

Volume 10, Number 1, June 2022

PROMINE



Mining Journal
Exploration, Exploitation
Georesource Processing
and Mine Environmental

PROMINE	Volume 10	Number 1	Page 01 - 43	Balunijuk June 2022	ISSN 2354-7316 e-ISSN 2620-7737
---------	--------------	-------------	-----------------	------------------------	------------------------------------

**DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF BANGKA BELITUNG**

PROMINE
Jurusan Teknik Pertambangan
Universitas Bangka Belitung



Mining Journal
Exploration, Exploitation
Georesource Processing
and Mine Environmental

Ketua Penyunting (Editor In Chief)

Guskarnali, S.T., M.T. (Universitas Bangka Belitung)

Anggota Penyunting (Associate Editor)

Irvani S.T., M.Eng. (Universitas Bangka Belitung)

Dewan Penyunting (Editorial Board)

Janiar Pitulima, S.T., M.T. (Universitas Bangka Belitung)
Delita Ega Andini, S.T., M.T. (Universitas Bangka Belitung)
Firman, S.Pd., M.T. (Universitas Khairun)
Wahyudi Zahar, S.T., M.T. (Universitas Jambi)
RR. Yunita Bayu Ningsih, S.T., M.T. (Universitas Sriwijaya)
Fahrul Indrajaya, S.T., M.T. (Universitas Palangka Raya)

Mitra Bestari (Reviewers)

Dr. Franto, S.T., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
Dr. Aji Syailendra Ubaidillah, S.T., M.Sc. (Universitas Muhammadiyah Mataram)
Dr. Mohamad Anis, S.T., M.M. (Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM)
Dr. Afikah Rahim (Universitas Teknologi Malaysia-Malaysia)
Dr. Shalaho Dina Devy, S.T., M.Eng (Universitas Mulawarman)
Dr. Rika Ernawati, M.Si (Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta)
Dr. Agus Winarno, S.T., M.T. (Universitas Mulawarman-Indonesia)
Dr. R. Andy Erwin Wijaya, S.T., M.T. (Institut Teknologi Nasional Yogyakarta)
Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. (Universitas Islam Bandung)
Dr. Wahyu Wilopo, M.Eng. (Universitas Gajah Mada Yogyakarta)
I Gde Sukadana, M.Eng (Badan Tenaga Nuklir Nasional)
Ir. Hasywir Thaib Syiri, M.Sc (Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta)

Administrasi

Dewi Astuti, S.Kom

Librarian

Arja Kusuma, SIP.

Redaksi Jurnal

Alamat : Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Desa Balunijuk,
Kabupaten Bangka, Bangka Belitung
Telp. : (0717) 422145
E-mail : jurnalpromine@gmail.com
Website : <http://journal.ubb.ac.id/index.php/promine>

KATA PENGANTAR

Jurnal ilmiah dengan nama PROMINE merupakan terbitan berkala ilmiah Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Bangka Belitung yang terbit setiap bulan Juni dan Desember dalam setahun yang meliputi bidang Eksplorasi (Geologi dan Geofisika), Geoteknik/Geomekanika, Pengolahan Minerba, Manajemen dan Ekonomi Minerba, Lingkungan Pertambangan, Reklamasi dan Pasca Tambang.

Visi Penyelamatan dan Keberlanjutan Sumberdaya Bumi "*Save and Sustainability GeoResources*" melalui penambangan yang berwawasan lingkungan menjadi misi utama yang diemban oleh PROMINE dalam mengkampanyekan kelestarian sumberdaya bumi. Melalui tulisan ilmiah yang dihasilkan, diharapkan mampu memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pertambangan. Atas bantuan, kontribusi dan sumbangsih semua pihak hingga dapat terbitnya PROMINE Edisi Juni 2022, Vol. 10 (1), diucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA (Contents)

Judul (Title)	Hal. (page)
Karakteristik Inklusi Fluida Endapan Tembaga-Emas Porfiri Brambang Di Pulau Lombok, Indonesia (<i>Fluida Inclusions Characteristics Porphyry Copper-Gold Deposits Brambang Lombok Island, Indonesia</i>)	01 – 08
Aji Syailendra Ubaidillah ^{1*} ¹ Jurusan D3 Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Mataram	
Investigasi Kondisi Airtanah Dengan Geolistrik: Studi Kasus Endapan Aluvial di Bengalon, Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur (<i>An Investigation Of Groundwater Condition By Geoelectrical Resistivity Method: A case study in Bengalon, East Kutai, East Kalimantan Province</i>)	09 – 15
Shalaho Dina Devy ^{1*} , Ibnu Hasyim ² ¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Kalimantan Timur ² Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur	
Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Zonasi Kawasan Wilayah Pertambangan Di Kabupaten Madiun Menggunakan Basis Data Spasial (<i>Geographical Information System (GIS) Application for Regional Zoning Mining in Madiun Regency Using Spatial Database</i>)	16 – 21
Fajar Rizki Widiatmoko ^{1,2} , Yazid Fanani ^{1,3} , Donny Rusdian Pratama ¹ , I Wayan Koko Suryawan ⁴ , Mega Mutiara Sari ⁴ ¹ Teknik Pertambangan – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia ² Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University, Taiwan, R.O.C. ³ Teknik Geologi – Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia ⁴ Teknik Lingkungan – Universitas Pertamina, Indonesia	
Pengaruh Nilai Kuat Tekan Batupasir Terhadap Perbedaan Kondisi Fisik di Jalan Perjuangan dan Jalan Ringroad Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur (<i>The Effect of Sandstone Compressive Strength Values on Differences in Physical Conditions on Jalan Perjuangan and Jalan Ringroad Kota Samarinda, Province of East Kalimantan</i>)	22 – 29
Ketut Swarningsih ^{1*} , Revia Oktaviani ² , Henny Magdalena ³ , Tommy Trides ³ , Lucia Litha Respati ⁴ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman	
Potensi Logam Tanah Jarang Wilayah Toboali Bangka Selatan (<i>Potential Of Rare-Earth Metals Toboali Region South Bangka</i>)	30 – 36
Marwan Asof ^{1*} , Rosihan Pebrianto ² , Edwin Harsiga ³ , Syarifudin ⁴ ^{1,2,4} Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Universitas Sriwijaya ² Program Studi Ilmu Teknik, Universitas Sriwijaya ³ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung	
Analisis Kualitas Batubara Bonto Matinggi Sulawesi Selatan Untuk Kebutuhan Industri Semen (<i>Quality Analysis of South Sulawesi Bonto Matinggi Coal for Cement Industry Needs</i>)	37 – 43
Suriyanto Bakri ^{1*} , Imam Riswandi ² , Anshariah ³ , Harwan ⁴ ^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia	

Karakteristik Inklusi Fluida Endapan Tembaga-Emas Porfiri Brambang Di Pulau Lombok, Indonesia

(Fluida Inclusions Characteristics Porphyry Copper-Gold Deposits Brambang Lombok Island, Indonesia)

Aji Syailendra Ubaidillah^{1*}

¹Jurusan D3 Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Mataram

* Korespondensi E-mail: aji.syailendra@gmail.com

Abstrak

Dari inklusi fluida daerah penelitian di Desa Brambang Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat ditafsirkan tipe endapan emas di Daerah tersebut. Tipe endapan emas ini sangat penting untuk diketahui karena sangat berkaitan dengan potensi endapan emas di Daerah ini. Satuan litologi daerah Brambang dapat dibagi menjadi beberapa satuan batuan dengan mempertimbangkan dominasi litologinya yaitu: satuan tuf lapilli, satuan diorite, satuan tonalit dan satuan breksi diatrema. Sampel inklusi fluida yang diambil dari Tipe urat A, B dan C diketahui bahwa masing masing tipe urat mewakili kelompok Salinitas yang berarti juga mewakili Tipe endapan deposit. Karakteristik inklusi fluida dengan Salinitas tinggi dan homogenitas yang tinggi merupakan tipe mineralisasi urat porfiri. Inklusi fluida yang kaya akan Tipe II dan Tipe III meyakinkan pusat deposit porfiri Cu-Au berada di bagian bawah. Ada tiga tipe urat yang diamati dimana terdapat inklusi fluida yaitu tipe urat A, B dan C yang diambil dari zona urat pada batuan tonalit. Hasil pengukuran *salinity* menunjukkan dua grup temperatur yang dapat disesuaikan dengan tipe urat A-B untuk temperatur ~550 °C dan tipe urat C untuk temperatur ~250 °C, besaran temperatur tersebut mengindikasikan tipe mineralisasi porfiri yang berasosiasi dengan logam dasar.

