

SKRIPSI

**PEMANFAATAN CITRA SENTINEL 2A DALAM PEMBUATAN
POTENSI ZONASI EMAS MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*
DAERAH TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN
BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

RONALDO

D611 16 003



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN CITRA SENTINEL 2A DALAM PEMBUATAN
POTENSI ZONASI EMAS MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*
DAERAH TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN
BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh :

**RONALDO
D611 16 003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 April 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Ilham Alimuddin S.T., M.GIS.,PhD
NIP. 19581203 198601 1 001



Prof. Dr-Eng. Asri Jaya,HS,S.T.,M.T
NIP. 19591008198731001

Ketua Program Studi



Prof. Dr-Eng. Asri Jaya,HS,S.T.,M.T
NIP. 19591008198731001

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ronaldo

NIM : D611 16 003

Program studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

**“PEMANFAATAN CITRA SENTINEL 2A DALAM PEMBUATAN
POTENSI ZONASI EMAS MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*
DAERAH TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN
BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, April 2022

Menyatakan



Ronaldo

SARI

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat $121^{\circ} 48' 45''$ - $121^{\circ} 50' 15''$ bujur timur dan $4^{\circ} 39' 45''$ - $4^{\circ} 41' 15''$ lintang selatan. Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi mengenai Pemanfaatan Citra Sentinel 2A Dalam Pembuatan Potensi Zonasi Emas Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. Metode yang dilakukan terdiri dari pengumpulan data, survei lapangan, interpretasi data citra, analisa petrografi dan analisa geokimia yang menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) Berdasarkan hasil analisa citra, mineral yang ditemukan pada daerah penelitian adalah oksida besi, kuarsa, pirit dan mineral lempung. Tipe alterasi pada daerah penelitian yaitu alterasi argilik dan silisifikasi. Berdasarkan analisa geokimia kandungan emas pada daerah penelitian berkisar 0,001 ppm sampai 4,65 ppm. Sebaran potensi emas daerah penelitian didominasi pada bagian utara daerah penelitian.

Kata kunci : *fuzzy logic*, AAS, Citra, Alterasi, Geokimia

ABSTRACT

Administratively, the research area is included in the Tahi Ite Region, Rarowatu District, Bombana Regency, South Sulawesi Province. Astronomically located at the coordinates 121° 48' 45" - 121° 50' 15" east longitude and 4° 39' 45" - 4° 41' 15" south latitude. The purpose of this research is to conduct a study on the Utilization of Sentinel 2A Imagery in Making Gold Zoning Potential Using the Fuzzy Logic Method. The method used consisted of data collection, field survey, interpretation, petrographic analysis and geochemical analysis using the method AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). Based on the results of image analysis, the minerals found in the research area were iron oxide, quartz, pyrite and clay minerals. The types of alterations in the research area are argillic and silicification alterations. Based on geochemical analysis, the gold content in the study area ranged from 0.001 ppm to 4.65 ppm. The distribution of gold potential in the research area is dominated by the northern part of the study area.

Keywords : fuzzy logic, AAS, Image, Alteration, geochemistry

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang amat mulia dan sempurna, maha agung untuk disembah, menguasai jagat raya beserta isinya serta hidup manusia. Kepada-Nyalah kami memohon berkah dan rahmat serta izin-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan SKRIPSI yang berjudul **“Pemanfaatan Citra Sentinel 2A Dalam Pembuatan Potensi Zonasi Emas Menggunakan Metode Fuzzy Logic Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara”**. Shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang merupakan rasul Allah yang membawa dan membimbing umat manusia dari dunia yang penuh kegelapan ke dalam dunia yang terang benderang dengan cahaya islam.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini, antara lain kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Asri Jaya S.T, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Geologi dan sebagai sebagai dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir.
2. Bapak Ilham Alimuddin, S.T., M.GIS., P.hD sebagai dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir dan sebagai pembimbing akademik yang banyak mengarahkan dan menuntun penulis.

3. Bapak Dr. Ir Busthan Azikin, M.T dan Bapak Dr. Eng Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai dosen penguji.
4. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang banyak membantu selama berkuliah di Teknik geologi.
5. Kedua orangtua, serta keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil.
6. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) atas dukungan yang diberikan untuk penulis selama perkuliahan.
7. Muhammad Resky, Syahrul Ramadhan, Muh. Fajrul Islami dan Kakanda Takdir yang telah membantu penulis dalam pengambilan data lapangan sampai selesainya skripsi ini.
8. Teman – teman *JURASSIC*'16 yang selalu membantu dan menjadi penyemangat penulis selama mengerjakan skripsi.

Penulis mengharapkan adanya masukan dan kritikan yang lebih banyak dan bersifat membangun demi kesempurnaan dari penulisan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada, tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia yang memiliki banyak kekurangan dan kesalahan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat baik secara individu maupun secara umum. Aamiin.

Makassar, April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
SARI.....	ii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
1 BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Letak dan Kesampaian Daerah.....	4
1.5 Alat dan Bahan	5
1.6 Peneliti Terdahulu	5
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Geologi Regional.....	7
2.1.1 Geomorfologi Regional Penelitian.....	7
2.1.2 Stratigrafi Regional	8
2.1.3 Struktur Geologi Regional	9
2.2 Pengertian Emas	10
2.3 Proses Pembentukan Emas	11
2.3.1 Lingkungan Tektonik.....	11
2.3.2 Struktur Geologi.....	12
2.4 Alterasi Hidrotermal.....	13
2.4.1 Alterasi Hidrotermal.....	14
2.4.2 Tipe Endapan Hidrotermal.....	16
2.4.3 Mineralisasi.....	18
2.4.4 Pembagian Zona Alterasi	21
2.5 Dasar Teori.....	23

