

SKRIPSI

ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR UNSUR TANAH JARANG (*REE*) DENGAN METODE *POLYGON EXTENDED AREA*

(STUDI KASUS: DAERAH KELAPA TUJUH DAN PASADA, KECAMATAN MAMUJU DAN SIMBORO,
KABUPATEN MAMUJU, PROVINSI SULAWESI SELATAN)

Disusun dan diajukan oleh

IRIANTO MUHTADI NUR TASLIM

D62115316



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR UNSUR TANAH JARANG (REE)
DENGAN METODE *POLYGON EXTENDED AREA***

(STUDI KASUS: DAERAH KELAPA TUJUH DAN PASADA, KECAMATAN MAMUJU DAN
SIMBORO, KABUPATEN MAMUJU, PROVINSI SULAWESI SELATAN)

Disusun dan diajukan oleh

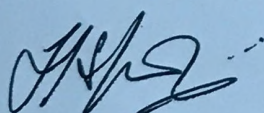
IRIANTO MUHTADI NUR TASLIM

D62115316

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 16 September 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

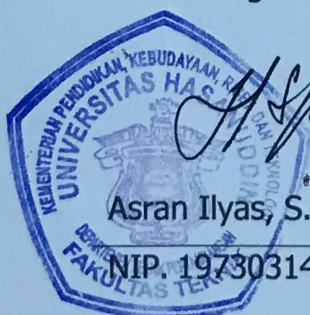
Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.

NIP. 196604091997031002

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irianto Muhtadi Nur Taslim
NIM : D62115316
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR UNSUR TANAH JARANG (*REE*)
DENGAN METODE *POLYGON EXTENDED AREA*

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Gowa, 16 September 2022

Yang menyatakan



Irianto Muhtadi Nur Taslim

ABSTRAK

Unsur tanah jarang (*REE*) sesuai namanya merupakan unsur yang sangat langka atau keterdapatannya sangat sedikit, umumnya senyawa kompleks fosfat dan karbonat. Estimasi sumberdaya merupakan hal yang sangat penting dilakukan sebelum dilakukannya aktivitas penambangan. Karena hasil dari estimasi inilah yang akan dievaluasi untuk menentukan ke proses selanjutnya yaitu, perhitungan cadangan. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian estimasi sumberdaya terukur unsur tanah jarang menggunakan metode *polygon extended area* untuk mengetahui tonase unsur tanah jarang pada daerah penelitian. Pada studi ini, estimasi sumberdaya menggunakan metode *polygon extended area*. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh tonase *LREE* pada blok pasada dan kelapa tujuh lebih banyak dibandingkan dengan tonase *HREE*. Total tonase *HREE* dan *LREE* pada blok pasada adalah sebesar 111,20 ton dan 1.551,27 ton. Total tonase *HREE* dan *LREE* pada blok kelapa tujuh adalah sebesar 52,15 ton dan 915,43 ton.

Kata Kunci: Sumberdaya terukur; *REE*; *polygon extended area*; tonase.

ABSTRACT

Rare earth elements (REE) as the name implies are very rare elements or their presence is very small, generally complex compounds of phosphates and carbonates. Resource estimation is a very important thing to do before mining activities are carried out, because the results of this estimate will be evaluated to determine the next process, namely the calculation of reserves. Based on this, a study to estimate measured resources of rare earth elements was carried out using the extended area polygon method to determine the tonnage of rare earth elements in the study area. In this study, resource estimation uses the extended area polygon method. Based on the results of the analysis, the tonnage of LREE in Pasada and Kelapa Tujuh block was higher than HREE tonnage. The total tonnage of HREE and LREE in the pasada block is 111.20 tons and 1,551.27 tons, respectively. The total tonnage of HREE and LREE in the Kelapa Tujuh block is 52.15 tons and 915.43 tons, respectively.

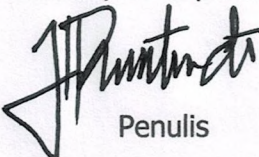
Keywords: Measured resources; REE; polygon extended area; tonnage.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas hidayah Allah SWT yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir berjudul "Estimasi Sumberdaya Terukur Unsur Tanah Jarang (*REE*) dengan Metode *Polygon Extended area*". Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW sang pemimpin dan sang revolusioner yang telah memimpin umat manusia menuju zaman yang lebih cemerlang.

Penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada, Asran Ilyas, ST. MT. Ph. D. dan bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., ST., MT selaku dosen pembimbing di Laboratorium Eksplorasi Mineral, Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah mendidik dan mengasuh penulis selama proses penyusunan tugas akhir, Bapak Dr.Eng. Purwanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Keluarga, Ibu dan Ayah tercinta serta saudara-saudari tersayang yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta motivasi untuk penulis. Teman-teman seperjuangan, Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2015 (*Stability 2015*), serta seluruh anggota Laboratorium Eksplorasi Tambang. Kesempurnaan itu hanya milik Allah SWT, jikalau ada kesalahan itu semata-mata dari penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi peningkatan ilmu pengetahuan dan demi penyempurnaan skripsi ini.

Makassar, 16 September 2022



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian	3
1.6 Tahapan Penelitian	3
BAB II UNSUR TANAH JARANG (<i>RARE EARTH ELEMENT</i>)	5
2.1 Geologi Regional	5
2.2 Geologi Lokal	11
2.3 <i>Rare Earth Elements (REE)</i>	17
2.4 Genesa unsur tanah jarang (<i>REE</i>) di Indonesia	22
2.5 Keterdapatn Unsur Tanah Jarang di Mamuju	25

2.6	Klasifikasi Sumberdaya Mineral	26
2.7	Estimasi Sumberdaya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1	Sumber Data	30
3.2	Pengolahan Data.....	31
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR UNSUR TANAH JARANG.....		35
4.1	Estimasi Tonase Sumberdaya	35
4.2	Menghitung Kadar Rata-rata Komposit <i>REE</i>	40
4.3	Estimasi Tonase <i>REE</i> dengan Metode <i>Polygon Extended area</i>	42
BAB V KESIMPULAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.1	Peta tunjuk lokasi penelitian	3
2.1	Geologi regional Pulau Sulawesi (Kadariusman, et al., 2004).....	5
2.2	Peta geomorfologi Sulawesi Barat (Indrastomo, et al., 2015).....	6
2.3	Peta Geologi regional daerah Penelitian (Indrastomo, et al., 2015)	9
2.4	Peta Geomorfologi wilayah IUP PT. Suryamica	11
2.5	Peta Geologi Lokal wilayah IUP Suryamica	12
2.6	Singkapan Sedimen Vulkanoklastik dengan komposisi fragmen, matriks dan semen berupa mineral mafik dan leucit (a), Lava Basalt/Mafik (Trakit) (b), serta Intrusi Dangkal (Trakit) produk dari Formasi Adang (c)	13
2.7	Singkapan batugamping terumbu (a) dan Singkapan batugamping fragmental (b).....	14
2.8	Model endapan laterit zona Pasada (A) dan zona Kelapa Tujuh (B)	16
2.9	Tabel Periodik Unsur.....	17
2.10	Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (SNI, 2019).....	28
2.11	Estimasi Sumberdaya dengan metode <i>polygon</i> (Hartman, 1992).....	29
3.1	Perhitungan konsentrasi rata-rata <i>REE</i> menggunakan software Microsoft excel	31
3.2	Bagan alir penelitian	34
4.1	Penentuan <i>polygon</i> pada titik bor pada blok pasada	35
4.2	Penentuan <i>polygon</i> pada titik bor pada blok kelapa tujuh.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Karakteristik unsur tanah jarang (Walters et al., 2011)	18
2.2	Kegunaan Unsur Tanah Jarang (M. O'Driscoll, 1988)	20
2.3	Penggunaan unsur tanah jarang (Weng et al., 2015).....	22
2.4	Keterdapatn <i>REE</i> Pada Kerak Bumi (ppm) (Keith R. Long et al., 2010)	25
4.1	Perhitungan volume pada tiap <i>polygon</i> titik bor pada blok pasada barat	36
4.2	Perhitungan volume pada tiap <i>polygon</i> titik bor pada blok pasada timur	36
4.3	Perhitungan volume pada tiap <i>polygon</i> titik bor blok kelapa tujuh utara	37
4.4	Perhitungan volume pada tiap <i>polygon</i> titik bor blok kelapa tujuh selatan	37
4.5	Perhitungan Tonase Sumberdaya Material pada blok pasada barat	38
4.6	Perhitungan Tonase Sumberdaya Material pada blok pasada timur	39
4.7	Perhitungan Tonase Sumberdaya Material pada blok kelapa tujuh utara	39
4.8	Perhitungan Tonase Sumberdaya Material pada blok kelapa tujuh selatan	40
4.9	Kadar rata-rata <i>HREE</i> dan <i>LREE</i> pada blok pasada barat.....	41
4.10	Kadar rata-rata <i>HREE</i> dan <i>LREE</i> pada blok pasada timur.....	41
4.11	Kadar rata-rata <i>HREE</i> dan <i>LREE</i> pada blok kelapa tujuh utara	41
4.12	Kadar rata-rata <i>HREE</i> dan <i>LREE</i> pada blok kelapa tujuh selatan.....	42
4.13	Tonase sumberdaya REE terukur pada blok Pasada barat	42
4.14	Tonase sumberdaya REE terukur pada blok Pasada timur	43
4.15	Tonase sumberdaya REE terukur pada blok kelapa tujuh utara.....	43
4.16	Tonase sumberdaya REE terukur pada blok kelapa tujuh selatan.....	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Data kadar unsur <i>REE</i>	50
B Peta lokasi penelitian	80
C Peta sebaran titik bor.....	82
D Penampang sayatan	85
E Peta <i>polygon extended area</i>	87
F Lembar Konsultasi	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Unsur tanah jarang (*REE*) sesuai namanya merupakan unsur yang sangat langka atau keterdapatannya sangat sedikit, umumnya senyawa kompleks fosfat dan karbonat. Unsur tanah jarang adalah nama yang diberikan kepada kelompok lantanida, yang merupakan logam transisi dari Grup III B pada tabel periodik. Kelompok lantanida terdiri atas 15 unsur, yaitu mulai dari lantanum (nomor atom 57) hingga lutetium (nomor atom 71), serta termasuk dua unsur tambahannya yaitu yttrium dan scandium.

Di Indonesia mineral mengandung unsur tanah jarang terdapat sebagai mineral ikutan pada komoditas utama, terutama emas dan timah alluvial yang mempunyai peluang untuk diusahakan sebagai produk sampingan yang dapat memberikan nilai tambah dari seluruh potensi bahan galian. Potensi endapan emas aluvial tersebut relatif melimpah dapat dijumpai tersebar di sebagian pulau-pulau besar di Indonesia.