Kata kunci: Inklusi fluida, salinity, porfiri

Abstract

The type of gold deposit in the research area in Brambang Village, Lombok Island, West Nusa Tenggara can be interpreted from several things, including fluid inclusions. This type of gold deposit is very important to know related to the potential gold deposits in this area. The lithology unit in the Brambang area can be divided into several lithological units considering their lithological dominance: lapilli tuff, diorite, tonalite and diatrema breccia. Fluid inclusions samples taken from vein types A, B and C are known that each vein type represents the group of Salinity which means it also represents the deposit type. Characteristics of fluid inclusions with high salinity and high homogeneity is a type of porphyry vein mineralization. Type II and Type III rich fluid inclusions ensure that the center of the Cu-Au porphyry deposit is below the samples position. There are three types of veins observed where there are the fluid inclusions samples are taken, namely vein types A, B and C from the vein zone in tonalite rocks. The results of salinity measurements show two temperature groups that can be adjusted with vein type A-B for a temperature of ~550 °C and vein type C for a temperature of ~250 °C, these temperature magnitudes indicate the type of porphyry mineralization associated with base metals.

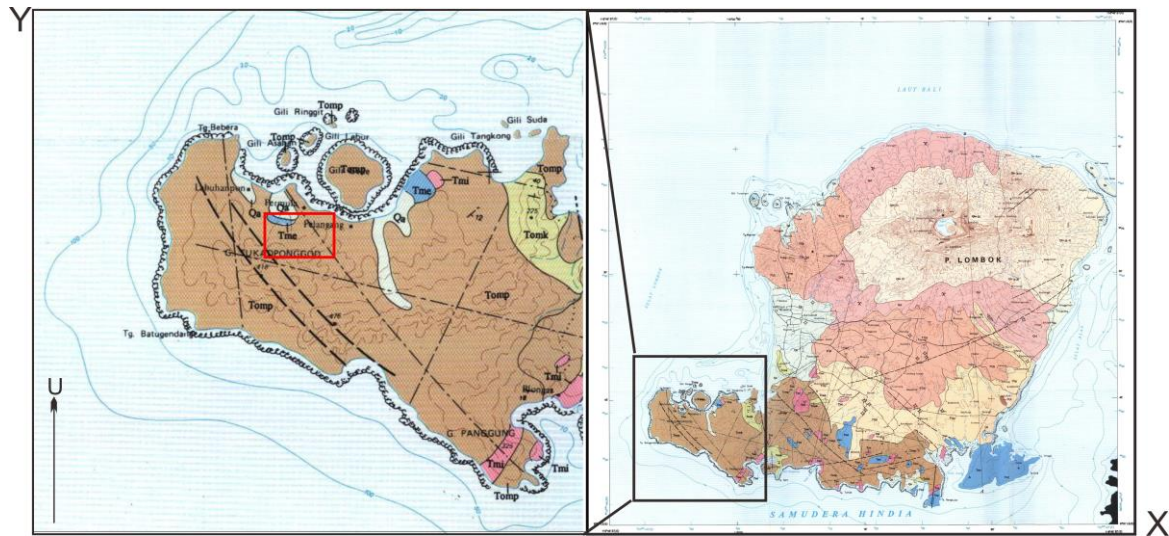
Keywords: Fluid inclusion, salinity, porphyry

1. Pendahuluan

Desa Brambang adalah salah satu dari beberapa daerah di Pulau Lombok yang memiliki mineralisasi endapan porfiri Cu-Au. Kekas serta sesar geser yang hadir berkembang dengan arah umum timur laut – barat daya dan barat laut - tenggara menunjukkan mineralisasi daerah desa Brambang terkontrol oleh struktur geologi yang signifikan (Faesal et al., 2022)(Ubaidillah et al., 2021).

Contoh setangan yang didapat dari banyak singkapan pada tepi jalan daerah Desa Brambang menunjukkan urat-urat yang saling berpotongan membentuk stockwork. Mineralisasi yang melimpah pada contoh setangan terdapat pada stockwork maupun secara tersebar. Stockwork adalah pengisian larutan hidrotermal pada rekahan yang saling memotong (Ridley, 2013). Lokasi penelitian berjarak 60 km melalui jalan aspal yang terletak di Desa Brambang, Kec. Sekotong, Kab.Lombok Barat. Daerah penelitian

terletak pada koordinat X dan Y di Barat Daya Pulau Lombok (Gambar 1.)



Gambar 1. Peta Geologi daerah Brambang dan sekitarnya.

Inklusi fluida yang didapat dari dari tiga belas lubang pemboran yang telah dilakukan adalah inklusi yang terjebak dalam tubuh mineral dalam bentuk sebagai cairan (liquid dan uap) dan banyak juga mengandung kristal (padat) di suhu permukaan. Inklusi fluida terbentuk bersamaan dengan pengendapan mineral di mana ia terjebak dalamnya, sehingga karakteristik kimia dan karakteristik fisika dari fluida hidrotermal yang membentuk mineral akan menyerupai dengan karakteristik masuknya cairan yang terjebak dalam tubuh mineral tersebut. Oleh karena itu analisis inklusi fluida dapat memberikan informasi tentang kondisi yang ada selama pembentukan mineral, seperti suhu, tekanan, dan komposisi fluida hidrotermal. Ukuran Fluid Inklusi berkisar antara 1 μ sampai dengan centimeter.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 ada tiga tipe utama Inklusi Fluida (Shepherd et al., 1985).

- Primer (P) : Terbentuk bersamaan dengan tumbuhnya Mineral Induk: Inklusi Primer ini terbentuk terisolasi atau dalam kelompok kecil dan dapat menentukan arah dari pertumbuhan Mineral Induk.
- Sekunder (S): Terbentuk setelah pertumbuhan Mineral Induk selesai: Inklusi tersebut melintasi zona Mineral Induk dan bahkan batas Mineral.
- Pseudosekunder (PS): Terbentuk didalam rekahan satu Kristal Tunggal dan tidak melewati batas Mineral.

Pada dasarnya Inklusi Fluida memiliki kombinasi dari satu atau beberapa Phase (Pirajno, 2009).

L = Cair (Liquid), (e.g. H₂O, Hydrocarbons).

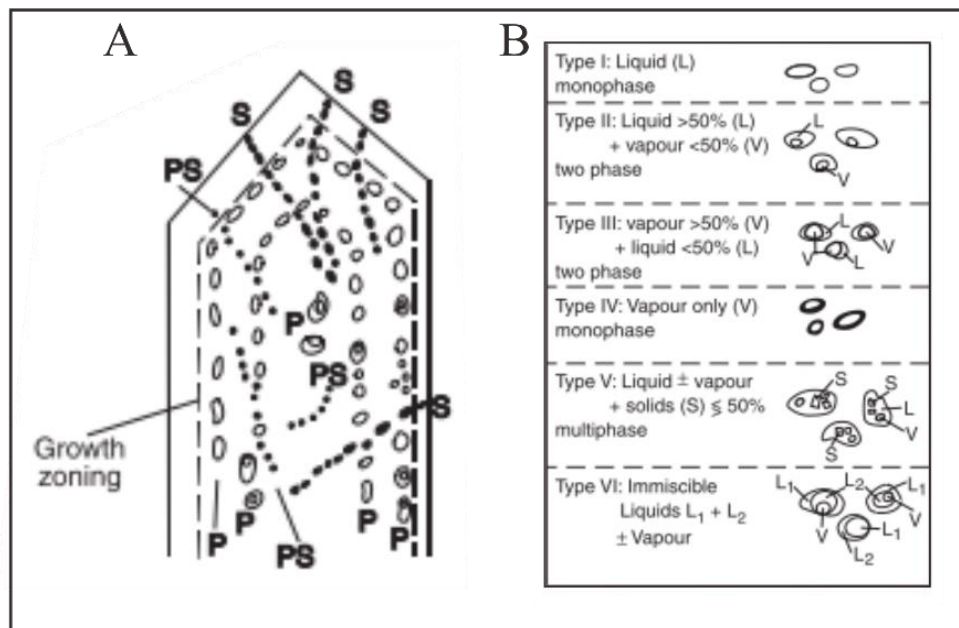
V = Gas (Vapour), (e.g. H₂O, CO₂, CH₄).

S = Padat (Solid), (e.g. Halit (NaCl), Sylvite (KCl), Sulphides, Carbonat.).

Pada ruang temperature Inklusi Fluida terjadi dengan beberapa kombinasi, seperti yang diterangkan oleh Roedder (1971), Shepherd et al., (1985) dan Nash (1976).