2.5.1	Penginderaan Jauh.....	23
2.5.2	Citra.....	25
2.5.3	Citra Sentinel.....	27
2.5.4	Fuzzy Logic.....	30
2.5.4.3	Jenis – Jenis Operator Fuzzy Logic.....	32
3	BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1	Pengumpulan Data.....	36
3.2	Variabel Penelitian	36
3.3	Survei Lapangan.....	37
3.4	Pasca Lapangan	37
3.5	Pengolahan Data.....	38
3.6	Penyusunan Laporan	40
4	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Sebaran Mineral Permukaan.....	42
4.1.1	Mineral Oksida Besi.....	42
4.1.2	Mineral Bijih	44
4.1.3	Mineral Kuarsa.....	46
4.1.4	Mineral Lempung.....	49
4.2	Zona Alterasi	51
4.3	Asosiasi Variabel Geologi dengan Sebaran Zona Alterasi.....	57
4.3.1	Struktur Sesar	57
4.3.2	Stratigrafi.....	60
4.3.3	Geomorfologi	66
4.3.4	Kandungan Unsur Geokimia.....	69
4.4	Sebaran Potensi Emas.....	70
5	BAB V PENUTUP	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
6	DAFTAR PUSTAKA	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Tunjuk Daerah Penelitian	4
Gambar 2.1 Skema Pembentukan Endapan Epitermal (White & Hedenquist, 1996)	18
Gambar 2.2 Grafik Fungsi Fuzzy Small dan Fuzzy Large (Zadeh, 1993)	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	41
Gambar 4.1 Sekis mika yang telah teroksidasi pada stasiun TR 3 difoto kearah N 94° E.....	43
Gambar 4.2 Peta Sebaran Mineral Besi Oksida	44
Gambar 4.3 Kenampakan sekis mika yang mengandung pirit pada stasiun AM1 Difoto kearah N 127° E	46
Gambar 4.4 Peta Sebaran Mineral Bijih.....	46
Gambar 4.5 Vein kuarsa mengandung emas, telah teroksidasi.pada stasiun AM2 difoto kearah N 190° E.....	48
Gambar 4.6 Peta Sebaran Mineral Kuarsa.....	48
Gambar 4.7 Kenampakan mineral lempung pada litologi sekis mika pada stasiun TR 13 difoto kearah N 158° E	50
Gambar 4.8 Peta Sebaran Mineral Lempung.....	51
Gambar 4.9 Peta Sebaran Alterasi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10 Alterasi yang sangat intensif di sekitar vein kuarsa pada stasiun AM1	57
Gambar 4.11 Peta Penampang Mineralisasi	59
Gambar 4.12 Singkapan sekis mika dengan foliasi N95°E/25° pada stasiun TR9 difoto kearah N 270° E	61
Gambar 4.13 Singkapan lensa batupasir meta dalam sekis dengan foliasi N105°E/25° difoto kearah N 190° E.....	63
Gambar 4.14 <i>Boulder</i> batugamping meta pada stasiun TR5 difoto kearah N 150° E	64
Gambar 4.15 Singkapan batupasir dengan kedudukan N 50° E/38° pada stasiun MR3.....	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.16 Singkapan batulempung dengan kedudukan N335 ⁰ E/25 ⁰ pada stasiun TR8.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.17 Peta Fuzzy Geologi.....	66
Gambar 4.18 Peta Potensi Sebaran Potensi	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ciri- Ciri Umum Endapan Epitermal (Lindgren, 1933).....	20
Tabel 2.2 Parameter Orbit Satelit Sentinel 2.....	Error! Bookmark not defined. 29
Tabel 2.3 Karakteristik Band Sentinel 2A.....	30Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.4 Band ratio for different data sets (J. Cardoso-Fernandes et al, 2019)	30Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1 Pengumpulan Data	36
Tabel 3.2 Variabel penelitian	37
Tabel 4.1 Analisis <i>DPC</i> Citra Sentinel untuk mineral oksida besi	42
Tabel 4.2 Analisis <i>DPC</i> Citra Sentinel untuk mineral bijih	45
Tabel 4.3 Analisis <i>DPC</i> Citra Sentinel untuk mineral kuarsa	47
Tabel 4.4 Analisis <i>DPC</i> Citra Sentinel untuk mineral lempung.....	49
Tabel 4.5 Hasil Analisis Kadar bijih metode AAS terhadap 8 sampel batuan.....	70
Tabel 4.6 Uji Validasi Potensi Sebaran dengan Kadar Kandungan Emas	70

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang banyak menyimpan sumber daya alam. Dari catatan sejarah masa lalu dapat diketahui bahwa indikasi endapan mineral telah ditemukan di berbagai daerah di Indonesia. Mineral merupakan salah satu sumber daya alam yang proses pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun dan sifatnya tidak dapat diperbaharui. Mineral memiliki banyak manfaat yaitu sebagai bahan baku industri/produksi yang dalam hal ini mineral lebih di kenal sebagai bahan galian. Melihat prospek kedepannya, pada masa mendatang banyak perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang eksplorasi dan eksploitasi emas.

Metode yang digunakan dalam survei mengenai emas dan unsur-unsur terkait lainnya selama ini adalah metode konvensional, dimana cara yang dilakukan adalah dengan survei langsung ke lapangan atau yang biasa disebut dengan tahap eksplorasi. Pemanfaatan sumber daya alam merupakan salah satu aspek yang paling menjanjikan untuk dikelola sebagai sumber pembiayaan dan pembangunan bagi daerah, akan tetapi pemanfaatan sumberdaya mineral ini memerlukan penyajian informasi geologi yang lengkap, akurat dan informatif sehingga dapat dijadikan bahan acuan studi kelayakan dalam pengelolaannya.

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi komputer dan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang penginderaan jauh sangat diperlukan cara-cara cepat, tepat untuk mendapatkan data permukaan bumi yang semakin kompleks. Salah satunya adalah mengolah data penginderaan jauh satelit secara digital yang memberikan informasi spasial permukaan bumi yang berkualitas.. Oleh karena itu

diperlukan cara cepat dan tepat untuk mengidentifikasi endapan emas dengan menggunakan citra penginderaan jauh dimana metode ini masih memerlukan kajian mendalam untuk mencapai tahap operasional dalam survei

Perkembangan teknologi eksplorasi endapan mineral saat ini mengalami perkembangan begitu pesat, apalagi telah banyak ditemukan endapan-endapan mineral permukaan dan dekat permukaan, sehingga penekanan saat ini adalah pencarian endapan mineral pada lokasi yang jauh dibawah permukaan bumi atau daerah yang belum mampu dijangkau dengan teknologi yang tersedia saat ini, misalnya metode-metode geofisika dan pengeboran yang terbatas kemampuan penetrasian. Kehadiran metode pengindraan jauh menjadi salah satu alternatif metode pemetaan endapan mineral, teknologi ini mampu meminimalisir biaya maupun waktu pekerjaan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detail mengenai *“Pemanfaatan Citra Sentinel 2A Dalam Pembuatan Potensi Zonasi Emas Menggunakan Metode Fuzzy Logic Daerah Tahiti Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara”*

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi mengenai Pemanfaatan Citra Sentinel 2A Dalam Pembuatan Potensi Zonasi Emas Menggunakan Metode Fuzzy Logic di Daerah Tahiti Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui informasi spasial dari sebaran mineral permukaan dan kemudian dituangkan ke dalam peta.
2. Mengetahui faktor yang memengaruhi alterasi dan mineralisasi daerah penelitian.
3. Mengetahui sebaran potensi emas daerah penelitian.

1.3 Batasan Masalah

- a. Wilayah Penelitian adalah areal eksploitasi PT Tiran Indonesia meliputi Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara.
- b. Potensi endapan emas merupakan wilayah yang berdasarkan hasil survei tinjau lapangan mengandung adanya endapan emas dan tumpang tindih dengan *eksisting* kegiatan pertambangan.
- c. Struktur geologi berupa sesar yang terdapat dalam daerah penelitian.
- d. Litologi merupakan formasi jenis batuan penyusun yang ada di daerah penelitian.
- e. Zona alterasi merupakan area ubahan mineral pembawa endapan emas sebagai hasil dari pelapukan dalam sistem hidrotermal yang dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, batuan sampling dan permeabilitas.

1.4 Letak dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian terletak di Desa Tahi Ite, Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara tepatnya pada konsesi PT. Tiran Indonesia pada daerah eksplorasi endapan emas. (Gambar 1.1).

Secara geografis, daerah penelitian terletak antara $121^{\circ}48'45''$ BT - $121^{\circ}50'15''$ BT dan $4^{\circ}39'50''$ LS - $4^{\circ}41'15''$. Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi udara dan darat dari Makassar menuju Kota Kendari menggunakan pesawat selama 50 menit, dari pusat Kota Kendari menuju Kabupaten Bombana yang merupakan lokasi penelitian dapat dicapai dengan kendaraan roda dua dan roda empat dengan waktu tempuh sekitar 6 jam yang berjarak ± 220 km, mengarah Barat Daya dari pusat Kota Kendari.



Gambar 1.1Peta Tunjuk Daerah Penelitian

1.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut :

1. Peta Topografi berskala 1 : 25.000 yang merupakan hasil pembesaran dari peta rupa bumi skala 1 : 50.000 terbitan Bakosurtanal
2. Kompas Geologi
3. *Global Positioning System* (GPS)
4. Komparator
5. Buku catatan lapangan
6. Kantong sampel
7. Kamera digital
8. Alat tulis menulis
9. Clipboard
10. Ransel lapangan
11. Penggaris
12. Perlengkapan pribadi

1.6 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi telah melakukan penelitian di daerah ini baik secara lokal maupun regional. Hasil penelitian geologi yang dijadikan acuan dalam penelitian ini antara lain:

- Fadlin, dkk (2012) “melakukan penelitian tentang karakteristik endapan emas orogenik sebagai sumber emas placer di daerah Wumbubangka, Bombana, Sulawesi Tenggara.”