Penggunaan logam tanah jarang sangat luas dan erat kaitannya dengan produk industri teknologi tinggi, seperti industri komputer, telekomunikasi, nuklir, dan ruang angkasa. Di masa mendatang diperkirakan penggunaan tanah jarang akan meluas, terutama unsur tanah jarang tunggal, seperti neodymium, samarium, europium, gadolinium, dan yttrium.

Potensi besar yang dapat dihasilkan dari komoditas unsur/logam tanah jarang khususnya dalam jangka panjang dimana teknologi terus berkembang pesat, memerlukan ketersediaan bahan tersebut. Peluang jangka panjang dan untuk pemenuhan bahan industri teknologi tinggi yang akan dikembangkan di Indonesia, maka produk sampingan berupa mineral-mineral mengandung unsur tanah jarang tersebut

dapat dialokasikan untuk pemenuhan kebutuhan nasional pada industri strategis di dalam negeri. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan metode *polygon extended area* dalam mengestimasi sumberdaya unsur tanah jarang.

1.2 Rumusan Masalah

Estimasi sumberdaya merupakan hal yang sangat penting dilakukan sebelum dilakukannya aktivitas penambangan, karena hasil dari estimasi inilah yang akan dievaluasi untuk menentukan ke proses selanjutnya yaitu perhitungan cadangan. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukanlah penelitian estimasi sumberdaya terukur unsur tanah jarang menggunakan metode *polygon extended area* untuk mengetahui tonase unsur tanah jarang pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka, penelitian ini bertujuan untuk:

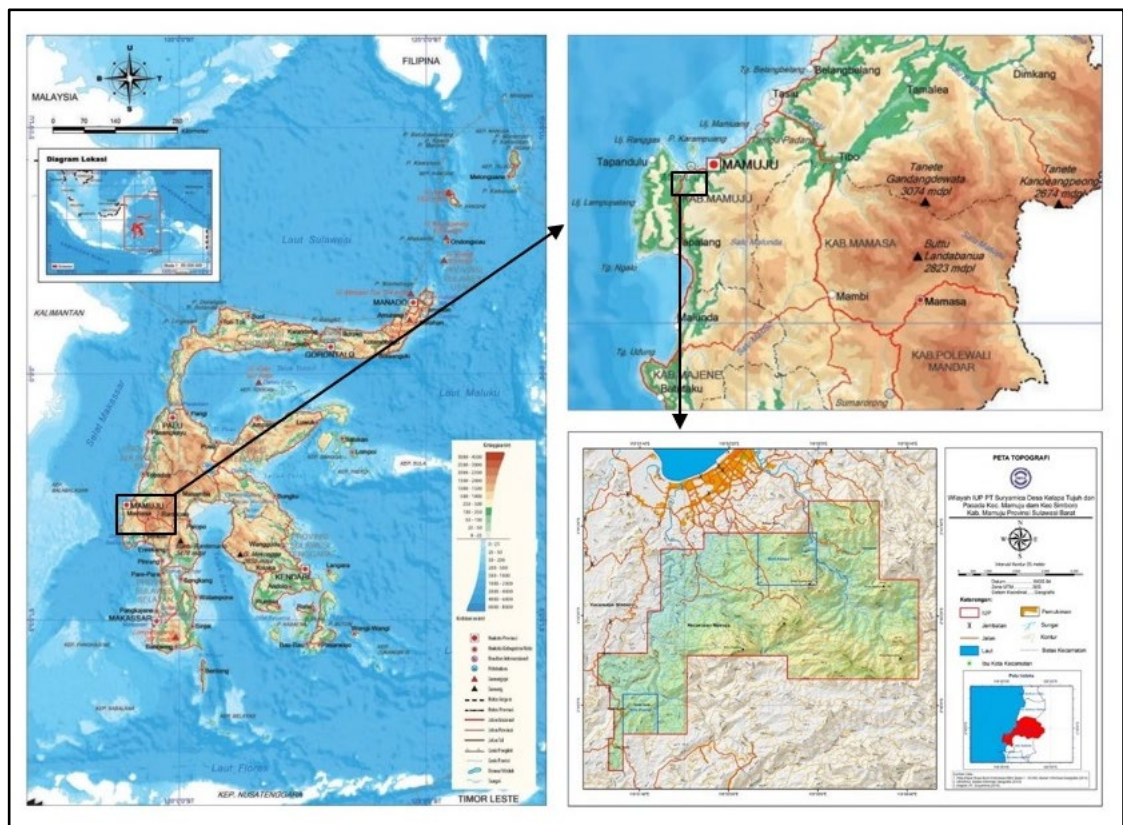
1. Melakukan pemodelan sebaran unsur *REE*.
2. Menghitung tonase sumberdaya terukur *REE* dengan metode *polygon extended area* pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam studi kelayakan untuk penambangan unsur tanah jarang pada daerah penelitian. Jadi, dapat diketahui kelayakan dari penambangan unsur tanah jarang yang dikaji pada penelitian ini.

1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kecamatan Simboro dan Kecamatan Mamuju, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat. Daerah penelitian ditempuh selama \pm 8 jam, melalui perjalanan darat menggunakan kendaraan roda empat dari Kota Makassar. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. 1 Peta tunjuk lokasi penelitian

1.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya

penelitian. Kajian ini ditinjau melalui buku, jurnal penelitian, atrikel ataupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Tahap perumusan masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan masalah yang diteliti dan menjadi batasan dalam melakukan penelitian.

3. Tahap orientasi lapangan dan pengambilan data

Orientasi lapangan dilakukan di wilayah IUP PT Suryamica. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa data seperti assay dan data collar.

4. Tahap pengolahan data

Data yang telah diperoleh dari hasil pengambilan data kemudian dianalisis untuk mengestimasi sumberdaya *REE* daerah penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Microsoft excel dan ArcGIS 10.3

5. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan kegiatan pengumpulan keseluruhan data yang didapatkan dan disusun dalam bentuk laporan akhir.

6. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

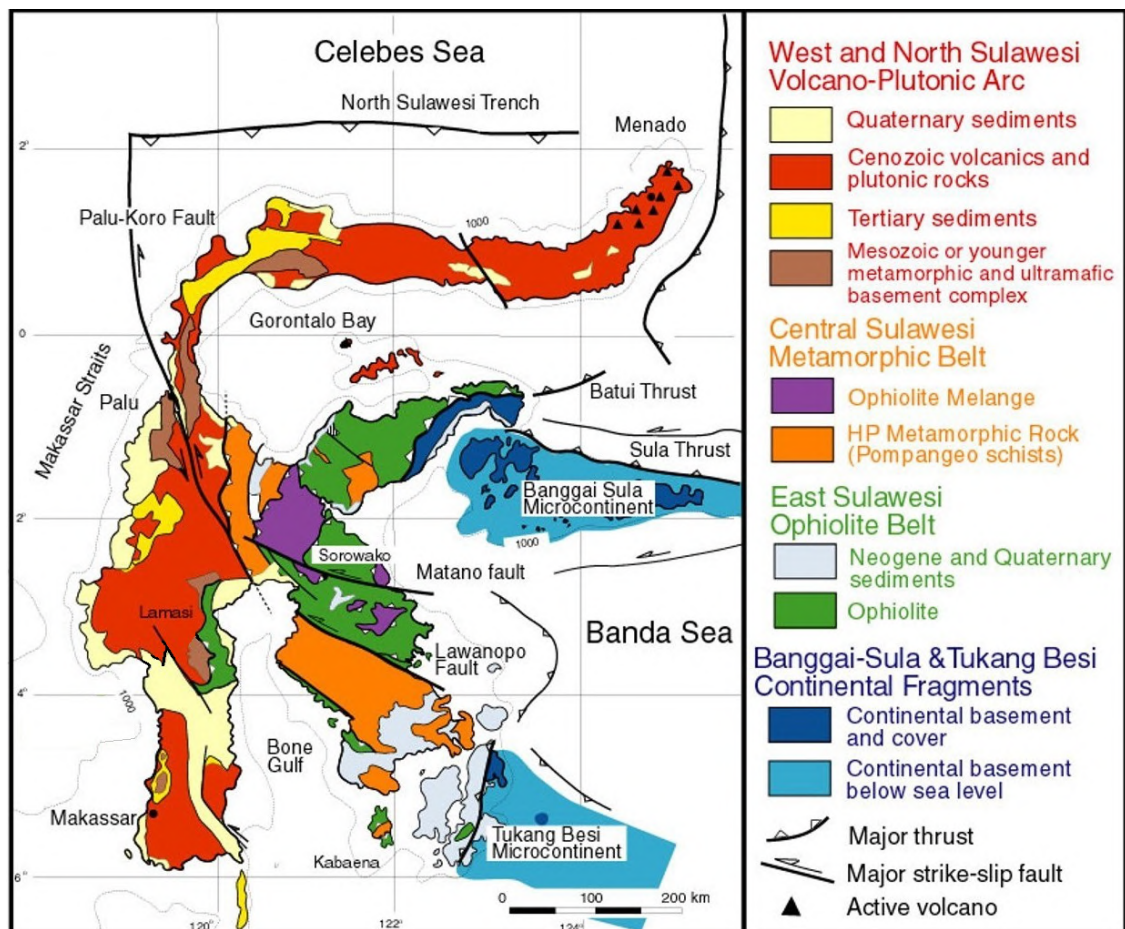
Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah diseminarkan.