- (1) Tipe I, L-V (L=*liquid*, fase cair; V=*Vapour*, fase uap), cairan-uap (10-40 vol.% Uap). Tipe inklusif fluida ini biasanya terkait dengan zona alterasi propilitik atau serisit (Nash, 1976 dan Hedenquist dkk., 1998).
- (2) Tipe II, V-L (L=*liquid*, fase cair; V=*Vapour*, fase uap), uap-cairan dengan satu atau lebih *daughter mineral* (60-90 vol.% Uap).
- (3) Tipe III, L-V (L=*liquid*, fase cair; V=*Vapour*, fase uap), kaya cairan, cairan-uap dengan lebih dari satu *daughter mineral*.
- (4) Inklusi tipe IV kaya CO₂ cair, dan tidak khas dari kebanyakan deposit porfiri (Nash, 1976).

Inklusi Tipe I ini biasanya terkait dengan zona alteritis propilitik atau serisit (Nash, 1976; Hedenquist et al., 1998), sedangkan Inklusi Tipe II dan III berhubungan erat dengan zona alterasi potasik, dan tipikal inklusi didalam urat / urat kuarsa awal "A", "B" dan "AB" pada sistem porfiri (Nash, 1976; Hedenquist et al., 1998).



Gambar 2. Tipe dan Klasifikasi Inklusi Fluida. (A): Primer (P), Sekunder (S), Pseudosekunder (PS) Inklusi Fluida pada Kristal Kuarsa. (B): Inklusi Fluida pada Ruang Temperatur (Shepherd et al., 1985).

2. Metode

Petrografi analisis inklusi fluida pada daerah penelitian dilakukan terhadap tujuh sampel (sampel no.50, 6, 18, 72, 62, 48, 39 dan 68) pengukuran inklusi fluida dilakukan pada urat kuarsa "A", "B", "AB" dan D dengan total pengukuran 97 inklusi fluida (Tabel 1.). Analisis tersebut hanya dilakukan pada inklusi fluida primer, yang dicirikan dengan keterdapatannya yang tersebar secara acak, paralel terhadap zona pertumbuhan kristal, dan bersifat terisolasi, meskipun terdapat pula inklusi fluida sekunder di dalam urat, yang dicirikan dengan keterdapatannya yang paralel pada bidang retakan dan memotong zona pertumbuhan kristal.

Untuk mengetahui temperatur homogenisasi (Th) dan temperatur pelelehan (Tm) dilakukan pengukuran mikrotermometri, yang mana temperatur pelelehan (Tm) tersebut digunakan untuk menentukan nilai salinitas fluida hidrotermal yang berperan saat pembentukan kristal. Estimasi pengeplotan menggunakan copyright dari software SOWATFLINC_INCLUSION ver.2007 (Bodnar, 1993). Selanjutnya temperatur pelelehan (Tm) akan diplot terhadap temperatur homogenisasi (Th) menjadi Temperatur-Salinitas Diagram (Large et al., 1988) untuk mendapatkan penentuan tipe endapan pada daerah penelitian.

Petrografi inklusi fluida akan mengidentifikasi, menjelaskan dan mengklasifikasikan inklusi fluida Tipe I, Tipe II dan Tipe III pada mineral kuarsa. Tipe I Inklusi fluida primer dengan ukuran 5-

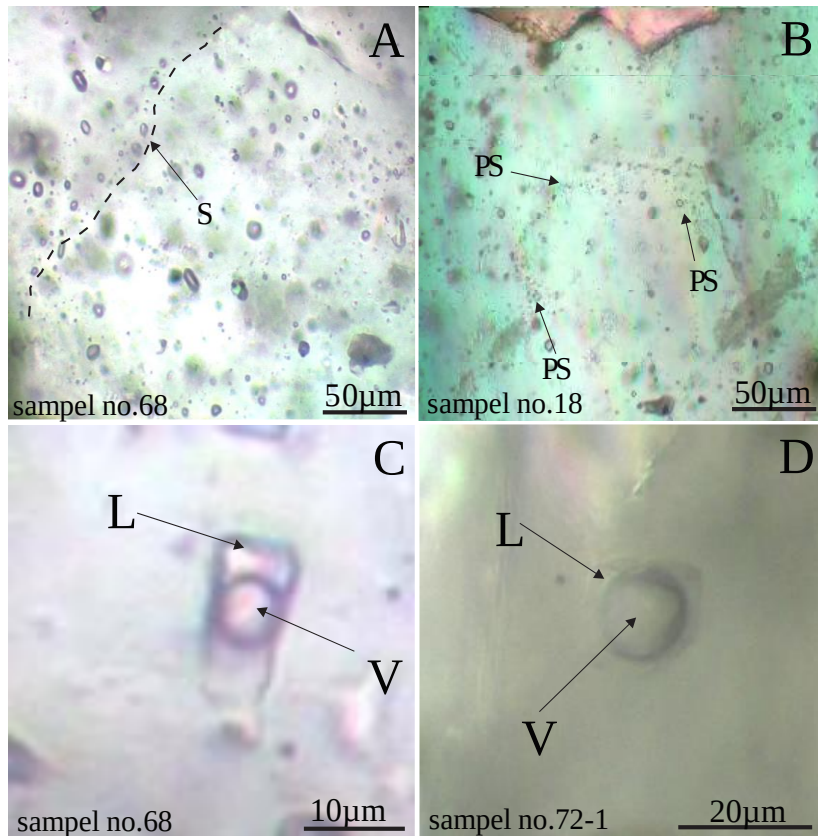
20µm ditunjukkan pada Gambar 3. C dan D. Inklusi Fluida ini diambil dari urat kuarsa "D". Inklusi fluida tipe I pada Gambar 3. C dan D menunjukkan alterasi profilitik dan advance argilik (Nash, 1976; Hedenquist et al., 1998). Klasifikasi inklusi fluida S (sekunder) yang melintasi zona mineral induk dan PS (pseudosekunder) yang tidak melintasi batas Mineral, dapat dilihat pada Gambar 3. A dan B. Petrografi studi inklusi fluida di daerah penelitian pada urat kuarsa "A", "B" dan "AB" memperlihatkan Inklusi Fluida Tipe II dan Tipe III yang terdiri dari V+L+S1+S2+S3, Gas=V (vapour), Cair = L (liquid) dan S1, S2 dan S3 adalah Padat yang lebih dikenal dengan 'daughter mineral' halite (NaCl), Sylvite (KCl), Sulphides.

Petrografi inklusi fluida menunjukkan inklusi fluida Tipe II dengan komposisi V>L + satu atau lebih *daughter mineral* (Roedder, 1971., Shepherd et al., 1985, dan Nash, 1976.). Inklusi ini diambil dari vein "B" pada sampel no.6-1 dan dari vein "A" pada sampel no.50-1 (Gambar 4.).

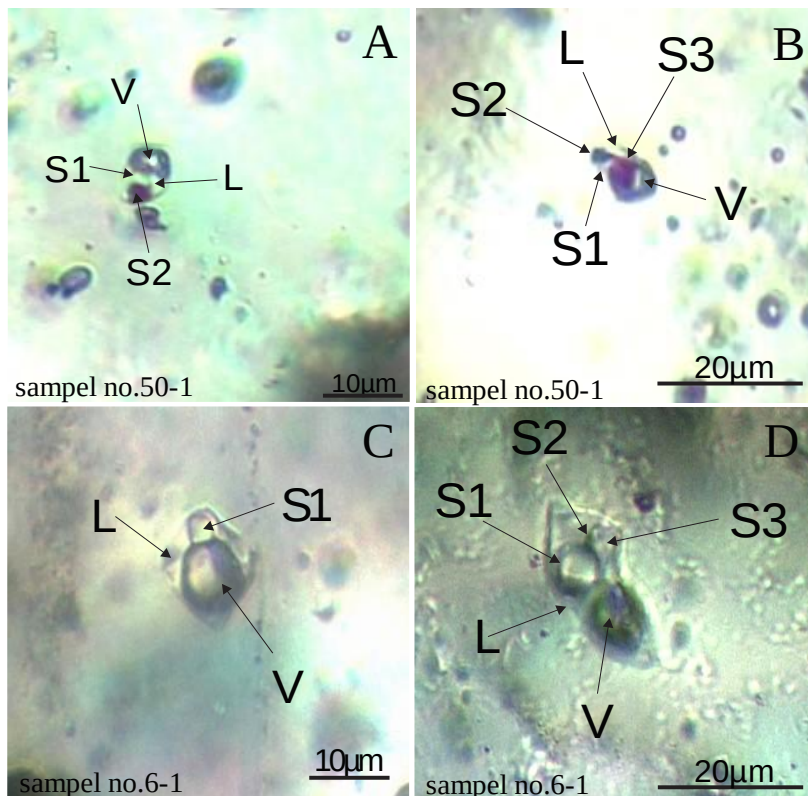
Tipe III inklusi fluida dengan komposisi L-V + lebih dari satu *daughter mineral* dapat dilihat pada Gambar 5.-C. Gambar 5.-D memperlihatkan urat kuarsa yang kaya akan Inklusi Fluida Tipe II dan Tipe III. Mengacu pada penelitian sebelumnya (Ubaidillah et al., 2021), Urat kuarsa pada batuan tonalit ini dominan Au-Cu bila melihat dari begitu kayanya urat kuarsa A-B dengan inklusi fluida tipe II-III.