- Idrus dan Prihatmoko (2011) menyebutkan adanya potensi mineralisasi emas pada batuan metamorf di pegunungan Rumbia dan Mendoke Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara.
- Idrus dkk (2011) “melakukan penelitian tentang Tipe cebakan emas orogen pada batuan metamorf sebagai sumber emas letakan Langkowala, Bombana, Sulawesi Tenggara.”
- Setiawan dkk (2012) “melakukan penelitian tentang karakter dan tipe mineralisasi hidrotermal di wilayah Bombana berdasarkan studi mineralogi dan geokimia.”
- Van Leeuwen, dkk (2011), melakukan penelitian mengenai, “Endapan mineral di Sulawesi”.
- Carranza (2000), melakukan penelitian menggunakan algoritma *fuzzy logic* dalam integrasi data di Filipina
- Schiowitzz, dkk. (2008), melakukan penelitian memanfaatkan metode *Fuzzy Logic* pada pemetaan potensi emas, perak, dan tembaga di Distrik La Plata, Colorado, USA.
- Muslim, (2009) Melakukan penelitian terkait Penerapan Metode *Fuzzy Logic* dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Kabupaten Sukabumi dengan menggunakan SIG.
- Harahap, dkk. (2014) Melakukan penelitian Potensi emas menggunakan metode fuzzy logic di Sumatera Utara

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Berikut penjelasan peta geologi lembar kolaka, Sulawesi yang meliputi fisiografi, stratigrafi, struktur dan tektonik regional.

2.1.1 Geomorfologi Regional Penelitian

Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawatobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (sesar Kolaka dan Sistem Sesar Kanaweha). Kedua sistem ini diduga masih aktif, yang ditunjukkan oleh adanya torehan pada endapan alluvial dalam kedua dataran tersebut (Surono dkk, 1997). Sehingga sangat mungkin kedua dataran itu uterus mengalami penurunan. Akibat dari penurunan ini tentu berdampak buruk pada dataran tersebut, diantaranya pemukiman dan pertanian di kedua dataran itu akan mengalami banjir yang semakin parah setiap tahunnya.

Dataran Langkowala yang melampar luas diujung selatan Lengan Tenggara, merupakan dataran rendah. Batuan penyusunnya terdiri atas batupasir kuarsa dan konglomerat kuarsa Formasi Langkowala. Dalam dataran ini mengalir sungai-sungai yang pada musim hujan berair melimpah sedang pada musim kemarau kering. Hal ini mungkin disebabkan batupasir dankonglomerat sebagai dasar sungai masih lepas, sehingga air dengan mudah merembes masuk ke dalam tanah. Sungai tersebut di antara Sungai Langkowala dan Sungai Tinanggea. Batas.selatan antara

Dataran Langkowala dan pegunungan Rumbia merupakan tebing terjal yang dibentuk oleh sesar berarah hampir barat-timur.

2.1.2 Stratigrafi Regional

a. Formasi Langkowala (Tml)

Formasi Langkowala (Tml) terdiri atas konglomerat, batupasir, serpih dan setempat kalkarenit. Konglomerat mempunyai fragmen beragam yang umumnya berasal dari kuarsa dan kuarsit, dan selebihnya berupa batu pasir malih, sekis dan ultrabasa. Ukuran fragmen berkisar 2 cm sampai 15 cm, setempat terutama dibagian bawah 25 cm. bentuk fragmen membulat – membulat baik, dengan sortasi menengah. Formasi ini banyak dibatasi oleh kontak struktur dengan batuan lainnya dan bagian atas menjemari dengan bagian bawah batuan sedimen formasi Boepinang (Tmpb). Hasil penanggalan umur menunjukkan bahwa batuan ini terbentuk pada Miosen Tengah.

b. Kompleks Pompangeo (MTpm)

Kompleks Pompangeo (MTpm) terdiri atas sekis mika, sekis glaukofan, sekis amphibolite, sekis klorit, rijang, pualam dan batugamping meta. Sekis berwarna putih, kuning kecoklatan, kehijauan kelabu; kurang padat sampai sangat padat serta memperlihatkan perdaunan. Setempat menunjukkan struktur chevron, lajur tekuk (kink banding) dan augen serta di beberapa tempat perdaunan terlipat. Rijang berwarna kelabu sampai coklat; agak padat sampai padat setempat tampak struktur perlapisan halus (perarian). Pualam berwarna kehijauan, kelabu sampai kelabu gelap, coklat sampai merah coklat, dan hitam bergaris putih; sangat padat dengan persekisan, tekstur umumnya nematoblas yang memperlihatkan

pengarahan. Persekisan dalam batuan ini didukung oleh adanya pengarahan adanya kalsit hablur yang tergabung dengan mineral kedap (opak). Batuan terutama tersusun oleh kalsit, dolomit dan piroksen; mineral lempung dan mineral bijih dalam bentuk garis. Wolastonit dan apatit terdapat dalam jumlah sangat kecil. Plagioklas jenis albit mengalami penghabluran ulang dengan piroksen. Satuan ini mempunyai kontak struktur geser dengan satuan yang lebih tua di bagian utara yaitu Kompleks Mekongga (Pzm). Berdasarkan penarika umur oleh Kompleks Mekongga mempunyai umur Kapur Akhir – Paleosen Bawah.

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk sesar matarombeo, system sesar Lawanopo, sistem sesar Konaweha, sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama tenggara-barat laut (332°) dan timur laut barat daya (420°). arah tenggara barat laut merupakan arah umum dari sesar geser mangiri dilengan tenggara Sulawesi.

Sistem sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama barat laut-tenggara yang memanjang sekitar 260 km dari utara Malili sampai tanjung Toronipa. Ujung barat laut sesar ini menyambung dengan sesar Matano, sementara ujung tenggaranya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo oleh Hamilton (1979) berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya. Analisis stereografi orientasi bodin, yang diukur pada tiga lokasi, menunjukkan keberagaman azimuth rata-rata/ plnge : $30^\circ/44^\circ$, $356,3^\circ/49^\circ$, dan $208,7^\circ/21^\circ$

2.2 Pengertian Emas

Emas adalah mineral logam mulia memiliki warna khas kuning, berat, bersifat lembek, mengkilap, serta *malleable*. Logam ini banyak terdapat pada serbuk bebatuan dan deposit aluvial. (Diantoro, 2010). Berwarna cokelat kemerahan jika dalam bentuk bubuk. Kekerasannya berkisar 2,5-3 (skala mohs) dan memiliki berat jenis yang selalu bergantung pada kandungan mineral yang berpadu pada saat pembentukan.

Dalam tabel periodik mineral emas bersimbol (Au) yang dalam bahasa latin adalah '*aurum*' dengan nomor atom 79. Selain itu emas memiliki sifat yang tahan terhadap asam, hanya air saja yang melarutkannya dengan membentuk ion tetrakloroaurat (III), $(AuCl_4)^-$ dan melebur pada suhu $1064^{\circ}C$ (Diantoro,2010). Baik dari bentuk monovalen maupun trivalennya, emas dapat dengan mudah direduksi menjadi logam.

Mineral pembawa unsur emas biasanya berasosiasi mineral ikutan (*gangue* mineral) seperti kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri atas emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas *nativ*, hanya kandungan perak di dalamnya $> 20\%$.