BAB II

UNSUR TANAH JARANG (*RARE EARTH ELEMENT*)

2.1 Geologi Regional

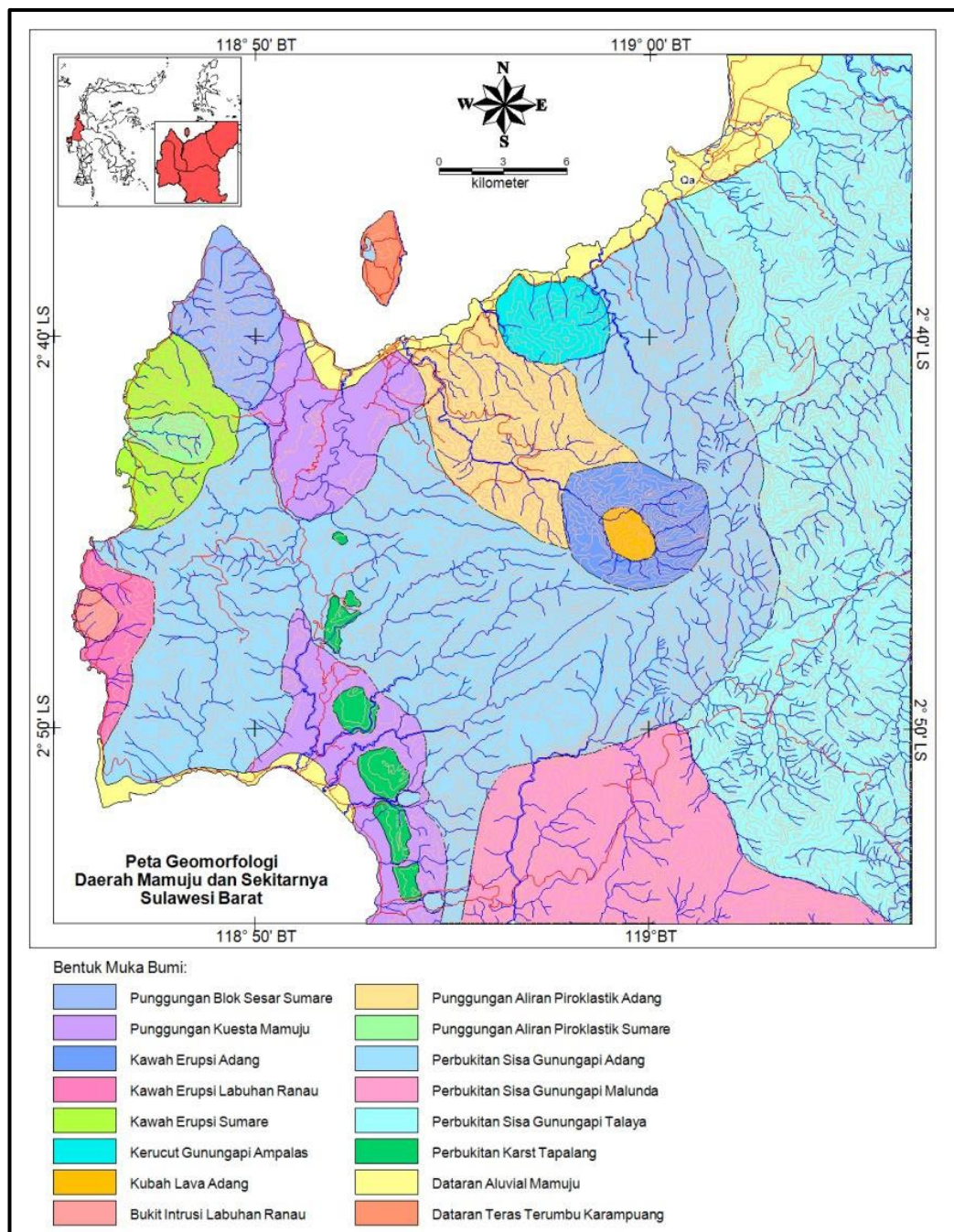
Geologi regional dapat memuat topografi, geomorfologi, litologi, struktur geologi, dan/atau alterasi. Pulau Sulawesi terletak di Indonesia bagian tengah yang berada pada pertemuan tiga lempeng (lempeng indo-australia, pasifik, dan eurasia). Pulau Sulawesi sendiri disusun oleh empat sabuk litotektonik (sabuk west sulawesi volcano-plutonic arc, central sulawesi metamorphic, east sulawesi ophiolite, dan continental fragment dari Banggai-Sula, Tukang Besi, dan Buton) (Macpherson & Hall, 2002; Kadarusman, et al., 2004; Ilyas, et al., 2016).



Gambar 2. 1 Geologi regional Pulau Sulawesi (Kadarusman, et al., 2004)

2.1.1 Topografi dan Geomorfologi

Secara regional, Mamuju dan sekitarnya merupakan perbukitan bergelombang dan pegunungan (Sukadana, et al., 2015). Geomorfologi perbukitan bergelombang tersebar di bagian barat sampai tengah lokasi penelitian (< 620 mdpl). Geomorfologi pegunungan berada di bagian tengah sampai ke timur lokasi penelitian (620 – 1.660 mdpl) (Indrastomo, et al., 2015).



Gambar 2. 2 Peta geomorfologi Sulawesi Barat (Indrastomo, et al., 2015).

Morfologi bentang alam pegunungan sesar berada di bagian timur daerah penelitian (<620 mdpl). Menggunakan klasifikasi bentuk muka bumi (BMB), daerah ini diklasifikasikan ke dalam satuan punggung blok sesar Sumare. Bentuk muka bumi punggung blok sesar berada di daerah Sumare, bagian timur laut yang dicirikan oleh kelurusan yang sangat rapat dengan morfologi terjal. Litologi penyusunnya adalah batupasir berlapis. Morfologi ini terlihat jelas dengan bentukan bentang alam segitiga (*triangular facet*) yang miring ke utara (Indrastomo, et al., 2015).

Bagian utara dan selatan Mamuju, terdapat daerah yang disusun oleh litologi batugamping berlapis dengan kemiringan lapisan 10° – 15° . Kelompok batuan ini merupakan daerah perbukitan. Bentuk muka bumi daerah ini dapat diklasifikasikan sebagai satuan punggung kuesta Mamuju (Indrastomo, et al., 2015)

Morfologi bentang alam pegunungan gunung api dapat dicirikan dengan adanya bentuk-bentuk melingkar yang terlihat pada citra Landsat-8. Bentuk-bentuk ini ditemukan di hulu Sungai Mamuju, Ampalas, Sumare, Labuhan Ranau, Pangasaan, Ahu, Botteng, Takandeang, dan Taan. Pada daerah gunung api, bentuk melingkar seperti ini diinterpretasikan sebagai pusat aktivitas gunung api yang membentuk beberapa morfologi khas, yaitu kaldera, kawah, kerucut gunung api, kubah lava, dan perbukitan intrusi. Beberapa bentuk melingkar terlihat tidak utuh memperlihatkan bentuk seperti setengah lingkaran. Hal ini disebabkan oleh adanya proses erosi yang dialami oleh gunung api tua. Selain itu, bentuk lingkaran yang tidak utuh dapat terbentuk karena erupsi eksplosif gunung api purba yang menghancurkan sebagian besar tubuhnya ke arah tertentu. Adanya letusan eksplosif yang merusak ini ditunjukkan oleh sebaran batuan piroklastik (breksi dan tuf) di barat daya gunung api Adang dan bagian timur gunung api Sumare (Indrastomo, et al., 2015; Ratman & Atmawinata, 1993).

Bentuk muka bumi lain yang berupa tinggian ditemukan di bagian selatan, yaitu di daerah Tapalang. Morfologi yang terbentuk adalah sebuah perbukitan yang disusun

oleh litologi batugamping terumbu. Perbukitan ini memiliki ketinggian sekitar 100 m, memanjang berarah tenggara – barat laut. Geomorfologi daerah ini diklasifikasikan sebagai satuan perbukitan karst Tapalang (Indrastomo, et al., 2015; Ratman & Atmawinata, 1993).

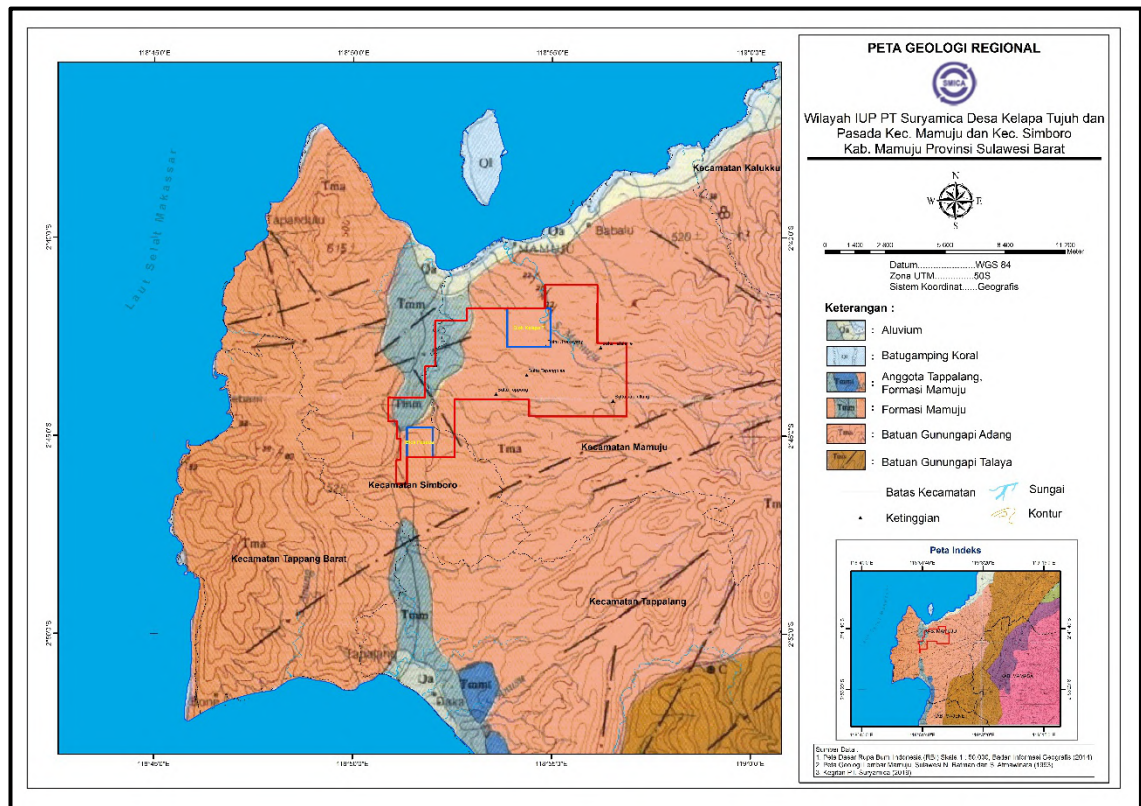
Bentuk muka bumi lain yang terutama disebabkan oleh proses eksogen adalah satuan dataran aluvial dan dataran teras terumbu. Dataran aluvial tersebar di bagian utara, terutama di daerah Kalukku ke arah timur. Selain di Kalukku, sebaran satuan ini juga terdapat di selatan, daerah Tapalang. Dataran aluvial ini umumnya merupakan daerah persawahan dengan morfologi yang landai. Dataran teras terumbu tersebar di Pulau Karampuang. Bentuk muka bumi daerah ini diklasifikasikan sebagai satuan dataran teras terumbu Karampuang (Ratman & Atmawinata, 1993; Indrastomo, et al., 2015).