Tabel 1. Daftar Analisis Inklusi Fluida Th, Tm, Salinitas dan Jenis Urat

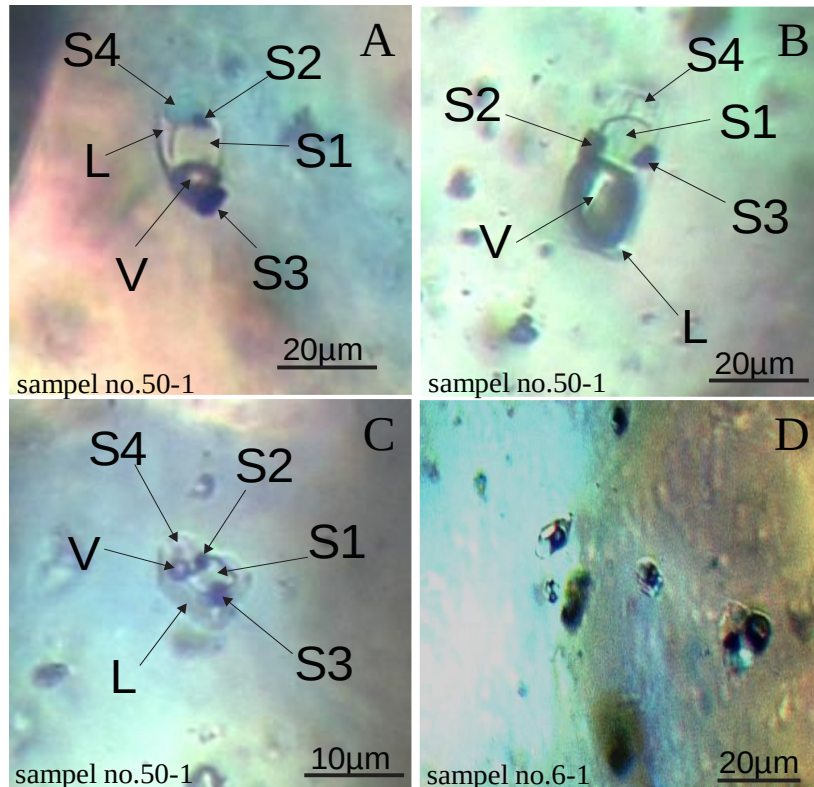
Sampel No.	Vein	Tipe vein	Tipe Inklusi	Th	TM	Salinity	Sampel No.	Vein	Tipe vein	Tipe Inklusi	Th	TM	Salinity
62	1	C	1	282	-2,8	4,6	50	1	C	3	348	-0,8	1,4
62	1	C	1	318	-3,7	6	50	1	C	3	359	-0,8	1,4
62	1	C	1	289	-2,2	3,7	6	1	C	1	284	-0,3	0,5
62	1	C	1	280	-2	3,3	6	1	C	1	291	-0,3	0,5
62	1	C	1	324	-2,2	3,7	6	1	C	1	309	-0,7	1,2
62	1	C	1	310	-2,2	3,7	6	1	C	1	313	-0,7	1,2
62	1	C	1	293	-2,4	4	6	1	C	1	359	-0,6	1
62	1	C	1	297	-2	3,3	6	1	C	1		-0,8	1,4
62	1	C	1		-2	3,3	6	1	C	1	386	-1,5	2,5
62	1	C	1	260	-2,8	4,6	6	1	C	1	381	-1,4	2,4
62	2	C	1	280	-2,1	3,5	6	1	C	1		-0,7	1,2
62	2	C	1	287	-1,9	3,2	6	2	C	1	323	-0,8	1,4
62	2	C	1	316	-2,9	4,8	6	2	C	1		-1	1,7
62	2	C	1	279	-1,5	2,5	6	3	C	1	335	-0,7	1,2
62	2	C	1	264	-1,8	3	6	3	C	1	340	-0,4	0,7
62	2	C	1	273	-2	3,3	6	3	C	1	297	-1,2	2
62	3	C	1		-1,2	2	6	3	C	1	293	-0,4	0,7
62	3	C	1	274	-1,6	2,7	6	3	C	1	289	-1,1	1,9
62	3	C	1		-2,1	3,5	6	3	C	1	310	-0,4	0,7
62	3	C	1	243	-2,3	3,8	6	3	C	1	315	-1,1	1,9
62	3	C	1	281	-2,1	3,5	6	3	C	1	261	-0,4	0,7
62	3	C	1	287	-2	3,3	48	2	AB	2	550	-1,8	65,28
48	2	C	1	337	-1,8	3	48	2	AB	2	560	-1,8	62,6
48	2	C	1	342	-1,4	2,4	72	1	B	2	450	-1,6	61,52
48	2	C	1	296	-1,8	3	72	1	B	2	460	-1,2	65,26
48	2	C	1		-1,6	2,7	6	1	A	2	570	-0,8	60,76
48	2	C	1	364	-1,7	2,9	6	1	A	2	545	-1,4	62,85
48	2	C	1		-1,8	3	6	1	A	2	535	-1,6	61,87
48	2	C	1	296	-1,8	3	18	1	A	3	550	-2	38,32
18	1	C	1	202	-2,2	3,7	50	1	AB	3	585	-0,7	72,07
18	3	C	1	199	-1,8	3	50	1	AB	3	550	-0,7	68,32
18	3	C	1	176	-1,4	2,4	50	1	AB	3	450	-1,4	69,32
18	3	C	1	175	-0,8	1,4	50	1	AB	3	450	-1,4	68,82
18	3	C	1	178	-1,8	3	50	1	AB	3	450	-0,9	67,32
18	3	C	1		-0,8	1,4	50	1	AB	3	450	-0,7	67,82
72	1	C	1		-2	3,3	50	1	AB	3	450	-1,2	69,07
72	1	C	1	323	-2,1	3,5	50	1	AB	3	450	-1,2	68,32
72	1	C	1	350	-1,5	2,5	50	3	A	3	550	-0,6	69,82
72	1	C	1	298	-2,4	4	50	3	A	3	550	-1,2	67,07
72	1	C	1	267	-1,9	3,2	50	3	A	3	550	-1,2	67,57
72	1	C	1		-1,9	3,2	50	3	A	3	550	-2,2	69,57
72	1	C	1	363	-0,7	1,2	6	2	A	3	550	-0,5	68,32
72	1	C	1	367	-0,7	1,2	6	3	A	3	550	-0,4	68,32
72	1	C	1	365	-0,6	1							



Gambar 3. A dan B menunjukkan klasifikasi Inklusi Flida Sekunder (S) dan Pseudosekunder (PS). C dan D menunjukkan kalsifikasi Inklusi Fluida Primer dari urat kuarsa "D" (L+V) dan (V+L).



Gambar 4. Petrografi analisis Inklusi Fluida Tipe II V+L dengan satu atau lebih daughter mineral. A dan B menunjukkan mineral hematit dengan warna "merah".



Gambar 5. A dan B Inklusi Fluida Tipe II V+L dengan satu atau lebih daughter mineral. C Inklusi Fluida Tipe III L+V dengan lebih dari satu daughter mineral. D dengan urat kuarsa yang kaya akan Inklusi Fluida Tipe II dan Tipe III.

3. Hasil dan Pembahasan

Tipe I (L-V).