2.3 Proses Pembentukan Emas

2.3.1 Lingkungan Tektonik

Sumber endapan bijih epitermal berasal dari sumber yang dangkal yang berasosiasi dengan air meteorik dan atmosfer. Hipotesa tentang asal endapan epitermal secara serius dipertimbangkan oleh Schmitt (1950) berasal dari *lateral secretion*, differensiasi fluida dari suatu magma, keluar vulkanik dan diserap oleh air tanah, injeksi dalam bentuk lelehan dan pengendapan dari fase gas. Dalam penelitiannya tentang mata air panas menunjukkan bahwa transportasi yang paling utama dari unsur – unsur adalah adanya air meteorik panas. Menurut Craig dan Vaughen (1981), emas terbentuk oleh pengendapan larutan hidrotermal serta mengisi di dalam sistem rekahan terbuka dan *fracture*. Selain itu endapan emas terbentuk pada tahap melemah (*waning*) dari vulkanisme disebabkan tidak hadirnya ubahan *parent intrusions dan extrusive hydrothermal*. Dalam endapan tersier endapan ini merupakan suatu sumber volkanik untuk *ore-bearing* hidrotermal. Terdapat dua tipe endapan logam mulia terutama yang berasal dari batuan volkanik tersier. Dua tipe utama yang dimaksud adalah tipe *acid-sulfate* dan tipe *adularia-sericite*. Kedua tipe ini kaya akan emas dan perak (Heald dan Hayba, 1987).

Magma – magma di level atas merupakan sumber emas dalam sistem emas epitermal yang berisi sulfur, yang diperlukan dalam proses transportasi emas (Henley dan Ellis, 1991). Kemampuan *degassing* magma yang terbentuk dengan semakin kuat mempengaruhi dalam menyuplai logam. Dari proses tersebut, beberapa mineral yang berada dalam level magma atas berupa adanya kubah klorit, dengan aliran hidrotermal kemudian digerakkan oleh sistem magma yang besar dan

dalam. Dalam proses tersebut, adanya konveksi air tanah yang berfungsi menyebarkan fluida magma. Permeabilitas yang tinggi mempengaruhi penyebaran yang sangat kuat sehingga menahan formasi dari suatu endapan bijih.

Terdapat dua jalur pendekatan yang biasanya digunakan untuk menetapkan sumber dari logam untuk mendapat bijih hidrotermal (Edwards dan Antikson, 1986). Langkah pertama dengan pengenalan asosiasi dari endapan bijih dari suatu litologi tertentu.

2.3.2 Struktur Geologi

Sesar atau patahan merupakan rekahan pada batuan yang mengalami pergeseran melalui bidang rekahannya. Selain itu merupakan patahan tunggal atau suatu zona pecahan pada kerak bumi bersamaan dengan terjadinya pergerakan yang cukup besar, paralel, dengan rekahan atau zona pecahan. Dalam suatu permukaan, sisi atau bidang yang bergeser melewati dinding lain akan mengakibatkan kerusakan atau bergesernya struktur batuan yang sebelumnya menerus tepat pada sesar. Oleh karena itu sesar merupakan proses bergesernya struktur batuan yang disebabkan oleh massa batuan yang slip satu sama lain di sepanjang bidang atau rekahan.

Sesar terdapat pada batuan yang paling keras dan kuat, seperti granit, dan pada batuan yang lebih lunak serta material bumi yang tidak seragam, seperti pasir dan lempung. Selain itu sesar memiliki ukuran lebar yang bervariasi, dari yang mikroskopik sampai ribuan kaki dan mencapai panjang lebih dari puluhan atau ratusan mil. Beberapa sesar berdimensi kontinen, memotong kerak dan memanjang sampai ke bawah mantel. Proses pergerakan sesar melibatkan pergerakan massa

material kerak sampai mil kubik. Tingkat sesar pada struktur kerak utama menghasilkan penampakan goresan pada topografi, seperti *fault scraps* dan *rift valleys*, dan khusus bentang darat (*landscape*) seperti pegunungan dan cekungan yang menghasilkan kompleksitas pada dataran geologi yang sederhana. Pergeseran Unit litologi ke dalam lingkungan anomali dan penyejajaran yang aneh, dan menghancurkan batuan alami dengan cara *crushing* dan *grinding*.

Suatu sesar dapat berupa bidang sesar (*fault plane*), atau rekahan tunggal. Sesar yang terjadi di daerah yang cukup dalam dengan kondisi temperatur dan tekanan tinggi akan berkembang menjadi sebagai jalur gerusan. Goresan kecil yang terjadi di permukaan biasanya mengalami penghalusan dan berupa lempung halus lunak dan lengket yang terbuat dari batuan dasar halus dan hancur berasal dari dinding membentuk ketebalan puluhan inci di sepanjang sesar. Pada saat pergerakan sesar membentuk panas serta friksi, material dari dinding mengalami *crush*, resegmentasi seperti leburan yang membentuk batuan gelas. Sepanjang sesar terbuka terdapat zona breksiasi yang merupakan fragmen dalam dinding – dinding. Ruang terbuka tersebut menyebabkan adanya sirkulasi air tanah dan terisi oleh material dasar yang lebih halus dan terisi oleh mineral seperti kuarsa atau kalsit hasil presipitasi dari sirkulasi air.

2.4 Alterasi Hidrotermal

Menurut Lindgren (1993) dalam Faeyumi (2012), menyatakan bahwa larutan hidrotermal adalah suatu cairan atau fluida yang panas, kemudian bergerak naik ke atas dengan membawa komponen- komponen mineral logam. Fluida ini merupakan larutan sisa yang dihasilkan pada saat proses pembekuan magma.

Alterasi dan mineralisasi adalah suatu bentuk perubahan komposisi pada batuan baik itu kimia, fisika ataupun mineralogi sebagai akibat pengaruh cairan hidrotermal pada batuan, perubahan yang terjadi dapat berupa rekristalisasi, penambahan mineral baru, larutnya mineral yang telah ada, penyusunan kembali komponen kimia atau perubahan sifat fisik seperti permeabilitas dan porositas batuan (Pirajno,1992).

Alterasi dan mineralisasi bisa juga termasuk dalam proses pergantian unsur-unsur tertentu dari mineral yang ada di batuan dinding digantikan oleh unsur lain yang berasal dari larutan hidrotermal sehingga menjadi lebih stabil. Proses ini berlangsung dengan cara pertukaran ion dan tidak melalui proses pelarutan total, artinya tidak semua unsur penyusun mineral yang digantikan melainkan hanya unsur- unsur tertentu saja.

2.4.1 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur, dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya. Perubahan tersebut akan bergantung pada karakter batuan dinding, karakter fluida (Eh, pH), kondisi tekanan maupun temperatur pada saat reaksi berlangsung, konsentrasi, serta lama aktifitas hidrotermal. Walaupun faktor–faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal.

Menurut Corbett dan Leach (1997), dalam Faeyumi (2012), faktor yang mempengaruhi proses alterasi hidrotermal adalah sebagai berikut :

- a) Temperatur dan Tekanan

Peningkatan suhu membentuk mineral yang terhidrasi lebih stabil, suhu juga berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas mineral. Pada saat suhu yang lebih tinggi akan membentuk suatu mineral menjadi lebih kristalin, kondisi suhu dengan tekanan dapat dideterminasi berdasarkan tipe alterasi yang terbentuk. Temperatur dan tekanan juga berpengaruh terhadap kemampuan larutan hidrotermal untuk bergerak, bereaksi dan berdifusi, melarutkan serta membawa bahan-bahan yang akan bereaksi dengan batuan sampling.

b) Permeabilitas

Permeabilitas akan menjadi lebih besar pada kondisi batuan yang terekahkan serta pada batuan yang berpermeabilitas tinggi. Hal tersebut akan mempermudah pergerakan fluida. Selanjutnya akan memperbanyak kontak reaksi antara fluida dengan batuan.

c) Komposisi kimia dan konsentrasi larutan hidrotermal

Komposisi kimia dan konsentrasi larutan panas yang bergerak, bereaksi dan berdifusi memiliki pH yang berbeda-beda. Sehingga banyak mengandung klorida dan sulfida. Konsentrasi yang encer memudahkan untuk bergerak.

d) Komposisi batuan sampling

Komposisi batuan sampling sangat berpengaruh terhadap penerimaan bahan larutan hidrotermal sehingga memungkinkan terjadinya alterasi. Pada saat kesetimbangan tertentu, proses hidrotemal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral (*mineral assemblage*) (Corbett & Leach, 1997). Secara umum himpunan mineral tertentu akan mencerminkan tipe alterasinya.