Berdasarkan hasil klasifikasi bentuk muka bumi, maka disusunlah suatu peta geomorfologi daerah penelitian (Gambar 2.2). Daerah Mamuju dan sekitarnya dapat diklasifikasikan ke dalam 16 satuan geomorfologi, antara lain: punggung blok sesar Sumare, punggung kuesta Mamuju, kawah erupsi Adang, kawah erupsi Labuhan Ranau, kawah erupsi Sumare, kerucut gunung api Ampalas, kubah lava Adang, bukit intrusi Labuhan Ranau, punggung aliran piroklastik Adang, punggung aliran piroklastik Sumare, perbukitan sisa gunung api Adang, perbukitan sisa gunung api Malunda, perbukitan sisa gunung api Talaya, perbukitan karst Tapalang, dataran aluvial Mamuju, dan dataran teras terumbu Karampuang.

2.1.2. Litologi

Batuan berumur Mesozoikum menjadi batuan dasar pada Cekungan Lariang-Karama. Batuan berumur Kenozoikum secara tidak selaras terendapkan di atas batuan dasar, terdapat tiga sekuen besar yang ditandai dengan adanya ketidakselarasan utama, yaitu Kelompok Toraja berumur Eosen Tengah Oligosen Tengah, Kelompok Lariang

berumur Miosen Tengah-Akhir, dan Formasi Pasangkayu berumur Plio-Plistosen (Calvert, 1999).



Gambar 2. 3 Peta Geologi regional daerah Penelitian (Indrastomo, et al., 2015).

Geologi daerah Bonehau dan sekitarnya didominasi oleh batuan beku dan metamorf, termasuk batuan sedimen yang sedikit termetamorfkan (Gambar 2.3). Litologi mengindikasikan adanya tektonik aktif di area ini. Batuan tertua di daerah penelitian adalah Formasi Latimojong, yang berumur Kapur. Formasi ini terdiri dari batusabak, kuarsit, filit, batupasir malih, batulanau malih dan pualam, setempat batulempung malih (Ratman & Atmawinata, 1993) bahkan juga terdapat sekis mica, gneiss mica, dan batusabak (Sukamto & Simanjuntak, 1981; Djuri & Sudjatmiko, 1974).

Di atas Formasi Latimojong diendapkan Formasi Toraja (Tet) secara tidak selaras. Formasi ini berumur Eosen Tengah sampai Akhir, berupa perselingan batupasir kuarsa, serpih, dan batulanau, bersisipan konglomerat kuarsa, batulempung karbonan, batugamping, napal, batupasir hijau, batupasir gampingan dan batubara, setempat

dengan lapisan tipis resin dalam batulempung (Ratman & Atmawinata, 1993). Formasi Toraja mempunyai Anggota Rantepao (Tetr) yang terdiri dari batugamping numulit yang berumur Eosen Tengah – Akhir (Sukamto & Simanjuntak, 1981; Djuri & Sudjarmiko, 1974).

Formasi Toraja tertindih tak selaras oleh Formasi Sekala dan Batuan Gunungapi Talaya. Aktivitas vulkanik ini kemudian diikuti oleh kehadiran Formasi Sekala (Tmps) pada Miosen Tengah - Pliosen, yang dibentuk oleh batupasir hijau, grewake, napal, batulempung dan tuf, sisipan lava bersusunan andesit-basalt. Formasi sekala berhubungan menjemari dengan Batuan Gunungapi Talaya (Batuan Vulkanik Talaya, Tmtv) yang terdiri dari breksi gunungapi, tuf dan lava bersusunan andesit-basal, dengan sisipan batupasir dan napal, setempat batubara. Batuan gunungapi Talaya mempunyai Anggota Tuf Beropa (Tmb) yang terdiri dari perselingan tuf dan batupasir tufaan, dengan sisipan breksi vulkanik dan batupasir wake. Batuan Gunungapi Talaya menjari dengan Batuan Gunungapi Adang (Tma) yang terutama bersusunan leusit-basalt, dan berhubungan menjemari dengan Formasi Mamuju (Tmm) yang berumur Miosen Akhir. Formasi Mamuju terdiri atas napal, batupasir gampingan, napal tufaan, dan batugamping pasiran bersisipan tuf. Formasi ini mempunyai Anggota Tapalang (Tmmt) yang terdiri dari batu gamping koral, batugamping bioklastik, dan napal yang banyak mengandung moluska. Formasi Lariang terdiri dari batupasir gampingan dan micaan, batulempung, bersisipan kalkarenit, konglomerat dan tuf, umurnya Miosen Akhir – Pliosen Awal. Endapan termuda adalah aluvium (Qal) yang terdiri dari endapan endapan sungai, pantai, dan antar gunung (Ratman & Atmawinata, 1993).

2.1.3. Struktur Geologi

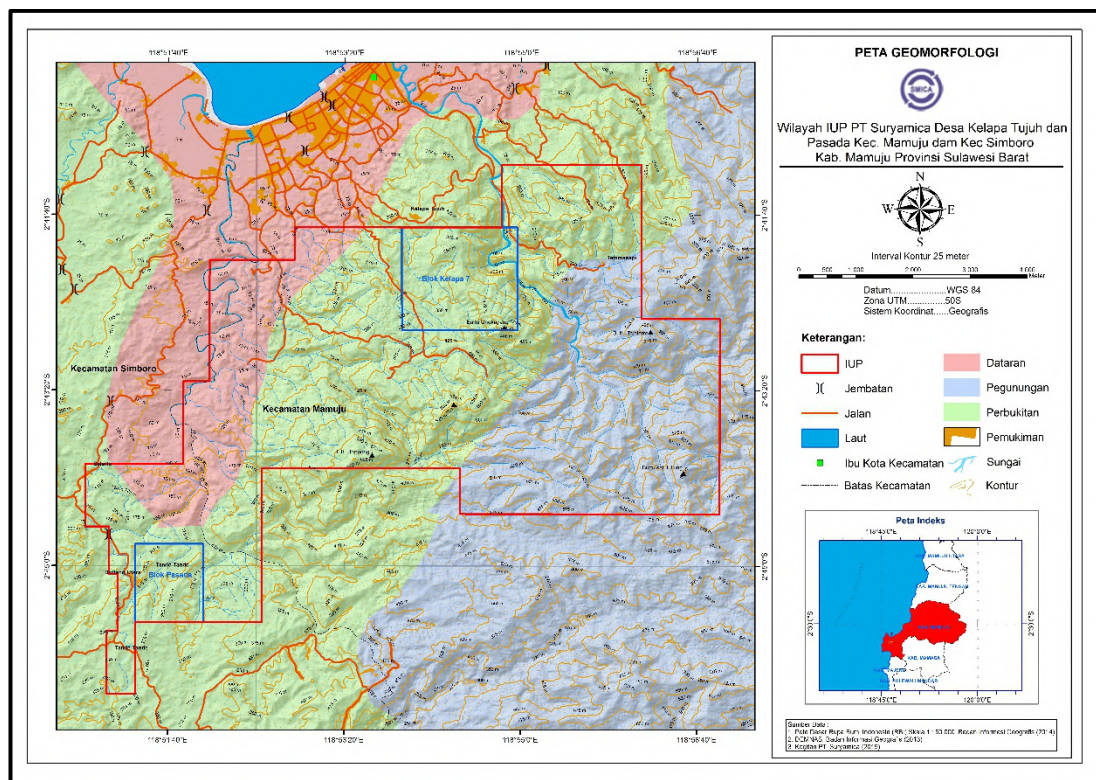
Secara regional, struktur geologi di daerah Mamuju dan sekitarnya memiliki arah umum timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara (Ratman & Atmawinata, 1993).

Pembentukan struktur tersebut disebabkan oleh aktivitas tektonik dan berpengaruh terhadap pembentukan gunungapi (Indrastomo, et al., 2015).

2.2 Geologi Lokal

Hasil interpretasi dari kegiatan pemetaan geologi yang dilakukan meliputi topografi dan geomorfologi, litologi, alterasi, mineralisasi, bentuk dan penyebaran endapan.

2.2.1. Topografi dan Geomorfologi

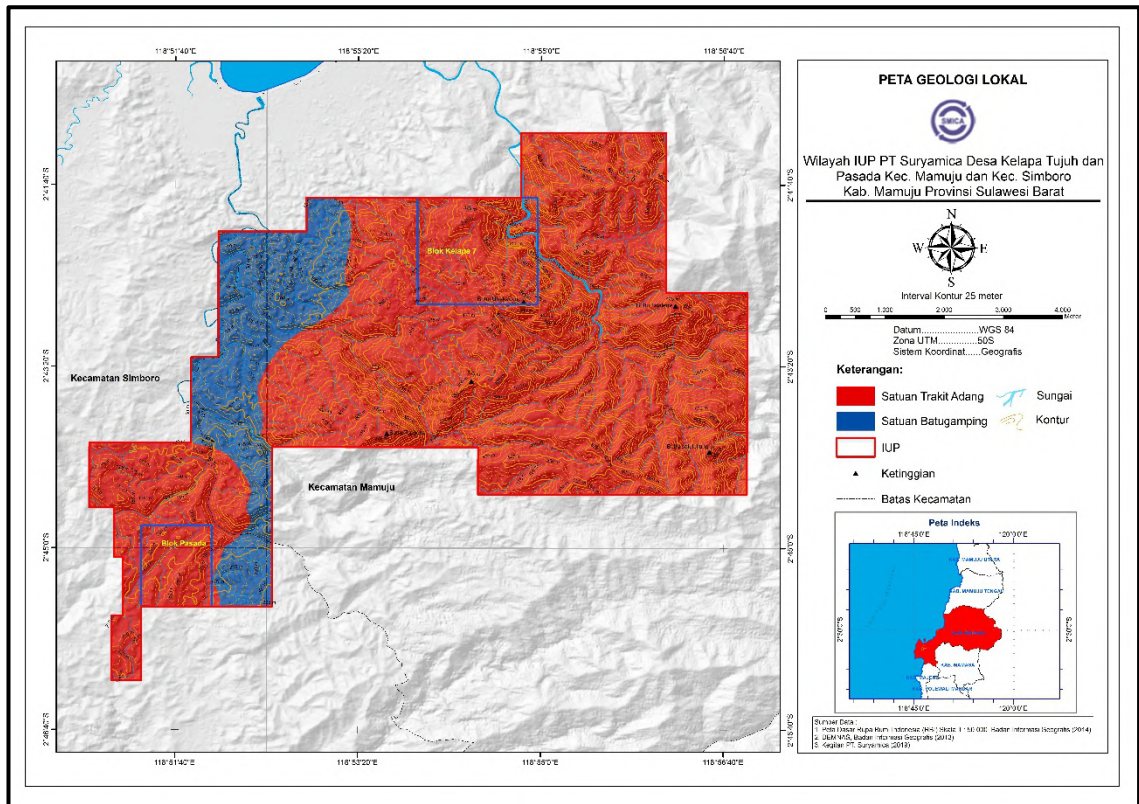


Gambar 2. 4 Peta Geomorfologi wilayah IUP PT. Suryamica.