63 inklusi fluida Tipe I telah di analisis microthermometry dari Tipe I inklusi fluida dilakukan pada sebanyak 63 inklusi Fluida pada vein "D". Sebagian kecil inklusi fluida dari Tipe I juga di analisis pada vein "B" dimana juga terdapat Inklusi fluida Tipe II (Gambar 6). Temperatur homogenisasi (Th) berkisar antara 170 hingga 390°C, dengan salinitas keseluruhan 0.5 - 6 wt.% NaCl. (estimasi pengeplotan salinitas menggunakan table dari Potter et al., 1978. Nilai salinitas yang didapat dari temperatur pelelehan (Tm) akan di plot terhadap temperatur homogenisasi (Th) untuk mendapatkan tipe endapan pada daerah penelitian, ditunjukkan pada Gambar 6.

Tipe II (V-L) dengan satu atau lebih *daughter mineral*.

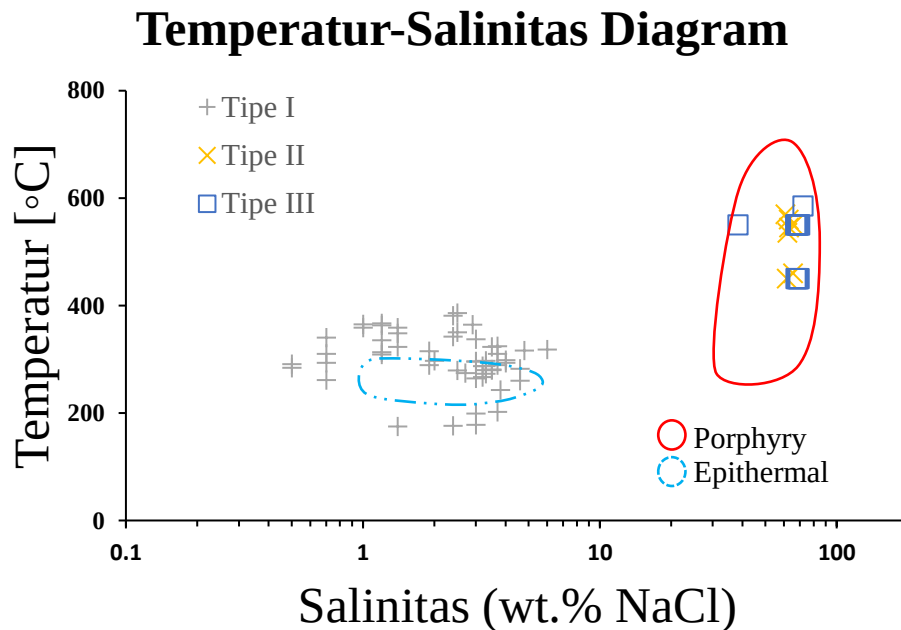
Sebanyak 7 inklusi fluida Tipe II telah di analisis mikrotermometri pada vein "AB" dan "B" dengan kode sampel 72-1 dan 6-1. Temperatur homogenisasi (Th) berada diatas 500°C dengan salinitas ≥ 60 wt.% NaCl. Tipe I (Gambar 6.) inklusi fluida yang di analisis bersamaan dengan Tipe II memiliki salinitas ≈ 3 wt.% NaCl nilai ini diatas rata rata dari nilai salinitas yang dimiliki inklusi fluida Tipe I pada vein "D".

Tipe III (L-V) dengan satu atau lebih *daughter mineral*.

Analisis mikrotermometri telah dilakukan pada 15 inklusi fluida Tipe III (Gambar 6.). Analisis mikrotermometri ini dilakukan pada vein "A" dan "AB" dengan kode sampel 18-1, 50-1 dan 50-3. Pada sampel 50-1. Temperatur homogenisasi inklusi fluida Tipe III ini berada diatas 500°C dengan salinitas ≥ 60 NaCl wt.%. Pada kode sampel 50-1 terdapat juga inklusi fluida Tipe I (L-V) dengan salinitas ≈ 3 wt.% NaCl.

Dari tipe dan urat/urutan di lokasi penelitian didapatkan 2 evolusi alterasi hidrotermal. Pertama tahap porfiri tua dengan urat A, AB, B, yang berisikan mineral penciri dari alterasi potasik. Tahap ini dicirikan dengan temperatur $\geq 550^\circ\text{C}$ dan Salinitas ~ 70 wt.% NaCl. Kedua adalah tahap porfiri muda yang membentuk urat kuarsa D yang berisikan mineral penciri alterasi filik, - argilik. Tahap ini dicirikan dengan temperatur 150°C-400°C dan Salinitas rendah 0.5-7 wt.% NaCl.

Karakteristik inklusi fluida pada tahap porfiri tua yang kaya akan kristal padat / daughter mineral S1, S2, S3, S4 (halit/NaCl, Sylvite/KCl, Sulphides) tidak sama dengan karakteristik inklusi fluida pada tahap porfiri muda yang hanya berisi lebih sedikit kristal padat / daughter mineral S1-S2.



Gambar 6. Diagram Salinitas (wt.% NaCl) terhadap Temperatur [T_h] terkait penentuan tipe endapan pada daerah penelitian Brambang di Plot dan dimodifikasi pada Diagram Tipe Endapan menurut Large et al., (1988).

4. Kesimpulan

Sampel inklusi fluida yang diambil dari urat *crosscutting* masing masing adalah tipe urat A, B, dan C, dari masing masing tipe urat mewakili kelompok salinitas yang berarti juga mewakili tipe endapan deposit dilokasi penelitian. Pengukuran salinitas pada batuan tonalit didapat 3 tipe urat A, B dan C yang menunjukkan dua grup temperatur yang berbeda tetapi dapat disesuaikan dengan tipe urat A-B untuk temperatur $\sim 550^\circ\text{C}$ dan tipe urat C untuk temperatur $\sim 250^\circ\text{C}$, besaran temperature tersebut mengindikasikan tipe mineralisasi porfiri yang identik dengan *crosscutting* vein nya dan juga intrusi berulang. Karakteristik inklusi fluida dengan salinitas tinggi dan homogenitas tinggi merupakan tipe mineralisasi urat porfiri.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini tidak lupa saya mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada civitas akademi Universitas Muhammadiyah Mataram tempat dimana saya mengajar sampai dengan saat ini, guru-guru, institusi-institusi yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan yang sebesar-besarnya saya berikan kepada mereka semua yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu begitu juga untuk keluarga saya.

Daftar Pustaka

- Bodnar, R. J. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ solutions. 57(1988), 683–684.
- Faesar, A., Aminuddin, M. I. K. A., & Ubaidillah, A. S. (2022). Host Rock Petrology, Hydrothermal Alteration Characteristics & Ore Mineralogy of Porphyry Copper-Gold Deposit, Brambang, Lombok, West Nusa Tenggara Indonesia. RCM & MAMIP 2021.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., & Reynolds, T. J. (1998). Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology*, 93(4), 373–404.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.93.4.373>
- Large, R., Huston, D., McGoldrich, P., McArthur, G., & Ruxton, P. (1988). Gold distribution and genesis in paleozoic volcanogenic massive sulphide Systems. In: *Bicentennial Gold 88*. Geological Society Austr., 22, 121–126.
- Nash, J. T. (1976). Data from Porphyry Copper Deposits and Applications to Exploration: Reston, VA, United States, U. S. Geological Survey. D1–D16.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*.
- Potter, R. W., Clynne, M. A., & Brown, D. L. (1978). Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, 73(2), 284–285.

- <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.73.2.284>
Ridley, J. (2013). *Ore Deposit Geology*. New York: Cambridge University Press.
- Roedder, E. (1971). Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. *Economic Geology*, 66, 98–118.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H., & D.H.M., A. (1985). *A practical guide to fluid inclusion studies*. Glasgow: Blackie; New York: Distributed in the USA by Chapman and Hall, 239.
- Ubaidillah, A. S., Idrus, A., Warmada, I. W., & Maula, S. (2021). Geology, Rock Geochemistry and Ore Fluid Characteristics of the Brambang Copper-Gold Porphyry Prospect, Lombok Island, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(1), 67.