2.4.2 Tipe Endapan Hidrotermal

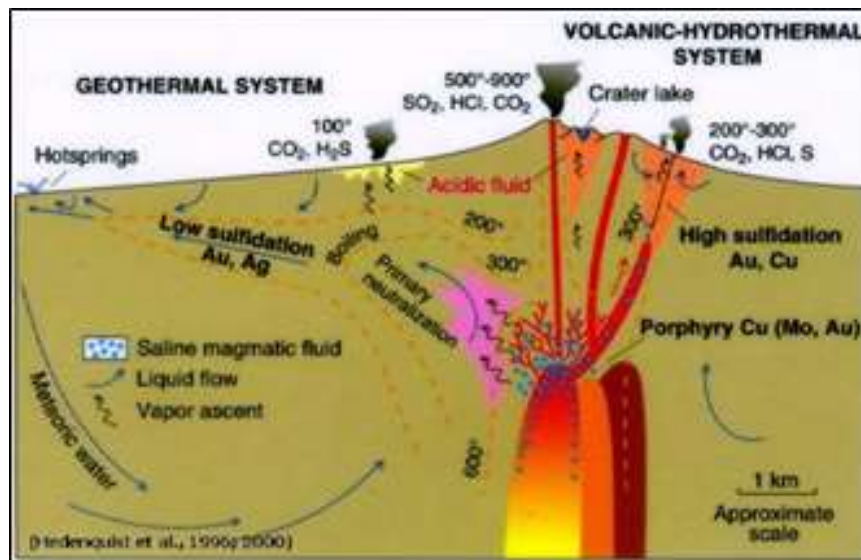
Berdasarkan jauh dekat terjadinya proses alterasi hidrotermal, serta temperatur dan tekanan pada saat terbentuknya mineral-mineral, Lindgren (1993) dalam Faeyumi (2012), membagi tiga golongan alterasi hidrotermal, yaitu :

- a. Endapan Hipotermal dengan ciri sebagai berikut :
 - Endapan edalaman yang besar.
 - “*Wall Rock* berasosiasi dengan *dike* (korok) atau *veint* (urat) dengan k
 - *Alteration*”, dicirikan oleh adanya *replacement* yang kuat dengan asosiasi mineral : albit, biotit, kalsit, pirit, kalkopirit, kasiterit, emas, hornblende, plagioklas, dan kuarsa.
 - Asosiasi mineral sulfida dan oksida pada intrusi granit sering diikuti pembentukan mineral logam, yaitu : Au, Pb, Sn, dan Zn.
 - Tekanan dan temperatur relatif paling tinggi yaitu 500°C – 600°C
 - Merupakan jebakan hidrotermal paling dalam
- b. Endapan mesotermal mempunyai ciri-ciri :
 - Endapan berupa “*cavity filling*” dan kadang-kadang mengalami proses *replacement* dan pengayaan.
 - Asosiasi mineral : klorit, emas, serisit, kalsit, pirit, kuarsa.
 - Asosiasi mineral sulfida dan oksida batuan beku asam dan batuan beku basa dekat dengan permukaan.
 - Tekanan dan temperatur medium, yaitu : 300°C – 372°C.
 - Terletak di atas hipotermal.
- c. Endapan epitermal

Endapan bijih epitermal merupakan endapan yang terbentuk di lingkungan hidrotermal dekat permukaan, mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah berasosiasi dengan kegiatan magmatisme kalk-alkali yang sering kali endapannya dijumpai di dalam produk vulkanik (sedimen vulkanik). Endapan epitermal sering juga disebut endapan urat, *stockwork*, *hot spring*, *volcanic hosted* dan lain-lain. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan parameter yang digunakan dalam menggolongkan endapan mineral. Ciri-ciri endapan epitermal menurut (Lindgren, 1933) berdasarkan parameter kedalaman, temperatur, pembentukan, zona bijih, logam bijih, mineral bijih, mineral penyerta, ubahan batuan sampling, tekstur dan struktur serta zonasi. Dapat dilihat pada tabel 2.1.

Menurut (White dan Hedesquist, 1996) berdasarkan kondisi fluida, alterasi, tekstur dan mineralogi, endapan epitermal dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu endapan epitermal sulfida rendah dan tinggi (lihat pada gambar 2.1). Batasan kedua istilah tersebut di dasarkan pada bilangan redoks (*reduksi-oksidasi*) unsur S (Sulfur) dalam larutan mineralisasi. Unsur S dalam sistem hidrotemal yang mendekati PH netral umumnya memiliki bilangan redoks terendah -2 (misalnya senyawa H₂S), kondisi ini diistilahkan sebagai sulfidasi rendah. Istilah sulfida tinggi digunakan untuk unsur S dalam hidrotermal vulkanik yang mempunyai bilangan redoks mendekati +4 (misalnya senyawa SO₂). Sistem epitermal sulfida rendah, larutan magmatik yang didominasi gas H₂S direduksi pada saat bereaksi dengan batuan sampling (*wall rock*) sehingga terjadi pengenceran akibat adanya sirkulasi larutan meteorik (air hujan). Kondisi ini sulfur hadir dengan bilangan oksidasi -2 yang didominasi H₂S, sehingga diistilahkan sebagai sulfida rendah. Di bawah kondisi

reduksi yang cukup tinggi ini sulfida hanya hadir sebagai sulfur sekunder. Ciri-ciri endapan epitermal dilihat berdasarkan parameter tatanan tektonik, kontrol struktur regional, kontrol struktur lokal, pola mineralisasi, tekstur mineralisasi, dimensi endapan, *host rock*, hubungan waktu, asosiasi geokimia, mineral bijih, logam yang diproduksi, sosiasi mineral ubahan, ubahan batuan sampling, temperatur pengendapan bijih, sifat larutan, kedalaman pengendapan dan sumber sulfida (White & Hedenquist, 1996).



Gambar 2.1 Skema Pembentukan Endapan Epitermal (White & Hedenquist, 1996)

2.4.3 Mineralisasi

Menurut Lindgren (1993), dalam Faeyumi (2012), secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, meliputi :

- Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.
- Zonalemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal.
- Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal.
- Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan

hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*).

- e. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Menurut Lindgren (1933), dalam Faeyumi (2012) faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral - mineral logam (khususnya emas) pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya :

- a. Proses diferensiasi, yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit.
- b. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pangkayaan dari magma. Pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO₂, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik, senyawa antimon, selenida dan telurida. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang terbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

Tabel 2.1 Ciri- Ciri Umum Endapan Epitermal (Lindgren, 1933)

Parameter	Ciri – Ciri
Kedalaman	Sampai 1500 m
Temperatur	50 - 300 °C
Pembentukan	Pada batuan sedimen atau batuan beku, terutama berasosiasi dengan batuan intrusi dekat permukaan atau ekstrusi dan biasanya disertai dengan adanya sesar turun dan kekar.
Zona Bijih.	Urat – urat yang simpel, pembentukan kantong – kantong bijih tidak beraturan, jarang terbentuk sepanjang lapisan permukaan.
Logam Bijih	Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U
Mineral Bijih	Native, Au, Ag, elektrum, Cu, Bi, Pirit, Markasit, Sfalerit, Galena, Kalkopirit, Silver, Argentit, Selenides.
Mineral Penyerta (<i>gangue</i>)	Kuarsa, Serisit, Klorit rendah, Fe, Epidot, Karbonat, Flourit, Barit, Adularia, Alunit, Dickit, Illit/Smectit, dan Zeolit.
Ubahan Batuan Samping	Silisifikasi, Kaolinisasi, Piritisasi, Dolomitisasi, dan Kloritisasi.
Tekstur dan Struktur	Crustification (banding), sangat umum sering sebagai fine banding, cockade, vugs, urat terbreksikan. Ukuran butir (kristal) sangat bervariasi .

