang ditekankan pada distribusi unsur isotopnya pada atmosfer, hidrosfer, kerak, mantel dan inti bumi (Fyfe, 1974), sedangkan secara modern diartikan sebagai integrasi pendekatan kimia dan geologi dalam memahami masalah bumi dan (matahari) sejak pembentukannya (Fyfe, 1974). Menurut Goldschmidt (dalam Gunter Faure, 1998) Geokimia menekankan pada dua aspek yaitu:

1. Distribusi unsur dalam bumi (deskripsi).
2. Prinsip-prinsip yang mengatur distribusi tersebut di atas (interpretasi).

Pada dasarnya definisi ini menyatakan bahwa geokimia mempelajari jumlah dan distribusi unsur kimia dalam mineral, bijih, batuan tanah, air, dan atmosfer. Tidak terbatas pada penyelidikan unsur kimia sebagai unit terkecil dari material, juga kelimpahan dan distribusi isotop-isotop dan kelimpahan serta distribusi inti atom.

2.13. Anomali Geokimia

Anomali geokimia adalah konsentrasi abnormal dari unsur-unsur tertentu yang sangat kontras dengan lingkungannya, yang dipercaya mengindikasikan hadirnya endapan mineral atau bijih. Pembentukan anomali ini dihasilkan oleh mobilitas dan dispersi unsur-unsur yang

terkonsentrasi dalam zona-zona mineralisasi (Levinson, 1974; Rose dkk, 1979).

Dalam mencari anomali unsur, sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu mengenai karakter atau sifat-sifat geokimia dari unsur tersebut, sehingga akan mempermudah dalam mengenali keberadaanya.

Potensi keberadaan dari suatu unsur berkaitan dengan bagaimana reaksi unsur tersebut terhadap aksi yang diberikan oleh alam sehingga akan terbentuk pola-pola yang khas dari kumpulan unsur tertentu. Konsentrasi-konsentrasi anomali dari unsur-unsur yang dideteksi dalam survei sedimen biasanya telah terpindahkan ke arah bawah (hilir), sehingga diperlukan metoda-metoda survei lain sebagai alternatif atau pelengkap, seperti metoda geokimia lainnya, geofisika, atau geologi tindak-lanjut.

Sehubungan dengan hal tersebut, geokimia eksplorasi tidaklah secara langsung bertujuan untuk mencari mineralisasi, tetapi hanya mencari indikasi-indikasi (anomali) yang bisa dipakai sebagai acuan untuk menentukan daerah prospek mineralisasi. Olehnya itu bantuan dari data-data metoda survei lainnya sangat dibutuhkan, terutama data geologi (Levinson, 1974; Joyce, 1984).

2.14. Prinsip Dasar Prospeksi/Eksplorasi Geokimia

Pengertian geokimia eksplorasi/prospeksi geokimia diartikan sebagai penerapan praktis prinsip-prinsip geokimia teoritis pada eksplorasi mineral (Levinson,1973 dalam Eego,1997) dengan tujuan agar

mendapatkan endapan mineral baru dari logam-logam yang dicari dengan metoda kimia. Metoda tersebut meliputi pengukuran sistematis satu atau lebih unsur kimia pada batuan, stream sediment, tanah, air, vegetasi dan udara. Metode ini dilakukan agar mendapatkan beberapa dispersi unsur di atas (dibawah) normal yang disebut anomali, dengan harapan menunjukkan mineralisasi yang ekonomis. Anomali geokimia merupakan suatu contoh/kelompok yang mengandung satu atau lebih unsur dalam konsentrasi di atas/di bawah normal dari populasi tersampling, dimana karakter geokimia dan ruangnya dapat menunjukkan adanya mineralisasi (Joyce, 1984).