Investigasi Kondisi Airtanah Dengan Geolistrik: Studi Kasus Endapan Aluvial di Bengalon, Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur

(An Investigation Of Groundwater Condition By Geoelectrical Resistivity Method: A case study in Bengalon, East Kutai, East Kalimantan Province)

Shalaho Dina Devy^{1*}, Ibnu Hasyim²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Kalimantan Timur

²Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

*Korespondensi E-mail: shalaho.d2@gmail.com

Abstrak

Bengalon berlokasi di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Bengalon masuk dalam cekungan airtanah Samarinda-Bontang. Berkembangnya daerah pertanian dan industri yang dibarengi makin banyaknya daerah pemukiman menyebabkan peningkatan kebutuhan air baku pada daerah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi airtanah daerah aluvial dengan metode geolistrik resistivitas. Survei resistivitas menghasilkan litologi bawah permukaan, kondisi airtanah dangkal yang berupa kedalaman, ketebalan, dan jenis akuifer serta tipe kualitas airtanahnya. Terdapat 10 lokasi pengambilan data geolistrik dengan metode geolistrik 2D. Hasil penelitian diketahui bahwa mayoritas akuifer berupa endapan aluvial yang terdiri pasir dan lempung pasir. Resistivitas yang mengindikasikan airtanah, yaitu 1 – 4 Ω m, berada pada kedalaman 0 – 50 m dengan ketebalan bervariasi dari 10 – 20 m. Adanya intrusi air laut pada akuifer menyebabkan kualitas airtanah cenderung payau yang disebabkan berada di daerah rawa yang berbatasan dengan pantai.

Kata kunci: Airtanah, geolistrik, aluvial, Bengalon

Abstract

Bengalon is located in East Kutai Regency, East Kalimantan Province. Bengalon is included in the Samarinda-Bontang groundwater basin. The development of agricultural and industrial areas, followed by an increase in residential areas, will cause an increase in the water demand. This study aims to determine the groundwater potential of alluvial areas using the resistivity geoelectric method. The resistivity survey resulted in subsurface lithology, shallow groundwater conditions in the form of depth, thickness, and location of the aquifer as well as the type of groundwater quality. There are 10 locations for geoelectric data collection using the 2D geoelectric method. The results showed that the majority of the aquifers were alluvial deposits consisting of sand and sandy clay. The resistance indicating groundwater is 1 - 4 Ω m, at a depth of 10 – 50 m with a thickness varying from 10 – 20 m which has been dominated by sand. The presence of sea water intrusion in aquifers causes the quality of groundwater to tend to be brackish because the research location is in a swamp area bordering the coast.

Keywords: Groundwater, geoelectric, alluvial, Bengalon

1. Pendahuluan

Daerah penelitian didominasi endapan aluvium. Aluvium merupakan deposit material mayoritas terdiri dari lempung/tanah liat, pasir, dan kerikil. Kondisi ini menjadikan wilayah ini memiliki tanah yang tidak padat dan rentan terpengaruh apabila terjadi getaran bumi. Selain itu, wilayah ini merupakan daerah rawa-rawa dan dekat dengan pantai, yang dimungkinkan air laut akan mengintrusi masuk ke darat melalui lapisan akuifer (Fetter, 2001).

Geolistrik 2D merupakan metode geofisika yang menggunakan parameter kelistrikan, yaitu nilai resistivitas tanah, yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran perlapisan batuan bawah permukaan dengan menempatkan

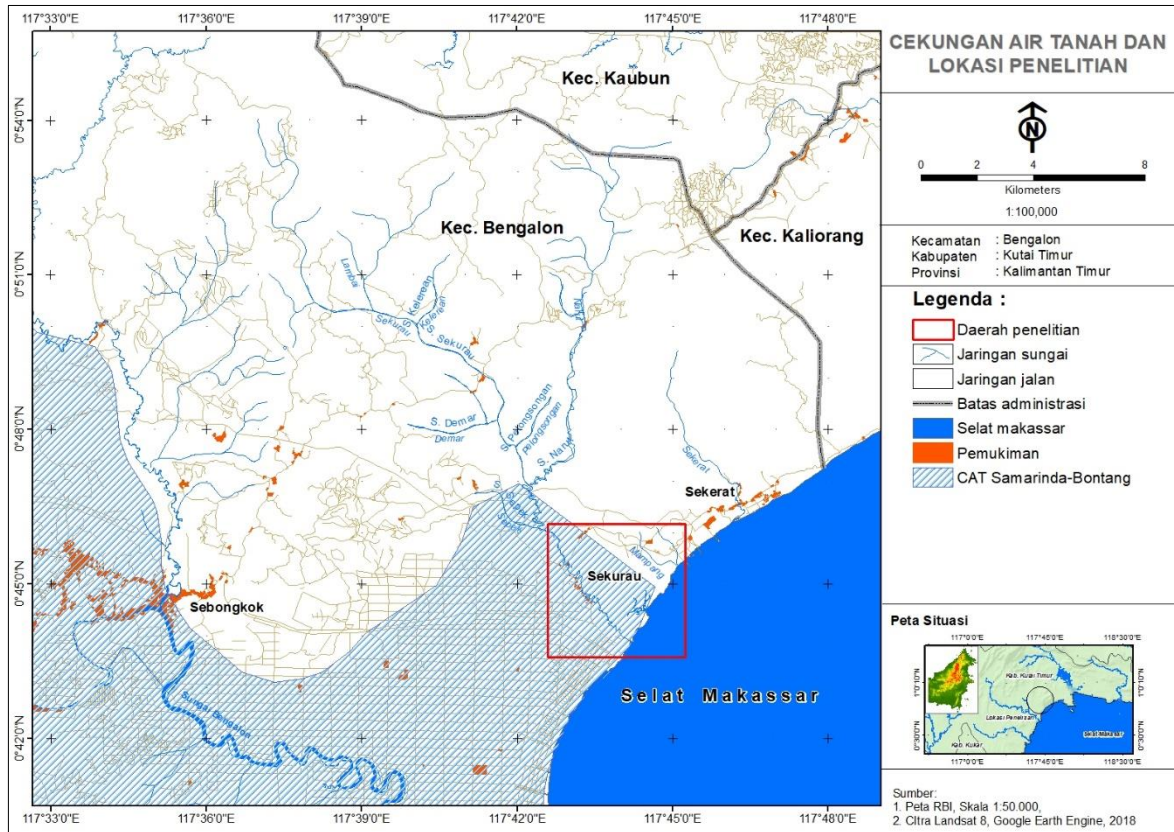
elektroda di atas permukaan tanah (Devy & Sarungallo, 2018; Azhar & Handayani, 2004). Selain itu, metode ini juga dapat mengetahui penyebaran perlapisan batuan/material secara kualitatif dan dua dimensi, serta memprediksikan sebaran airtanahnya (Santoso, 2016; Muhammad dkk., 2016).

Parameter terukur dari pengukuran ini adalah beda potensial (V) dan arus listrik (I) (Telford et al., 1990). Adapun variabel dalam pengukuran ini adalah jarak elektroda terhadap titik ukur. Dengan informasi nilai beda potensial, arus listrik dan posisi elektroda, serta melalui pengolahan *forward* dan *inversi* akan didapatkan perlapisan resistivitas. Selanjutnya perlapisan resistivitas ini diinterpretasikan sebagai perlapisan batuan.

2. Metode

Penelitian berlokasi di Desa Sekurau, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Kecamatan Bengalon mempunyai jarak ± 250 km dari ibu kota provinsi Kalimantan Timur, yaitu Samarinda, yang

ditempuh ± 10 jam perjalanan melewati darat ke arah utara. Sedangkan jarak lokasi penelitian dengan Kecamatan Bengalon ± 20 Km. Selain itu, daerah penelitian termasuk dalam Cekungan Air Tanah Samarinda-Bontang. Deskripsi lokasi dan Cekungan Air Tanah (CAT) daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Tahapan penelitian awal diawali dengan studi literatur yang diperoleh dari jurnal, buku teks, laporan-laporan penelitian terdahulu yang relevan. Selanjutnya, observasi lapangan yang diharapkan dapat mengetahui secara detail lokasi penelitian, seperti topografi, geomorfologi dan pemanfaatan lahan.

Data-data yang menjadi penentu penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua data ini saling terkait satu dengan yang lain, sehingga dapat menghasilkan analisis data yang sesuai dengan kondisi lapangan dengan pendekatan kuantitatif.

1. Data Sekunder.

- Data peta topografi. Data ini bersumber dari situs *Online* yang berupa peta DEMNAS. DEMNAS atau *Digital Elevation Model* yang dikhususkan untuk wilayah Indonesia. Situs yang

menyediakan data ini adalah <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>

- Peta tata guna lahan. Sumber data berasal dari digitasi citra satelit Google map yang terbaru.
- Peta Geologi regional. Peta geologi ini yang digunakan berasal dari peta lembar Sangatta nomor 1916 yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung yang dibuat oleh Sukardi dkk., (1995).
- Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), nomor peta 1916 lembar Bontang dari Bakosurtanal, yang sekarang berganti nama dengan Badan Informasi Geospasial (BIG) Bogor.