2.4.4 Pembagian Zona Alterasi

Menurut Corbett & Leach (1997), dalam Faeyumi (2012) pada alterasi hidrotermal dapat dibagi menjadi 6 zonasi ubahan, yaitu:

a. Potasik

Mineral utama dalam alterasi ini berupa potash feldspar sekunder & biotit sekunder, serta aktinolit dan klinopiroksen.

b. Silisik

Zona alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral dari kelompok silika yang stabil pada $\text{pH} < 2$. Kuarsa akan terbentuk pada suhu tinggi sedangkan pada suhu rendah ($< 10000 \text{ C}$) akan terbentuk opal silika, kristobalit, tridimit, pada suhu menengah (1000-20000 C) akan terbentuk kalsedon.

c. Filik

Dicirikan oleh serisitisasi hampir seluruh mineral silikat, kecuali kuarsa. Plagioklas feldspar tergantikan oleh serisit dan kuarsa halus. K-Feldspar magmatik juga mengalami serisitisasi tapi lebih kecil intensitasnya dari plagioklas.

d. Argilik Lanjut (*Advanced Argilic*)

Alterasi ini terbentuk dari hasil pencucian alkali dan kalsium dari fase alumina seperti feldspar dan mika, tetapi hanya hadir jika aluminium tidak bersifat mobile, apalagi aluminium bergerak lagi diikuti dengan bertambahnya serisit dan terjadi alterasi serisit. Alterasi *advanced argilic* ini dicirikan oleh hadirnya mineral yang terbentuk pada kondisi asam terutama kaolinit, dickit, piropilit, diaspor, alunit, jarosit dan zunyit. Perlu dibedakan antara alterasi hipogen dan supergen. Alterasi *advanced argilic*

hipogen terbentuk hasil kondensasi gas alam (terutama gas HCl) dan ketidakseimbangan SO₂ dalam membentuk asam sulfur dan hidrogen sulfida. Alterasi *advanced argilic* supergen dapat terbentuk dalam dua macam, pertama terbentuk oleh kondensasi gas hasil pendidihan fluida hidrotermal yang membentuk air tanah yang teroksidasi. Oksidasi oleh atmosfer mengubah H₂S membentuk asam sulfur yang akan merombak silikat dan akan membentuk kaolinit dan alunit. Pada proses ikatan silikat terlepas akan membentuk desposit (dengan alunit) sebagai layer silikaan pada permukaan air tanah. Erosi yang datang kemudian membentuk layer silikaan yang berasal dari kaolinit dan membentuk silika cap. Kedua alterasi ini terbentuk oleh pelapukan batuan kaya sulfida, oksida sulfida membentuk asam sulfur yang merusak batuan kemudian membentuk kaolinit & alunit.

e. Argilik

Jenis alterasi ini dicirikan dengan kehadiran anggota dari kaolin (Halloysit, kaolinit dan dickit) dan illit (smektit, interlayer, illit-smektit, illit), serta asosiasi mineral transisi yang terbentuk pada pH menengah dan suhu rendah. Kelompok dari mineral temperatur rendah-transisi yaitu kelompok klorit-illit juga hadir.

f. Propilitik

Jenis alterasi ini umumnya dicirikan oleh kehadiran mineral klorit – epidot – aktinolit. Alterasi ini mempunyai penyebaran yang terluas dan kaitannya secara langsung dengan mineralisasi sangat kecil. Kristal plagioklas mengalami argilitisasi dengan intensitas kecil, biotit mengalami perubahan

menjadi klorit dengan atau tanpa karbonat.

2.5 Dasar Teori

2.5.1 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh atau *remote sensing* adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang objek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah ataupun fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer,1979).

Alat yang dimaksud dalam pengertian diatas adalah alat pengindra atau sensor. Pada umumnya sensor dibawa oleh wahana baik berupa pesawat, balon udara, satelit maupun jenis wahana yang lainnya (Sutanto,1987). Hasil perekaman oleh alat yang dibawa oleh suatu wahana ini selanjutnya disebut sebagai data penginderaan jauh.

Lindgren (1985 dalam Sutanto, 1987) mengungkapkan bahwa penginderaan jauh adalah berbagai teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis informasi tentang bumi, informasi ini khusus berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Dari pendapat beberapa ahli di atas dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh terdiri atas 3 komponen utama yaitu objek yang diindera, sensor untuk merekam objek dan gelombang elektronik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Interaksi dari ketiga komponen ini menghasilkan data penginderaan jauh yang selanjutnya melalui proses interpretasi dapat diketahui jenis objek area ataupun fenomena yang ada.

Beberapa contoh manfaat dalam aplikasi penginderaan jauh adalah:

1. Identifikasi penutupan lahan
2. Identifikasi dan monitoring pola perubahan lahan
3. Manajemen dan perencanaan wilayah
4. Manajemen sumber daya hutan
5. Eksplorasi mineral
6. Pertanian dan perkebunan
7. Manajemen sumber daya air
8. Manajemen sumber daya laut

Secara umum dapat dikatakan bahwa penginderaan jauh dapat berperan dalam mengurangi secara signifikan kegiatan survei terestrial dalam inventarisasi dan monitoring sumberdaya alam. Kegiatan survei terestris dengan adanya teknologi ini hanya dilakukan untuk membuktikan suatu jenis obyek atau fenomena yang ada dilapangan untuk disesuaikan dengan hasil analisa data.

Berdasarkan panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan, sistem dalam penginderaan jauh dapat dibedakan menjadi (Soenarmo, 1994):

- a. Penginderaan jauh visibel dan inframerah, sumber energi yang digunakan adalah matahari dengan puncak radiasinya 0,5 μm . Data yang diperoleh tergantung pada kemampuan target merefleksikan radiasi elektromagnetik matahari. Selanjutnya informasi mengenai target dapat diperoleh melalui spektrum refleksinya.
- b. Penginderaan jauh inframerah termal, sumber energi yang digunakan adalah energi radiasi dari target yang bersangkutan. Dasarnya adalah, seperti telah

dibahas sebelumnya mengenai sifat radiasi elektromagnetik, bahwa semua benda pada temperatur di atas 0°K atau -273°C memancarkan radiasi elektromagnetik terus-menerus dengan puncak radiasi $\pm 10 \mu\text{m}$.

- c. Penginderaan jauh gelombang pendek, sistem penginderaan jauh ini memiliki dua tipe yaitu pasif dan aktif.

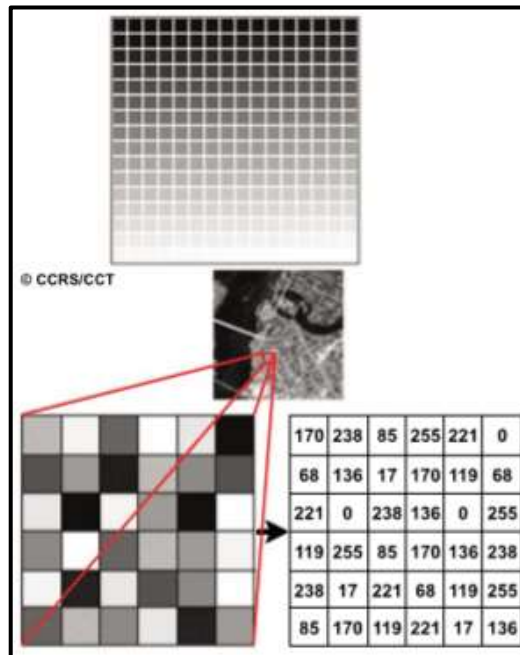
2.5.2 Citra

Citra (*image* atau *scene*) merupakan representasi dua dimensi dari suatu objek di dunia nyata. Dalam penginderaan jauh, citra merupakan gambaran bagian permukaan bumi sebagaimana terlihat dari ruang angkasa (satelit) atau dari udara (Eddy Prahasta, 2008). Citra dapat diimplementasikan dalam dua bentuk yaitu analog dan digital. Salah satu bentuk citra analog adalah foto udara atau peta foto, sedangkan satelit yang merupakan data hasil rekaman sistem sensor merupakan bentuk citra digital.

a. Piksel

Piksel adalah sebuah titik yang merupakan elemen paling kecil pada citra satelit. Angka numerik (1 *byte*) dari piksel disebut *digital number* (DN). DN bisa ditampilkan dalam warna kelabu, berkisar antara putih dan hitam (*gray scale*), tergantung level energi yang terdeteksi. Piksel yang disusun dalam order yang benar akan membentuk sebuah citra.