Daerah penelitian memiliki morfologi perbukitan, lembah, dan dataran, dimana terbentuknya morfologi ini disebabkan oleh proses endogen dan eksogen yang merupakan tenaga yang mempengaruhi bentuk muka bumi. Geomorfologi daerah penelitian berdasarkan genetiknya dapat diklasifikasikan ke dalam bentang alam pegunungan sesar, pegunungan gunung api, pegunungan karst, dataran sungai dan danau, serta dataran pantai, delta, dan laut (Brahmantyo & Bandono, 2006).

2.2.2. Litologi

Daerah penelitian yang memiliki luasan sekitar 5.000 Ha, kegiatan eksplorasi difokuskan pada Blok prospek daerah Boteng yang terbagi lagi menjadi beberapa zona-zona kecil dengan luasan yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 5 Peta Geologi Lokal wilayah IUP PT. Suryamica.

Berdasarkan lokasi area penelitian pada peta geologi regional lembar Mamuju dan Mamasa yang disusun (Ratman & Atmawinata, 1993), daerah ini berada pada dua satuan batuan, yaitu: Satuan Trakit Adang dan Satuan Batugamping.

1. Satuan Trakit Adang

Satuan Trakit Adang yang diperkirakan berumur miosen-pliosen berdasarkan penanggalan radioaktif (Ratman & Atmawinata, 1993), dalam hal ini merupakan unit batuan tertua yang terdapat di wilayah penelitian yang secara regional termasuk ke dalam Formasi Adang.

Kompleks batuan gunungapi tidak terpisahkan Formasi Adang menempati 82% dari luasan konsesi milik PT Suryamica. Unit-unit tersebut kemungkinan besar berasal dari letusan Gunung Adang (sekarang punah) yang pusatnya diperkirakan berada di bagian selatan barat dari konsesi. Citra topografi ASTER DEM kompilasi dengan peta geologi dengan jelas menunjukkan struktur tipe kaldera yang menandai lokasi pusat vulkanik ini. Formasi ini terdiri dari kompleks batuan mafik, terutama unit vulkanik kaya potassium dan sedimen vulkaniklastik proksimal yang kaya akan potassium. Batuan vulkanik atau Formasi Adang Vulkanik secara petrologi, batuan penyusun utama kompleks ini didominasi oleh trakit dengan komposisi dominan berupa mineral felspatoid berupa leucite, dengan tekstur kasar hingga sangat halus, begitu juga halnya dengan produk piroklastiknya, dari unit vulkanik piroklastik halus sampai menengah (Indrastomo, et al., 2015).



Gambar 2. 6 Singkapan Sedimen Vulkanoklastik dengan komposisi fragmen, matriks dan semen berupa mineral mafik dan leucit (a), Lava Basalt/Mafik (Trakit) (b), serta Intrusi Dangkal (Trakit) produk dari Formasi Adang (c)

Secara Vulkanostratigrafi daerah penelitian atau wilayah konsesi PT Suryamica dibangun oleh 3 fasies gunung api yaitu dari fasies pusat, proksimal hingga distal. Proses erupsi Gunung Adang terjadi berkali kali, hal tersebut dapat dilihat dari produk piroklastik jatuhnya yang tersusun oleh gradasi material vulkanik dari kasar hingga halus, dan terus

berulang, hal tersebut merupakan bukti bahwa terjadi aktivitas gunungapi Adang yang berulang ulang. Pada unit pusat dapat dikenali dengan produk jatuhan yang berukuran besar dalam hal ini aglomerat-boulder dengan kehadiran boom vulkanik atau bom sag yang cukup dominan, Sedangkan unit proksimal didominasi oleh urutan produk aliran, terutama material berbutir halus sampai menengah, dimana secara ukuran butir boulder sudah sangat berkurang kehadirannya. Unit distal terutama terdiri dari tufa kristal piroklastik, di mana bom vulkanik sesekali hadir pada produk piroklastik jatuhannya, dalam hal ini sebagian besar komposisinya lebih mafik (Indrastomo, et al., 2015).

2. Satuan Batugamping



Gambar 2. 7 Singkapan batugamping terumbu (a) dan Singkapan batugamping fragmental (b)

Satuan Karbonat Formasi Mamuju terdiri dari arenites berkapur, marls dan batugamping terumbu yang terjadi di sepanjang jalur utara-selatan yang sempit di sepanjang pantai. Unit-unit ini secara tidak tepat menyalip Vulkanik Adang, dan di area pemetaan, mencapai ketebalan tidak lebih dari 200 m (diperkirakan dari garis elevasi dengan asumsi Formasi Mamuju subhorizontal). Mayoritas batugamping di area pemetaan adalah kalkarenit, batugamping fragmental dan batugamping terumbu yang menunjukkan daerah pantai, garis pantai dan lingkungan pengendapan intertidal (Ratman & Atmawinata, 1993; Indrastomo, et al., 2015).

2.2.3. Struktur Geologi

Struktur geologi yang terdapat di daerah penyelidikan berupa sesar normal dan sesar anjak berarah timur laut-barat daya yang mengontrol pengendapan formasi berumur Tersier. Sesar berarah barat laut-tenggara berada di bagian selatan daerah penyelidikan mempengaruhi Batuan Terobosan dan batuan berumur Pra Tersier. Lipatan berupa antiklin dan sinklin terdapat di sekitar lapisan batubara di daerah Tamalea Tua. Lipatan mempunyai arah relatif timur laut-barat daya.

Indikasi struktur geologi dapat terlihat jelas pada beberapa singkapan batuan seperti batupasir. Lapisan batubara di beberapa lokasi mempunyai kemiringan lapisan yang cukup tegak hingga 80° . Lapisan batubara di daerah penyelidikan juga secara megaskopis sangat mengkilap, mengindikasikan struktur geologi mempunyai peranan dalam meningkatkan kualitas batubara (Ibrahim & Ramdani, 2015).

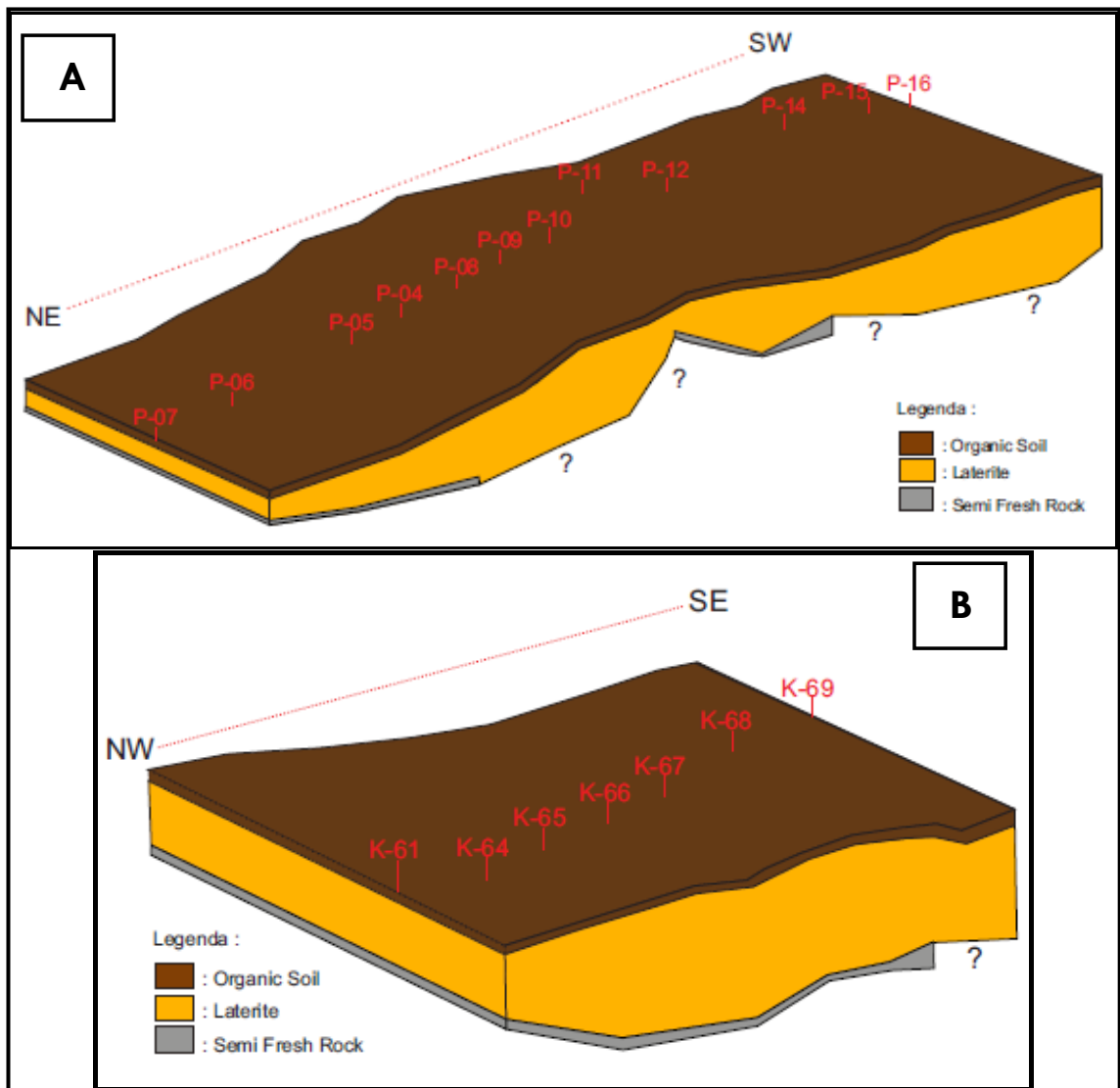
2.2.4. Bentuk dan penyebaran Endapan

Endapan zirkon pada lokasi penelitian merupakan endapan sekunder tipe laterit. Istilah laterit pertama kali dicetus oleh Buchanan (1807) di India, secara etimologi laterit berasal dari bahasa latin yaitu later yang artinya bata (*brick*). Sebagian besar negara tropis menggunakan tanah laterit sebagai *fill material* untuk berbagai pekerjaan konstruksi (Raychaudhuri, 1980). Terlapuk dengan suhu yang tinggi dan lembab menyebabkan laterit bersifat: *high plasticity*, kekuatan materi rendah, permeabilitas yang tinggi, kecenderungan menyimpan uap lembab dan mengandung air yang tinggi menjadikan tanah laterit memiliki kualitas yang buruk sebagai properti infrastruktur (*poor engineering properties*) (Charman, 1988).