2. Data Primer

- Data pengukuran lapangan litologi bawah permukaan dengan metode geolistrik 2D. penelitian ini menggunakan 10 lintasan

dengan Panjang lintasan 475 – 500 meter, spasi elektroda 10 meter, dan penetrasi kedalaman 90 meter. Adapun peralatan yang digunakan dalam penerapan metode geolistrik 2D.

Tabel 1. Peralatan penelitian

No	Peralatan	No	Peralatan
1	Resistivity meter Syscal Jr.	6	Multi Channel Switch Box
2	Rol kabel 12 buah (@ 100 meter)	7	Palu 4 buah
3	Elektroda (49 buah)	8	HT (<i>Handy Talky</i>) 4 buah
4	Meteran 2 buah	9	GPS (<i>Global Positioning System</i>)
5	Aki 12 volt	10	Toolkit

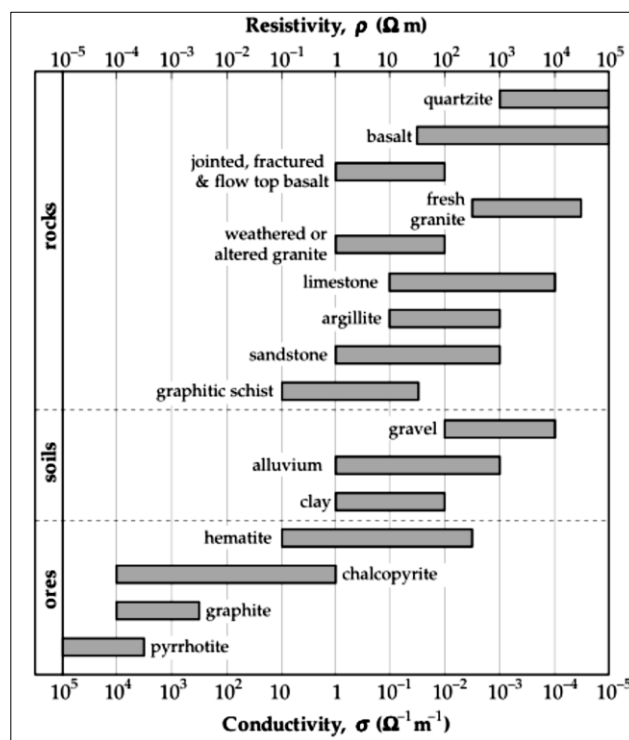
Geolistrik 2D merupakan metode geofisika yang menggunakan parameter kelistrikan untuk mendapatkan gambaran per lapisan batuan bawah permukaan. Metode penelitian ini didasarkan pada penempatan elektroda pada permukaan kemudian di aliri arus listrik sehingga akan mendapatkan beda potensial (V) dan arus listrik (I) pada setiap per lapisan batuan yang pada dasarnya memiliki resistivitas yang berbeda-beda (Grant & West, 1965; Koefoed, 1979).

Secara umum faktor yang mempengaruhi sifat kelistrikan batuan adalah konduksi elektrolitik, konduksi elektrolitik, dan konduksi dielektrik. Sifat kelistrikan adalah karakteristik batuan ketika dialirkan pada batuan tersebut. Konduksi

elektronik terjadi pada material yang memiliki banyak elektron bebas di dalamnya sehingga arus listrik dialirkan dalam material oleh elektron bebas. Selain itu, kimia airtanah, khususnya kation-anion utama, juga mempengaruhi dari kelistrikan material/batuan yang menjadi penentu kualitas airtanah (Wilopo dkk., 2020).

Konduksi elektrolitik banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porous dan pada pori-pori tersebut terisi oleh larutan elektrolit sehingga memungkinkan arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduktivitas dan resistivitas batuan pori bergantung pada volume dan susunan pori-porinya (Todd & Mays, 2005).

Tabel 2. Nilai resistivitas batuan dan mineral bumi (Lowrie, 2007)



Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak,

begitu pula sebaliknya. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik artinya

batuan tersebut mempunyai elektron sedikit bahkan tidak ada sama sekali (Timotius dkk., 2014). Namun, akibat adanya pengaruh medan listrik dari luar, maka elektron-elektron dalam atom batuan akan berpindah dan berkumpul terpisah dengan intinya, sehingga terjadi polarisasi. Berdasarkan nilai resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu; konduktor baik ($10^{-5} < \rho < 10^0 \Omega \text{ m}$), konduktor pertengahan ($10^0 < \rho < 10^5 \Omega \text{ m}$), isolator ($\rho > 10^5 \Omega \text{ m}$) (Lowrie, 2007). Secara rinci, Tabel harga resistivitas material bumi dapat dilihat pada Tabel 2.

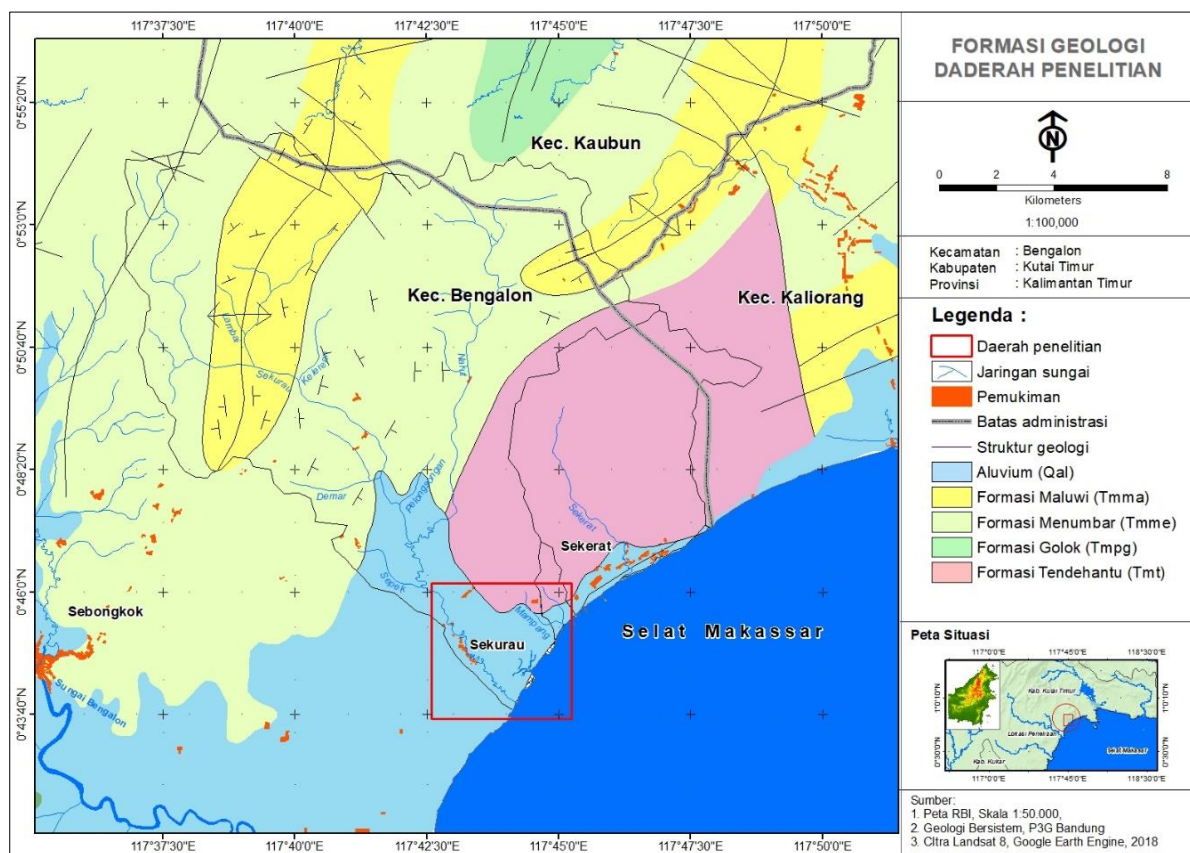
Tahap analisis merupakan tahapan setelah pengambilan data pengukuran di lapangan beserta data sekunder. Data yang diperoleh dari pengukuran kemudian diproses untuk mendapatkan nilai resistivitas semu dengan mengalikan nilai resistansi dengan faktor geometri. Proses ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak tabulasi. Selanjutnya, dengan perangkat lunak editing teks, data disusun sesuai perangkat lunak yang akan digunakan untuk mengolah, yaitu Res2dinv.