Kebanyakan citra satelit yang belum diproses disimpan dalam bentuk *gray scale*, yang merupakan skala warna dari hitam ke putih dengan derajat keabuan yang bervariasi. Untuk penginderaan jauh, skala yang dipakai adalah 256 *shade gray scale*, dimana nilai 0 menggambarkan hitam, nilai 255 putih.



Gambar 2.3 Derajat keabuan dan hubungan antara DN dan derajat keabuan yang menyusun sebuah citra

b. Kontras

Kontras adalah perbedaan antara kecerahan relatif antara sebuah benda dengan sekelilingnya pada citra. Sebuah bentuk tertentu mudah terdeteksi apabila pada sebuah citra kontras antara bentuk tersebut dengan latar belakangnya tinggi. Teknik pengolahan citra bisa dipakai untuk mempertajam kontras.

Citra sebagai dataset bisa dimanipulasi menggunakan algoritma (persamaan matematis). Manipulasi bisa merupakan pengkoreksian kesalahan, pemetaan kembali data terhadap suatu referensi geografi tertentu, ataupun mengekstrak informasi yang tidak langsung terlihat dari data. Data dari dua citra atau lebih pada lokasi yang sama bisa dikombinasikan secara matematis untuk membuat komposit dari beberapa dataset. Produk data ini, disebut *derived products*, bisa dihasilkan dengan beberapa penghitungan matematis atas data numerik mentah (DN)

a. Resolusi

Resolusi dari sebuah citra adalah karakteristik yang menunjukkan level kedetailan yang dimiliki oleh sebuah citra. Resolusi didefinisikan sebagai area dari permukaan bumi yang diwakili oleh sebuah piksel sebagai elemen terkecil dari sebuah citra. Pada citra satelit pemantau cuaca yang mempunyai resolusi 1 km, masing-masing piksel mewakili rata-rata nilai brightness dari sebuah area berukuran 1x1 km. Bentuk yang lebih kecil dari 1 km susah dikenali melalui image dengan resolusi 1 km. Landsat 7 menghasilkan citra dengan resolusi 30 meter, sehingga jauh lebih banyak detail yang bisa dilihat dibandingkan pada citra satelit dengan resolusi 1 km. Resolusi adalah hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam rangka pemilihan citra yang akan digunakan terutama dalam hal aplikasi, waktu, biaya, ketersediaan citra dan fasilitas komputasi.

2.5.3 Citra Sentinel

Sentinel-2 merupakan satelit yang diluncurkan oleh kerjasama antara *The European Commission* dan *European Space Agency* di dalam program *Global Monitoring for Environment and Security*(GMES). Satelit ini diluncurkan untuk memantau kondisi permukaan bumi, sehingga mampu memberikan informasi kondisi terkini bumi dari angkasa untuk aplikasi lingkungan dan keamanan. Sentinel-2 dibuat dengan tujuan untuk memastikan kelanjutan misi Landsat 5/7, SPOT-5, SPOT-Vegetation dan Envisat MERIS yang sebentar lagi akan berakhir masa operasinya. Misi dalam menyediakan citra satelit beresolusi spasial dan temporal yang tinggi sehingga pengguna masih dapat memperoleh data penginderaan permukaan bumi terbaru (Verrelst *et al.*, 2012).

Global Monitoring for Environment and Security merupakan inisiatif dari *European Commission* yang dirancang untuk membuktikan kemampuan dan kapasitas Eropa dalam penyediaan dan penggunaan informasi pemantauan operasional untuk aplikasi lingkungan dan keamanan. Kapasitas ini terdiri dari tiga modul yang merupakan sistem fungsional GMES (Drusch *et al.*, 2012):

Satelit Sentinel-2 memiliki misi menggabungkan kemampuan SPOT dan Landsat untuk memindai permukaan bumi yaitu

1. Cakupan daratan global yang sistematis dari 56°LS hingga 84°LU termasuk perairan pesisir, laut Mediterania, dan Antartika
2. Resolusi temporal tinggi yaitu setiap 5 hari di khatulistiwa dengan kondisi penampakan yang sama
3. Multiresolusi spasial yaitu 10 m, 20 m, dan 60 m
4. 13 kanal multispektral termasuk VNIR dan SWIR
5. Bidang pandang yang luas yaitu 290 km.

Satelit Sentinel-2 terdiri dari 2 satelit kembar yang memindai permukaan bumi secara simultan pada sudut 180° tiap satelitnya (Gambar 2). Orbit satelit ini *Sun-synchronous* pada ketinggian 786 km dengan inklinasi 98,62° dan mengindai pada pukul 10:30 AM *Local Time Descending Node* (LTDN). Waktu lokal ini dipilih sebagai kompromi terbaik antara kebutuhan data dengan tutupan awan yang minimal dan untuk memastikan pencahayaan matahari yang sesuai. (Drusch *et al.*, 2012; European Space Agency, 2015).

Tabel 2.2 Parameter Orbit Satelit Sentinel 2

Parameter	Keterangan
Orbit	<i>Sun synchronous, descending</i>
Sumbu semi-major	7078 km
Akuisisi Data	17 Maret 2021
Waktu Lintas (Lokal)	10.30 ± menit
Kisaran ketinggian	786 km (705 km pada ekuator)
Inklinasi	98,62°
<i>Repeat cycle</i>	10 hari
Jarak antara orbit yang berdekatan	172 km
Periode Orbit	100,6 menit

Kanal Satelit Sentinel-2 dibuat dengan mengacu pada kanal-kanal yang terdapat pada SPOT dan Landsat. Perubahan lebar kanal dan penambahan kanal dilakukan pada Sentinel-2 untuk menyempurnakan performa dalam observasi bumi. Cakupan spektrum tiap kanal dan resolusi spasial dari Sentinel2, SPOT, dan Landsat.

Tiga belas kanal yang dipasang pada satelit Sentinel-2 memiliki karakteristik tersendiri. Empat kanal dengan resolusi spasial 10 m memastikan kesesuaian dengan SPOT 4/5 dan memenuhi persyaratan pengguna untuk klasifikasi tutupan lahan. Resolusi spasial 20 m yang dimiliki oleh 6 kanal menjadi persyaratan untuk parameter pengolahan level 2 lainnya. Kanal dengan resolusi spasial 60 m dikhususkan untuk koreksi atmosfer dan penyaringan awan (443 nm untuk aerosol, 940 nm untuk uap air, dan 1375 untuk deteksi awan tipis). Resolusi sebesar 60 m dianggap cukup untuk menangkap variabilitas spasial parameter geofisika atmosfer (Drusch *et al.*, 2012).