Secara umum pembentukan endapan laterit dipengaruhi oleh sejumlah faktor seperti litologi, geomorfologi, iklim, drainase, struktur, dan tektonik (Golightly, 1979; Brand, et al., 1998; Elias, 2006; Gleeson, et al., 2003). Proses pembentukan laterit, kemudian disebut sebagai laterisasi (*lateralization*) pada dasarnya adalah proses

pelapukan kimia di daerah beriklim musiman lembap sepanjang waktu dalam kondisi kestabilan-tektonik relatif, sehingga membentuk sebuah lapisan regolit dengan karakteristik khusus (Butt & Zeegers, 1992).

Endapan bijih laterit terbentuk dari bedrock melalui proses pelapukan yang panjang dan proses leaching di daerah tropis dan subtropis yang dekat garis ekuator (Dalvi, et al., 2004). Selain itu, pembentukan laterit dapat dipengaruhi oleh komposisi kimia, topografi, struktur, iklim serta lamanya pembentukan protolith (Thorne, et al., 2012). Proses pelapukan akan menghasilkan laterit dengan karakteristik ketebalan, kadar, kimia dan mineralogi bijih yang sangat beragam (Maigien, 1966).



Gambar 2. 8 Model endapan laterit zirkon zona Pasada (A) dan zona Kelapa Tujuh (B)

Mineralisasi zirkon (Zr) pada daerah penelitian dan sekitarnya diinterpretasi sebagai pengayaan zirkon pada lateritisasi (*residual soil*) hasil pelapukan Satuan Trakit Adang, sebagaimana terlihat pada analisis sampel *soil*. Analisis ini menunjukkan bahwa sampel ini merupakan hasil lapukan dari batuan yang termasuk golongan batuan hasil produk magma mafitik yang telah mengalami metasomatisme tinggi (Shaban, et al., 2016), baik itu merupakan endapan lava basaltik, dike basaltik ataupun endapan piroklastik-vulkanik klastik yang dibangun oleh fragmen dan matriksi dari batuan basaltik/mafitik.

2.3 Rare Earth Elements (REE)

Unsur tanah jarang (*REE*) sesuai namanya merupakan unsur yang sangat langka atau keterdapatannya sangat sedikit, umumnya senyawa kompleks fosfat dan karbonat. Unsur tanah jarang atau rare earth elements (*REE*) adalah kelompok unsur yang memiliki sifat kimia serupa yang terdiri dari skandium, yttrium, dan 15 unsur golongan lantanida (Weng et al., 2015). Berikut sistem tabel periodik yang menunjukkan posisi golongan lantanida yang ditampilkan pada Gambar 2.9.

Tabel Periodik

Logam Tanah Jarang

1 IA 1A	2 IIA 2A											3 IIIA 3A	4 IVA 4A	5 VA 5A	6 VIA 6A	7 VIIA 7A	8 VIIIA 8A																		
1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003																	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948	19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.63	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80										
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.906	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.905	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.905	54 Xe Xenon 131.29	55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon 222
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [263]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [265]	109 Mt Meitnerium [266]	110 Ds Darmstadtium [268]	111 Rg Roentgenium [269]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [285]	115 Uup Ununpentium [286]	116 Lv Livermorium [289]	117 Uus Ununseptium [288]	118 Uuo Ununoctium [289]																		
		57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.967																			
		89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium [231]	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [244]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [251]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]	103 Lr Lawrencium [260]																			
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide																								

Gambar 2. 9 Tabel Periodik Unsur

Golongan lantanida terbentuk secara alami dan tersusun dari unsur dengan nomor atom 57 (lantanum, La) hingga 71 (lutetium, Lu), sedangkan skandium dan yttrium dimasukkan dalam kelompok unsur tanah jarang karena kemiripan sifat fisik dan kimianya (Purwadi et al., 2019). Golongan lantanida dikelompokkan menjadi dua kelompok berdasarkan berat atomnya, yaitu unsur dengan berat atom ringan (*LREEs*), yaitu Sc, La, Ce, Pr, Nd, Sm, dan Eu dan unsur dengan berat atom yang lebih berat (*HREEs*), yaitu Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, dan Y (Haque et al., 2014). Berikut karakteristik unsur tanah jarang yang ditampilkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik unsur tanah jarang (Walters et al., 2011)

Nomor atom	Unsur	Simbol	Konfigurasi Elektron	Berat atom	Densitas (gr/cm ³)	Titik Leleh °C
21	Skandium	Sc	[Ar]3d ² 4s ²	44,95	2,989	1541
39	Yttrium	Y	[Kr]4d ¹ 5s ²	88,90	4,469	1522
57	Lantanum	La	[Xe]5d ¹ 6s ²	138,90	6,146	918
58	Serium	Ce	[Xe]4f ¹ 5d ⁶ 6s ²	140,11	8,160	798
59	Praseodimium	Pr	[Xe]4f ³ 6s ²	140,90	6,773	931
60	Neodimium	Nd	[Xe]4f ⁴ 6s ²	144,24	7,008	1021
61	Prometium	Pm	[Xe]4f ⁵ 6s ²	145,00	7,264	1042
62	Samarium	Sm	[Xe]4f ⁶ 6s ²	150,36	7,520	1074
63	Europium	Eu	[Xe]4f ⁷ 6s ²	151,96	5,244	822
64	Gadolinium	Gd	[Xe]4f ⁷ 5d ⁶ 6s ²	157,25	7,901	1313
65	Terbium	Tb	[Xe]4f ⁹ 6s ²	158,92	8,230	1356
66	Disprosium	Dy	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²	162,50	8,551	1412
67	Holmium	Ho	[Xe]4f ¹¹ 6s ²	164,93	8,795	1474
68	Erbium	Er	[Xe]4f ¹² 6s ²	167,26	9,066	1529
69	Tulium	Tm	[Xe]4f ¹³ 6s ²	168,93	9,321	1545
70	Ytterbium	Yb	[Xe]4f ¹⁴ 6s ²	173,04	6,966	819
71	Lutetium	Lu	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	174,97	9,841	1662

2.3.1 Klasifikasi *REE*

1. *REE* berdasarkan aspek geokimia

Unsur tanah jarang dibagi menjadi unsur tanah jarang ringan (*LREE*) dan unsur tanah jarang berat (*HREE*) dengan didasarkan pada elektron tidak berpasangan dan berpasangan di kulit 4f. *LREE* memiliki kesamaan pada peningkatan elektron tidak

berpasangan dari 0 sampai 7, sedangkan semua HREE berbeda dari LREE karena mereka memiliki elektron berpasangan. Perbedaan ini menjadi penentu untuk sifat yang ditunjukkan oleh masing-masing unsur dan bagaimana mereka berinteraksi dengan elemen dan senyawa lain. Konvensi umum dalam industri mengklasifikasikan *REE* sebagai berikut (Haque et al., 2014):

- a. *Light rare earth elements*, yaitu Sc, La, Ce, Pr, Nd, Sm, dan Eu.
 - b. *Heavy rare earth elements*, yaitu Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, dan Y.
2. *REE* dalam dunia industri diklasifikasikan sebagai berikut (Seredin, 2010):
- a. *Critical REE*, yaitu kelompok *REE* yang banyak dicari karena saat ini dan dimafaatan energi alternatif dan teknologi energi yang efisien, namun pasokannya sangat terbatas, yakni unsur Nd, Eu, Tb, Dy, Y, dan Er.
 - b. *Excessive REE*, terdiri dari unsur yang produksinya lebih besar dari kebutuhan industri saat ini. Contohnya Ce, Ho, Tm, Yb, dan Lu.
 - c. *Uncritical REE*, merupakan kelompok *REE* yang produksinya seimbang dengan permintaan dalam dunia industri. Contohnya La, Pr, Sm, dan Gd.

2.3.2 Kegunaan *REE*

Penggunaan *REE* sangat bervariasi yaitu pada energi nuklir, kimia, katalis, elektronik, paduan logam dan optik. Pemanfaatan *REE* untuk yang sederhana seperti lampu, pelapis gelas, untuk teknologi tinggi seperti fosfor, laser, magnet, baterai, dan teknologi masa depan seperti superkonduktor, pengangkut hidrogen. Penggunaan logam tanah jarang ini memicu berkembangnya material baru. Material baru dengan menggunakan *REE* memberikan perkembangan teknologi yang cukup signifikan dalam ilmu material. Perkembangan material ini banyak diaplikasikan di dalam industri untuk meningkatkan kualitas produk (Weng et al., 2015).

Penggunaan logam tanah jarang sangat bervariasi yaitu pada energi nuklir, kimia, katalis, elektronik, paduan logam dan optik. Pemanfaatan logam tanah jarang

untuk yang sederhana seperti lampu, pelapis gelas, untuk teknologi tinggi seperti fospor, laser, magnet, baterai, dan teknologi masa depan seperti superkonduktor, pengangkut hidrogen (Haxel et al., 2005). Berbagai kegunaan logam tanah jarang secara umum baik unsur tunggal maupun senyawa aditif dan campuran dengan material lain secara rinci dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2. 2 Kegunaan Unsur Tanah Jarang (M. O'Driscoll, 1988)