Prospeksi/eksplorasi geokimia pada dasarnya terdiri dari dua metode :

1. Metode yang menggunakan pola dispersi mekanis diterapkan pada mineral yang relatif stabil pada kondisi permukaan bumi (seperti: emas, platina, kasiterit, kromit, mineral tanah jarang). Cocok digunakan di daerah yang kondisi iklimnya membatasi pelapukan kimiawi.
2. Metode yang didasarkan pada pengenalan pola disperse kimiawi. Pola ini dapat diperoleh baik pada endapan bijih yang tererosi ataupun yang tidak tererosi, baik yang lapuk ataupun yang tidak lapuk. Pola ini kurang terlihat seperti pada pola dispersi mekanis, karena unsur-unsurnya yang membentuk pola dispersi bisa:

- a. Memiliki mineralogi yang berbeda pada endapan bijihnya (contohnya: serussit dan anglesit terbentuk akibat pelapukan endapan galena)
- b. Dapat terdispersi dalam larutan (ion Cu^{2+} dalam air tanah berasal dari endapan kalkopirit)
- c. Bisa tersembunyi dalam mineral lain (contohnya Ni dalam serpentin dan empung yang berdekatan dengan suhu endapan pentlandit)
- d. Bisa teradsorpsi (contohnya Cu teradsorpsi pada lempung atau material organik pada aliran sungai bisa dipasok oleh air tanah yang melewati endapan kalkopirit)
- e. bisa bergabung dengan material organik (contohnya Cu dalam tumbuhan atau hewan).

2.15. Dispersi Geokimia

Dispersi geokimia adalah proses menyeluruh tentang transport dan atau fraksinasi unsur-unsur. Dispersi dapat terjadi secara mekanis (contohnya pergerakan pasir di sungai) dan kimiawi (contohnya disolusi, difusi dan pengendapan dalam larutan).

Tipe dispersi ini mempengaruhi pemilihan metode pengambilan contoh, pemilihan lokasi contoh, pemilihan fraksi ukuran dsb. Contohnya dalam survey drainage pertanyaan muncul apakah contoh diambil dari air atau sedimen; jika sedimen yang dipilih, harus diketahui apakah pengendapan unsur yang dicari sensitif terhadap variasi pH (contohnya

adsorpsi Cu oleh lempung) atau kecepatan aliran sungai (contohnya dispersi Sn sebagai butiran detrital dari kasiterit). Jika adsorpsi dari ion-ion yang ikut diendapkan dicari dalam tanah atau sedimen, maka fraksi yang halus yang diutamakan; jika unsur yang dicari hadir dalam mineral yang resisten, maka fraksi yang kasar kemungkinan mengandung unsur yang dicari.

2.16. Asosiasi Geokimia

Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari system hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons dkk, 2005 dalam Sibarani, 2008). Penggolongan tersebut berdasarkan temperatur (T), tekanan (P) dan kondisi geologi yang dicirikan oleh kandungan mineralnya. Secara lebih detailnya endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1000 meter dibawah permukaan dengan temperatur relatif rendah (50-200)⁰ C dengan tekanan tidak lebih dari 100 atm dari cairan meteorik dominan yang agak asin (Pirajno, 1992).

Tekstur penggantian (*replacement*) pada mineral tidak menjadi ciri khas karena jarang terjadi. Tekstur yang banyak dijumpai adalah berlapis (*banded*) atau berupa *fissure vein*. Sedangkan struktur khasnya adalah berupa struktur pembungkusan (*cockade structure*). Asosiasi pada endapan ini berupa mineral emas (Au) dan perak (Ag) dengan mineral penyertanya berupa mineral kalsit, mineral zeolit dan mineral kwarsa. Dua tipe utama dari endapan ini adalah *low sulphidation* dan *high*

sulphidation yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya.

Pada daerah *volcanic*, sistem *epithermal* sangat umum ditemui dan seringkali mencapai permukaan, terutama ketika *fluida hydrothermal* muncul (*erupt*) sebagai *geyser* dan *fumaroles*. Banyak endapan mineral epithermal tua menampilkan fosil 'roots' dari sistem *fumaroles* kuno. Karena mineral-mineral tersebut berada dekat permukaan, proses erosi sering mencabutnya secara cepat, hal inilah mengapa endapan mineral epithermal tua relatif tidak umum secara global. Kebanyakan dari endapan mineral *epithermal* berumur *Mesozoic* atau lebih muda.