Tabel 2.3 Karakteristik Band Sentinel 2A

Band	Resolution	Central Wavelength	Description
B1	60 m	443 nm	Ultra blue (Coastal and Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Blue
B3	10 m	560 nm	Green
B4	10 m	665 nm	Red
B5	20 m	705 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Short Wave Infrared (SWIR)

Tabel 2.4 Band ratio for different data sets (J. Cardoso-Fernandes et al, 2019)

Band Ratios	Features
4/2	Iron Oxides
11/12	Allunite and Clay Mineral
11/8	Ferrous Mineral
5/7	Silicates
8-4/8+4	NVDI
8-4	Vegetation

2.5.4 Fuzzy Logic

Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan pertama kali oleh Zadeh (1993). Konsep *Fuzzy Logic* merupakan pengembangan dari logika Boolean/Klasik, dimana logika Boolean menyatakan bahwa segala hal diekspresikan dalam istilah binari (seperti : 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). *Fuzzy Logic* menyatakan segala hal

diekspresikan dalam istilah derajat keanggotaan (seperti; antara 0 hingga 1, “tingkat keabuan”, “hitam” dan “putih”, “sedikit”, “lumayan” dan “sangat”). Misalkan A adalah sebuah himpunan *Fuzzy*, maka Formulasi dari A (Zadeh,1993) : $\mathbf{A} = \{(\mathbf{x}, \mu_{\mathbf{A}}(\mathbf{x})|\mathbf{x} \in \mathbf{X})\}$

2.5.4.1 Konsep Pengolahan Fuzzy Logic

Metode ini merupakan metode konseptual yang digunakan untuk mengintegrasikan data spasial ke dalam peta potensi mineralisasi. Integrasi data dilakukan dengan menggunakan utiliti Arc - SDM dalam *Spatial Data Modeller* yaitu utiliti tambahan yang terdapat di *software Arc Gis*. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah memberikan nilai *fuzzy membership* untuk setiap atribut yang terdapat pada data set berdasarkan konsep suatu permasalahan atau topik.

2.5.4.2 Jenis-Jenis Membership Fuzzy Logic

a) Fuzzy Small

Fuzzy Small merupakan salah satu fungsi dalam *Fuzzy Logic*, fungsi ini memiliki konsep bahwa untuk memetakan sesuatu. Jika sesuatu semakin dekat atau mendekati dengan objek yang dimaksud maka akan menghasilkan nilai *fuzzy* semakin tinggi. Seperti halnya jarak. Dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$

Keterangan $\mu(x)$ = Nilai Anggota *Fuzzy*

X = Data mentah

f_1 = Nilai sebaran

f_2 = Nilai Tengah Dari Data Mentah

b) Fuzzy Large

Fuzzy Large merupakan fungsi kebalikan dari *Fuzzy Small*. Dalam fungsi ini memiliki konsep untuk memetakan data yang berurutan. Semakin besar suatu nilai data maka nilai *fuzzy* akan mendekati 1. Sebaliknya semakin kecil nilai data, maka akan menghasilkan nilai *fuzzy* yang semakin kecil. Dapat dilihat persamaannya di bawah ini:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}}$$

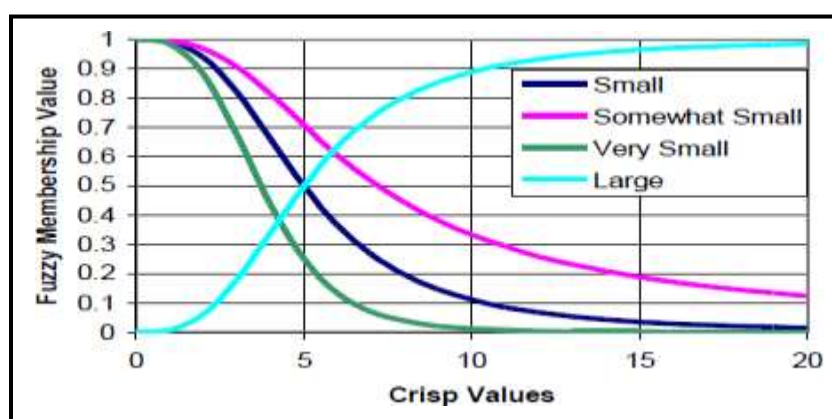
Keterangan

$\mu(x)$ = Nilai Anggota *Fuzzy*

x = Data Mentah

- f_1 = Nilai Sebaran

f_2 = Nilai Tengah Dari Data Mentah



Gambar 2.2 Grafik Fungsi Fuzzy Small dan Fuzzy Large (Zadeh, 1993)

2.5.4.3 Jenis – Jenis Operator Fuzzy Logic

Berdasarkan pada teori klasik, anggota sebuah objek dalam suatu kumpulan

objek hanya dapat dinyatakan sebagai nilai nol dan satu. Sedangkan pada teori kumpulan *fuzzy* dinyatakan bahwa suatu kumpulan *fuzzy* digambarkan sebagai subkumpulan objek dimana anggota dalam suatu kumpulan objek merupakan nilai kisaran nol dan satu (Zadeh, 1993). Kumpulan *fuzzy* ditentukan oleh rata-rata fungsi anggota seperti persamaan di bawah ini:

$$\mu_a(x): X \rightarrow \{0,1\}$$

Keterangan:

$\mu_a(x)$: Prediksi anggota *Fuzzy* x dari keseluruhan ke dalam interval $\{0,1\}$.

Dalam SIG nilai *fuzzy* yang digambarkan sebagai kriteria eksplorasi dapat dikombinasikan atau diintegrasikan dengan menggunakan operator *fuzzy logic* diantaranya:

a. Operator *Fuzzy AND*

Operator *fuzzy AND* ini merupakan operator yang menghasilkan nilai anggota *fuzzy* terkecil (minimum) dari beberapa data input. Operator *fuzzy AND* dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \text{MIN} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

Keterangan:

μ_A = Nilai anggota *fuzzy* untuk variabel A pada lokasi tertentu

μ_B = Nilai anggota *fuzzy* untuk variabel A, dan seterusnya.

Operator pertama yaitu operator *fuzzy AND* untuk menggabungkan data ubahan (zona alterasi).

b. Operator *Fuzzy OR*

Operator *fuzzy* ini menghasilkan nilai anggota *fuzzy* maksimum dari beberapa data input untuk menghasilkan lokasi tertentu. *Fuzzy OR* dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \text{MAX} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

Operator ini secara efektif dalam menghasilkan pemetaan potensi suatu objek (mineral) ketika indikasi mineralisasi sangat jarang dan indikator positif salah satu faktor cukup untuk mewakili prospektivitas.

c. Operator *Fuzzy Algebraic Product*

Operator ini didefinisikan sebagai hasil dari keseluruhan dari nilai anggota *fuzzy* pada lokasi tertentu yang dirumuskan di bawah ini: n

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \prod \mu_i$$

Keterangan:

μ_i = nilai anggota *fuzzy* untuk variabel ke-i (i= 1, 2, 3,.....)

Dalam pengkombinasian nilai anggota *fuzzy* cenderung menghasilkan nilai yang lebih kecil, sehingga perkalian dari beberapa angka yang menghasilkan kurang dari 1. Sedangkan output selalu lebih kecil atau sama dengan kontribusi terkecil dari nilai anggota *fuzzy* yang disebut penurunan (*decreasing*).

d. Operator *Fuzzy Algebraic Sum*

Operator ini akan menghasilkan nilai yang selalu lebih besar atau sama dengan nilai anggota *fuzzy* terbesar. Hal tersebut disebut Peningkatan (*increasing*). Operasi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

e. Operator *Fuzzy Gamma*

Operator *fuzzy gamma* merupakan kombinasi antara *Operator Fuzzy Algebraic Product* dan *Fuzzy Algebraic Sum*. Kegunaan dari *fuzzy gamma* berlaku ketika satu atau lebih kumpulan data menunjukkan kemungkinan terbesar dan yang lain menunjukkan terkecil. Gabungan keduanya akan menghasilkan kemungkinan pada suatu tempat diantara kedua kemungkinan tersebut, yang dikontrol oleh besarnya parameter *gamma* yang digunakan.

$$\mu_{\text{kombinasi}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^\gamma \times (\text{Fuzzy Algebraic Product})^\gamma \quad (2.6.9)$$

Keterangan:

γ = parameter *gamma* dalam range $\{0,1\}$.

Jika nilai γ sama dengan satu, maka kombinasi sama dengan *Fuzzy Algebraic Sum* dan ketika nilai γ sama dengan nol, maka kombinasi sama dengan *Fuzzy Algebraic Product*. Nilai parameter *gamma* dapat digunakan untuk menyeimbangkan efek “*increasive*” dan “*decreasive*” .