Produk	Material	Aditif LTJ	Kegunaan
Pewarna/Pencerahan/Radiasi Elektromagnetik/Laser			
Gelas berwarna	Gelas	Nd ₂ O ₃ dan Oksida Er, Pr	Filter televisi, dll
Kontrol radiasi	Gelas	Ce	Perlindungan radiasi pada bagian depan tabung sinar katoda
Keramik berwarna	Zirkon	Ce dan Y	Menggelapkan bejana
Cahaya berwarna	Mg – Al	Eu, Y, Tb	Lampu berwarna
Tabung sinar katoda berwarna	Mg dan Ca	Tb, Y, Ga, Eu	Televisi dan monitor komputer
Laser	Gelas	Nd, Sm	Elektronik, audio-visual
Lensa	Zr-B-O	La	Kamera
katalis			
Katalis pengurai	Si-Al-Y-Zeolit	CeO ₂ , La ₂ , Nd ₂ O ₃ , Pr ₄ O ₁₁	Pengolah minyak
Katalis oksida		Ca ₃ O ₂	Pereaksi kimia
keramik			
Ubin, genting	Zirkon	Pr ₄ O ₁₁ , CeO ₂	Bahan pelapis
Keramik elektronik	Barium-titariat	La, Ce, Pr, Nd	Kapasitor
Stabilised zirkonia	Zirkonia	Y ₂ O ₃	Perhiasan sintetik, pisau, gunting
Sensor oksigen	Paerially zirconia	Y ₂ O ₃	Sensor pembuangan gas pada mesin automptif
Lapisan pelindung	Fe-Cr-Al-ZrO ₂	Y ₂ O ₃	Mesin tahan panas
Listrik dan Magnet			
Resistor	LaB ₆		Elektrik
Penahan panas (thermistor)	BaTiO ₃	La, Y	Elektrik dengan suhu tinggi
Kristal supersonik konduktor	ZrO ₂ , CeO ₂	Y ₂ O ₃ , Pr,	Elektrolit pada batere suhu tinggi
Penyimpan informasi	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	La	Komunikasi
Penggunaan yang baru			
Elektronik dan Komunikasi			
<i>Magnetic bubble storage</i>	Garnet	<i>Rare earth</i> , Ga	Memori elektronik
Penyimpanan optik	<i>Alkaline flouride organic</i>	<i>Rare earth</i>	Komputer
Headphones	Fe	<i>Rare earth</i>	televisi dan monitor komputer

Lanjutan Tabel 2. 2 Kegunaan Unsur Tanah Jarang (M. O'Driscoll, 1988)

Produk	Material	Aditif LTJ	Kegunaan
Elektronik			
Magnet permanen	Fe	Nd,Sm, <i>rare earth</i>	Pemakaian komputer automobil, pintu <i>Automotive brushless motor, Microstepping motor, Motor putaran tinggi untuk robot</i>
Magnet untuk motor	Fe	Nd,Pr, <i>rare earth</i> tinggi untuk robot	Motor putaran tinggi untuk robot
Magnet plastik	Plastik Polubutylene teraphatalate	<i>Rare earth</i> Sm	<i>Headphone</i> pada VTR <i>Precision instruments</i>
Energi panas			
Fuel Cell	Ni,Fe	<i>Rare earth</i>	Tenaga listrik
Pengatur Suhu (AC)	Fe-Ti	<i>Rare earth</i>	Transfer energi
keramik			
Pelapis logam	Zirkonia	<i>Rare earth</i>	Serba guna
Keramik komponen listrik		<i>Rare earth</i>	Industri elektronik
Katalis	Alumunium	La, Nd	Katalis polimerisasi
Organo-metallics			
Cat	Getah organik	Ce	Tambahan pada cat (pengganti timah hitam)
Bahan bakar	Minyak organik	Ce	Pencegah korosi/karat dan meningkatkan pembakaran
Lain-lain			
Obat radio-nuklir	Fe(OR)	Dy-165	Pengobatan arthritis pada lutut
Bahan tahan korosi/karat	Logam keramik	Y	Alat-alat mesin, alat kedokteran

Penambahan *REE* dalam industri metalurgi digunakan untuk pembuatan baja *High Strength Low Alloy (HSLA)*, baja karbon tinggi, *superalloy*, dan *stainless steel*. Hal ini karena *REE* dapat meningkatkan kemampuan material berupa kekuatan, kekerasan dan peningkatan ketahanan terhadap panas. Sebagai contoh pada penambahan *REE* dalam bentuk aditif atau *alloy* pada paduan magnesium dan alumunium, maka kekuatan dan kekerasan material paduan tersebut akan meningkat. *REE* dapat juga dimanfaatkan untuk katalis sebagai pengaktif, campuran khlorida seperti halnya lantanium, sedangkan neodimium dan praseodimium digunakan untuk katalis pemurnian minyak dengan

konsentrasi antara 1% sampai 5%. Campuran khlorida *REE* ini ditambahkan dalam katalis zeolit untuk menaikkan efisiensi perubahan minyak mentah (*crude oil*) menjadi bahan-bahan hasil dari pengolahan minyak. Diperkirakan pemakaian *REE* untuk katalis pada industri perminyakan akan lebih meningkat lagi di masa mendatang (Peelman et al., 2016). Berikut penggunaan setiap unsur *REE* yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Penggunaan unsur tanah jarang (Weng et al., 2015)

Unsur	Kegunaan
Skandium	Paduan dalam rekayasa kedirgantaraan, sel bahan bakar
Yttrium	Laser, superkonduktor, aplikasi perawatan kanker
Lantanum	Optik, elektroda baterai, katalisis, penyimpanan hydrogen
Serium	Aplikasi kimia, pewarnaan, kaca pemoles, produksi baja
Praseodimium	Magnet super kuat, penerangan, optic
Neodimium	Tabung sinar katoda berwarna, motor elektrik dari automobil hybrid
Prometium	Cat bercahaya, baterai atom
Samarium	Pengontrol reaktor nuklir, laser sinar- α
Europium	Laser, penerangan, aplikasi medis
Gadolinium	Pelindung reaktor nuklir, alat propulsi nuklir laut
Terbium	Magnet ringan, laser, sistem sonar
Disprosium	Pencahayaan, transducer
Holmium	Laser, magnet super kuat
Erbium	Penyerap neutron dalam industri nuklir
Tulium	Mesin sinar-x portabel, laser efisiensi tinggi
Ytterbium	Penguat baja <i>stainless</i>
Lutetium	<i>Rifining petroleum, LED light bulb</i>

2.4 Genesa unsur tanah jarang (*REE*) di Indonesia

Genesa endapan logam tanah jarang secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam cebakan primer dan endapan sekunder. Pada cebakan primer proses pembentukannya sangat berhubungan dengan aktifitas magmatik dan hidrotermal, sedangkan pada endapan sekunder berhubungan dengan proses rombakan dan sedimentasi.

2.4.1 Cebakan primer

Unsur tanah jarang dunia umumnya terkait dengan karbonatit, batuan beku pegmatit dan metamorf. Berdasarkan kondisi geologi Indonesia, cebakan primer lainnya

yang paling memungkinkan adalah batuan beku pegmatit. Pegmatit adalah batuan berbutir sangat kasar yang biasanya tertanam mengikuti fase intrusi plutonik utama. Pegmatit terbentuk dari larutan sisa magma yang kaya akan air, gas dan material fase akhir kristalisasi. Oleh karena itu pegmatit dapat membawa banyak elemen fase akhir termasuk Lu, Th, Mo, Sn, W, Nb, Ta, Zr. Batuan beku pegmatit umumnya terkait dengan batuan granitik yang banyak tersebar di beberapa wilayah di Indonesia, seperti di Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan dan Papua. Berikut tipe-tipe cebakan primer:

1. *Carbonatite associated*

Tipe cebakan *REE* primer yang terdapat pada batuan beku karbonatit yang berasosiasi dengan batuan beku basa. Saat ini tipe karbonatit merupakan penghasil *REE* terbesar di dunia yang ada di China (Bayan Obo) dan Amerika Serikat (Mountain Pass) (Slezak *et al.*, 2020).

2. *Alkaline Igneous rock*

Tipe ini berasal dari pengayaan mineral alkali, biasanya magma alkali tidak diperkaya tidak hanya dalam *REE* tetapi juga unsur Zr, Li, Ba, Nb, Sr (Ray and Shukla, 2004).

3. *Iron REE (Iron-Copper-Gold)*

Tipe ini berasal dari cebakan emas-tembaga yang kaya akan oksida besi (Zhimin, 2016).

4. *Hydrothermal deposit*

Biasanya berasal dari urat kuarsa, fluorit, urat polimetalik (Pb-Zn-Cu-Au) dan batuan pegmatit (Yuan *et al.*, 2020).

2.4.2 Endapan sekunder

Terdapat beberapa tipe dari cebakan sekunder yang berhubungan dengan proses rombakan dan sedimentasi terdiri dari *Marine Placer*, *Aluvial Placer*, *Lateritic/Residual*, *Ion Adsorption Clays*.

1. *Marine Placer*

Cebakan *REE* yang berasal dari akumulasi mineral berat yang melapuk dan terendapkan di laut (Stephanie, 2020).

2. *Aluvial Placer*

Endapan plaser *REE* yang terkonsentrasi karena adanya pelapukan batuan granit atau batuan metamorf (Balaram, 2018).

3. *Lateritic Residual*

Mengikuti proses lateritisasi sebagaimana berlaku untuk endapan bauksit dan nikel, contohnya redmud (residu padat yang dihasilkan dalam proses Bayer) pada Bauksit) (Vind et al., 2018).

4. *Ion Adsorption Clays*

Batuan granitoid yang mengandung endapan *REE* melapuk dan terkonsentrasi berupa lapisan lempung pada kerak lapukan (Xu et al., 2021)

Keterdapatannya unsur tanah jarang (*REE*) pada kerak bumi sebenarnya tidak tergolong terkecil bila dibandingkan unsur logam lainnya (Walters et al., 2011). *REE* umumnya dijumpai dalam sebaran dengan jumlah yang tidak besar dan menyebar secara terbatas (Peelman et al., 2016). Proses yang berlangsung baik dalam media larutan magmatis maupun fluida sisa magmatis (hidrotermal), akan membawa unsur-unsur yang ada dalam kerak dan terkonsentrasikan pada tempat tertentu sesuai kondisi lingkungan fisika dan kimia. Ketika magma naik ke arah kerak bumi, terjadi perubahan komposisi sebagai respon terhadap variasi tekanan, suhu dan komposisi batuan-batuan di sekelilingnya. Akibatnya terbentuk jenis-jenis batuan yang berbeda dengan variasi pengayaan unsur-unsur bernilai ekonomis, termasuk unsur-unsur tanah jarang. Konsentrasi unsur *REE* pada proses pembentukan batuan berbeda-beda satu terhadap yang lain, karbonatit, kimberlit, batuan alkalin merupakan jenis batuan dimana kandungan *REE* termasuk yang paling tinggi. Sehingga secara teoritis proses konsentrasi

bijih pada lingkungan batuan ini lebih kaya dibandingkan batuan lainnya. Oleh karena itu pencarian endapan *REE* ekonomis di lingkungan batuan ini lebih berpeluang dibandingkan pada lingkungan batuan lainnya (Henderson, 1984). Keterdapatannya unsur *REE* dalam kerak bumi jauh lebih besar dibandingkan emas, hal ini terlihat dari nilai kandungannya hingga puluhan ppm seperti yang ditunjukkan pada data Tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2. 4 Keterdapatannya *REE* Pada Kerak Bumi (ppm) (Keith R. Long et al., 2010)

Unsur	Wedephol (1995)	Lide (1997)	McGill (1997)
Lantanum	30	39	5 – 18
Serium	60	66,5	20 – 46
Praseodinium	6,7	9,2	3,5 - 5,5
Neodimium	27	41,5	12 – 24
Samarium	5,3	7,05	4,5 - 7
Europium	1,3	2	0,14 - 1,1
Gadolinium	4	6,2	4,5 - 6,4
Terbium	0,65	1,2	0,7 – 1
Disprosium	3,8	5,2	4,5 - 7,5
Holmium	0,8	1,3	0,7 - 1,2
Erbium	2,1	3,5	2,5 - 6,5
Tulium	0,3	0,52	0,2 – 1
Ytterbium	2	3,2	2,7 - 8
Lutetium	0,35	0,8	0,8 - 1,7
Skandium	24	33	28 – 70
Yttrium	16	22	5 – 10

2.5 Keterdapatannya Unsur Tanah Jarang di Mamuju

Penyelidikan mengenai keterdapatannya logam tanah jarang di Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat telah dilakukan pada tahun 2018. Daerah penyelidikan berada pada Batuan Gunungapi Adang (Tma). Batuan vulkanik Adang merupakan hasil dari proses vulkanisme suatu kompleks gunungapi yang bersumber dari beberapa pusat gunungapi yang tersusun oleh batuan vulkanik basa hingga batuan beku menengah (*intermediet*) yang disusun oleh lava, tuf dan batuan breksi gunungapi. Batuan gunungapi berkomposisi leusit basalt.