Terdapat suatu kelompok unsur-unsur yang umumnya berasosiasi dengan mineralisasi epitermal, meskipun tidak selalu ada atau bersifat eksklusif dalam sistem epitermal. Asosiasi klasik unsur-unsur ini adalah: emas (Au), perak (Ag), arsen (As), antimon (Sb), mercury (Hg), thallium (Tl), dan belerang (S). Dalam endapan yang batuan penerimanya karbonat (*carbonat-hosted deposits*), arsen dan belerang merupakan unsur utama yang berasosiasi dengan emas dan perak (Berger, 1983), beserta dengan sejumlah kecil tungsten/wolfram (W), molybdenum (Mo), mercury (Hg), thallium (Tl), antimon (Sb), dan tellurium (Te); serta juga fluor (F) dan barium (Ba) yang secara setempat terkayakan.

Dalam endapan yang batuan penerimanya vulkanik (*volcanic-hosted deposits*) akan terdapat pengayaan unsur-unsur arsen (As), antimon (Sb), mercury (Hg), dan thallium (Tl); serta logam-logam mulia (*precious metals*)

dalam daerah-daerah saluran fluida utama, sebagaimana asosiasinya dengan zona-zona alterasi lempung. Menurut Buchanan (1981), logam-logam dasar (*base metals*) karakteristiknya rendah dalam asosiasinya dengan emas-perak, meskipun demikian dapat tinggi pada level di bawah logam-logam berharga (*precious metals*) atau dalam asosiasi-nya dengan endapan-endapan yang kaya perak dimana unsur mangan juga terjadi. Cadmium (Cd), selenium (Se) dapat berasosiasi dengan logam-logam dasar; sedangkan fluor (F), bismuth (Bi), tellurium (Te), dan tungsten dapat bervariasi tinggi kandungannya dari satu endapan ke endapan yang lainnya; serta boron (B) dan barium (Ba) terkadang terkayakan.

2.17. Mobilitas Unsur

Mobilitas unsur adalah kemudahan unsur bergerak dalam lingkungan geokimia tertentu. Beberapa unsur dalam proses disperse dapat terpindahkan jauh dari asalnya, ini disebut mudah bergerak atau mobilitasnya besar, contohnya: unsur gas mulia seperti radon. Rn dipakai sebagai petunjuk dalam prospeksi endapan Uranium.

Mobilias unsur akan berbeda dalam lingkungan yang berbeda, contohnya: F bersifat sangat mobile dalam proses pembekuan magma (pembentukan batuan beku), cebakan pneumatolitik dan hidrotermal, namun akan sangat tidak mobile (stabil sekali) dalam proses metamorfose dan pembentukan tanah. Bila F masuk ke air akan menjadi sangat mobile kembali.

Unsur yang berbeda yang ditemukan dalam suatu endapan bisa memiliki mobilitas yang sangat berbeda, sehingga mungkin tidak memberikan anomali yang sama secara spasial. Misalnya: Pb dan Zn sangat sering terdapat bersama-sama (berasosiasi) di dalam endapan bijih (di dalam lingkungan siliko-alumina), sedangkan dalam lingkungan pelapukan Zn yang jauh lebih mobile dari pada Pb akan mudah mengalami pelindian, sehingga Pb yang tertinggal akan memberikan anomali pada zona mineralisasinya. Contoh lainnya: Emas yang tahan terhadap larutan akan tertinggal dalam gossan, Galena terurai perlahan dan menghasilkan serusit dan anglesit yang relatif tidak larut. oleh karena itu Pb cenderung tahan dalam gossan.

2.18. Geokimia Stream Sedimen dan Base Metal

Studi geokimia orientasi menunjukkan bahwa aliran sedimen sampling adalah teknik eksplorasi yang berpotensi kuat untuk menangkap hasil mineralisasi batuan seperti mineral tembaga, timah, seng, dan timbal. Mineral ini dapat dideteksi dengan menggunakan kombinasi sampel yang diayak dan konsentrat mineral berat.

Konsentrasi mineral yang dijumpai di sungai umumnya bersumber dari dua jenis mineralisasi tembaga, yaitu bersumber pada batuan vulkanik dan pipa breksi.

Dispersi tembaga dalam sedimen aliran relatif dan diperlukan jarak sampel yang sangat dekat untuk mendeteksi mineralisasi dengan menggunakan sampel yang disaring. Oleh sebab itu banyak para geologis

menggunakan metode stream sedimen dalam menganalisis sumber mineral tembaga.