Untuk mengetahui kandungan logam tanah jarang, dalam penyelidikan ini dilakukan pengambilan conto berupa batuan, tanah dan konsentrat dulang. Berdasarkan hasil analisis ICP-OES diketahui kandungan UTJ terdiri dari: 99,6 ppm s.d. 2.967,9 ppm Ce; 4,8 ppm s.d. 196,7 ppm Dy; 2,2 ppm s.d. 76,8 ppm Eu; 4,1 ppm s.d. 326,1 ppm Gd; 0,0 ppm s.d. 17,4 ppm Ho; 32,0 ppm s.d. 2.498,53 ppm La; 22,3 ppm s.d. 385,4 ppm Nb; 40,7 ppm s.d. 1991,3 ppm Nd; 14,5 ppm s.d. 529,4 ppm Pr; 4,4 ppm s.d. 93,6 ppm Sc; 12,8 ppm s.d. 435,7 ppm Sm; 3,5 ppm s.d. 51,0 ppm Tb; 15,9 ppm s.d. 894,8 ppm Y; 4,3 ppm s.d. 62,3 ppm Yb.

2.6 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Sumber daya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari mineral yang memiliki nilai ekonomi pada kerak bumi, dengan dimensi, kualitas, dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi, dan kemenerusan dari sumber daya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasarkan bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan sampelnya. Sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur. (SNI, 2019).

1. Sumber daya mineral tereka

Sumber daya mineral tereka merupakan bagian dari sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti geologi dan pengambilan sampel yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya.

Sumber daya mineral tereka memiliki tingkat keyakinan lebih rendah dalam penerapannya dibandingkan dengan sumber daya mineral tertunjuk dan tidak dapat dikonversi ke cadangan mineral. Sangat beralasan untuk mengharapkan bahwa sebagian besar sumber daya mineral tereka dapat ditingkatkan menjadi sumber daya mineral tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi.

2. Sumber daya mineral tertunjuk

Sumber daya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, dimensi, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut.

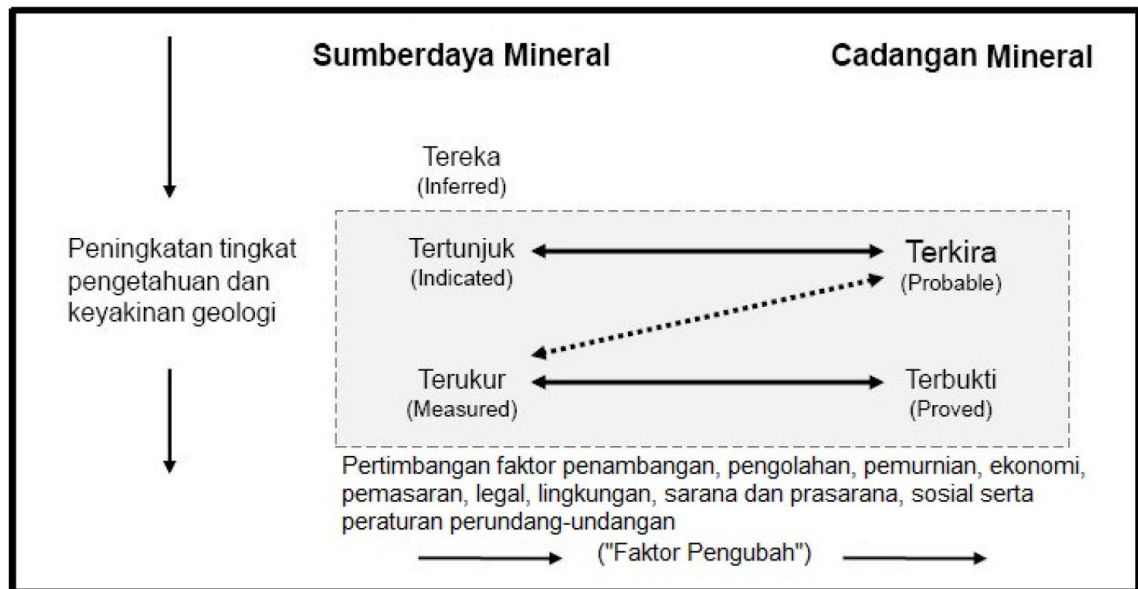
Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang cukup detail dan andal, dan memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas di antara titik pengamatan. Sumber daya mineral tertunjuk memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah penerapannya dibandingkan dengan sumber daya mineral terukur dan hanya dapat dikonversi ke cadangan mineral terkira.

3. Sumber daya mineral terukur

Sumber daya mineral terukur merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, bentuk, dan karakteristik fisik yang dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang terperinci dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut.

Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang terperinci dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik pengamatan. Sumber daya mineral terukur memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibandingkan dengan sumber daya

mineral tertunjuk atau sumber daya mineral tereka. Sumber daya mineral terukur dapat dikonversi ke cadangan mineral terbukti atau cadangan mineral terkira. Hubungan umum antara hasil eksplorasi sumberdaya dan cadangan dapat dilihat pada Gambar 2.10

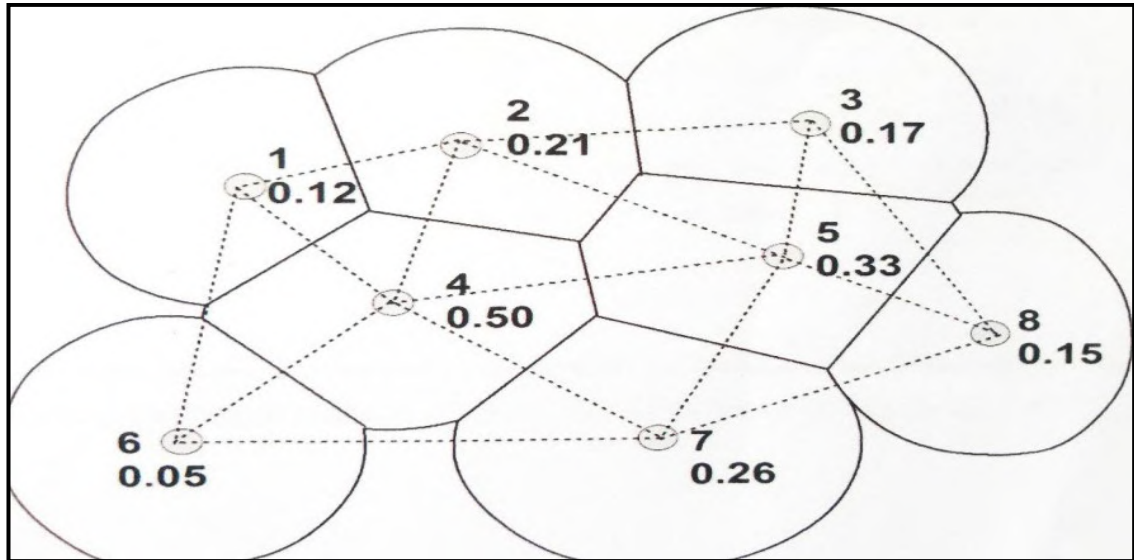


Gambar 2. 10 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (SNI, 2019).

2.7 Estimasi Sumberdaya

Metode untuk estimasi sumberdaya umumnya bergantung pada keadaan geologi endapan, metode eksplorasi, keakuratan data dan nilai koefisien variasi, manfaat serta tujuan perhitungan sumberdaya. Perhitungan sumberdaya endapan unsur tanah jarang (*REE*) laterit, dapat menggunakan beberapa metode diantaranya adalah metode *polygon*, metode Inverse Distance Weighting (*IDW*), dan metode *Polygonal Nearest Neighbour Estimation (NNE)*.

Metode *polygon* disebut juga metode daerah pengaruh. Pada metode ini semua faktor ditentukan untuk suatu titik tertentu pada endapan mineral, diekstensikan sejauh setengah jarak dari titik di sekitarnya yang membentuk suatu daerah pengaruh (Gambar 11). Batas daerah pengaruh terluar dari *polygon* ini hanya sampai pada titik-titik bor terluar saja, atau diekstensikan sampai sejauh setengah jarak (*extended area*).



Gambar 2. 11 Estimasi Sumberdaya dengan metode *polygon* (Hartman, 1992).

Estimasi sumberdaya dengan metode *polygon* dapat dilakukan dengan:

1. Untuk setiap lubang bor ditentukan suatu batas daerah pengaruh yang dibentuk oleh garis-garis berat antara titik tersebut dengan titik-titik terdekat di sekitarnya.
2. Masing-masing daerah atau blok diperlakukan sebagai suatu *polygon* yang mempunyai kadar dan ketebalan yang konstan yaitu sama dengan kadar dan ketebalan titik bor di dalam *polygon* tersebut.
3. Sumberdaya endapan diperoleh dengan menjumlahkan seluruh tonase tiap blok/ *polygon*, sedangkan kadar rata-ratanya dihitung memakai pembobotan tonase.

Metode *polygon extended area* pada dasarnya sama dengan metode *polygon* di atas namun *polygon*nya berbentuk segi empat dengan titik bor terdapat ditengah *polygon*. Perhitungan volume diestensikan ke luas *polygon* pada titik bor yang bersangkutan.