Data masukan resistivitas ini masih semu, sehingga perlu dilakukan inversi agar menjadi resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) dengan cara membuat model penampang 2D

berdasarkan parameter lapangan dan perhitungan. Selanjutnya, hasil parameter data lapangan dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model penampang 2D hasil inversi. Hasil inversi kemudian dilakukan proses pemodelan ke depan (*forward modeling*) untuk mendapatkan model penampang 2D hasil perhitungan. Penampang ini kemudian dilakukan pencocokan dengan hasil model penampang dari parameter lapangan untuk didapatkan akar kesalahan kuadrat rata-rata atau RMSE (*Root Mean Square Error*). Apabila RMSE masih tinggi maka dilakukan perhitungan kembali sampai mendapatkan nilai $< 10\%$. Sehingga, model yang didapatkan akan sesuai/mendekati dengan kondisi geologi dan keadaan sebenarnya di lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

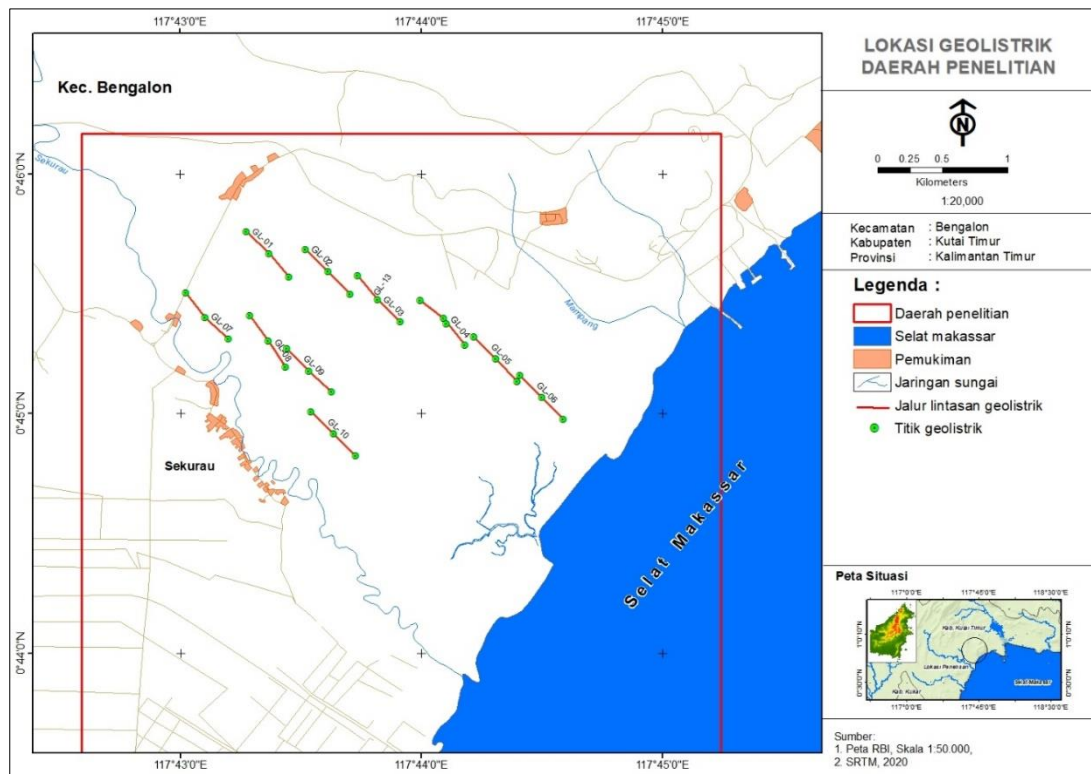
Lokasi penelitian dan seluruh lintasan geolistrik secara geologi berada di Formasi Aluvium Deposit (Qa) yang mengandung litologi lempung, silt, pasir, gravel dan material *unconsolidated* lainnya hasil erosi yang terendapkan. Secara detail, posisi daerah penelitian pada geologi regional ditunjukkan pada Gambar 2.



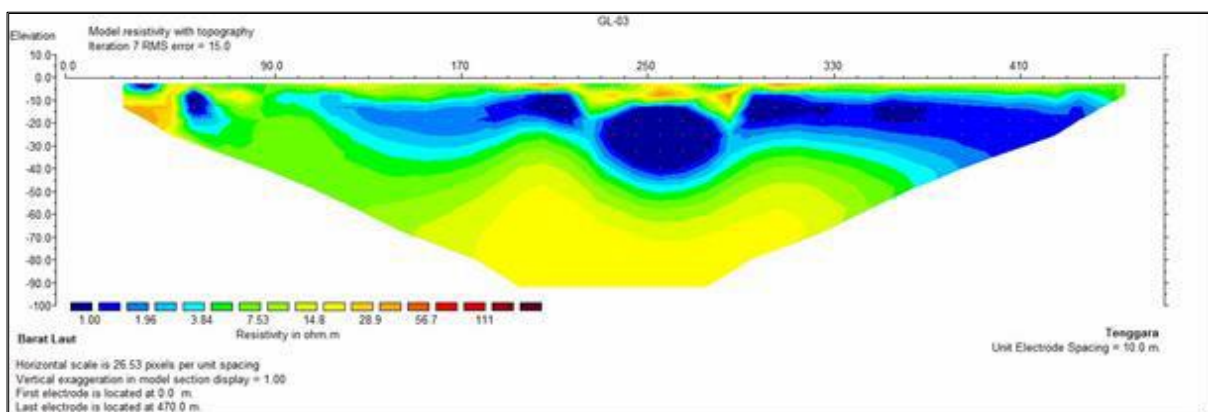
Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian

Daerah penelitian (kotak merah) masuk dalam dua formasi, yaitu Formasi Tendehantu (Tmt) dan Endapan Aluvium (Qa). Formasi Tendehantu terdiri atas batugamping terumbu koral dan batugamping terumbu. Sementara itu, endapan Aluvium, yang menjadi mayoritas lokasi penelitian, meliputi endapan lempung, lanau, pasir, dan kerikil yang terbentuk akibat pengendapan sungai. Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan lintasan daerah penelitian berada dekat dengan pantai sehingga endapan pantai juga ikut andil dalam pembentukan formasi di daerah ini.

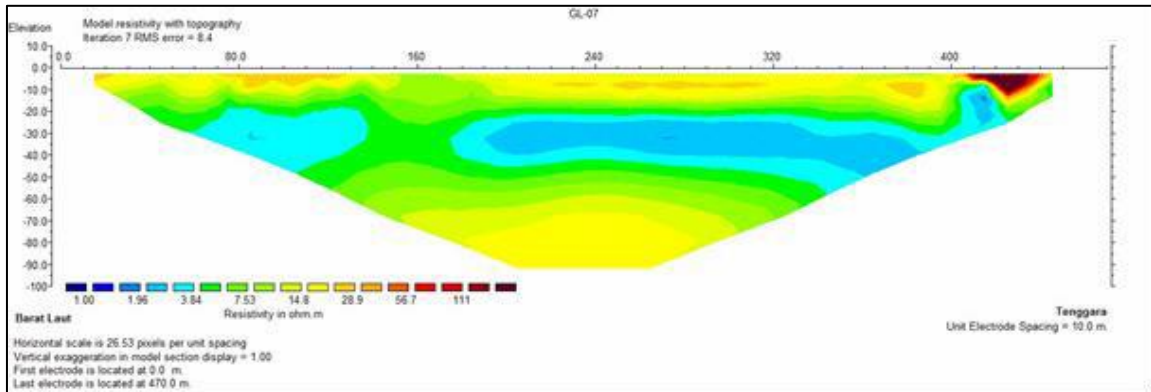
Daerah pengukuran geolistrik 2D didominasi oleh rawa-rawa yang banyak tergenang air. Lempung dan lanau mendominasi permukaan daerah pengukuran karena berkaitan dengan adanya daerah rawa. Beberapa daerah yang kering merupakan campuran dari pasir dan lempung. Adanya pasir menjadi jalan masuk air untuk meresap ke bawah permukaan tanah. Air akan berhenti di lapisan yang kedap air yaitu lapisan batuan yang lebih padat maupun lapisan lempung.



Gambar 3. Lokasi pengukuran geolistrik 2D



Gambar 4. Contoh profil lintasan resistivitas rendah (GL-04) daerah penelitian



Gambar 5. Contoh profil lintasan resistivitas tinggi (GL-01) daerah penelitian

Lapisan dengan resistivitas rendah 1 – 4 Ω m dengan indikasi warna biru (Gambar 4), diinterpretasikan sebagai pasir dan lempung pasiran tersaturasi air. Kedalaman lapisan ini bervariasi dari 0 hingga 50 meter dari permukaan. Selain itu, pengaruh lapisan pasir sebagai lapisan yang mempunyai porositas tinggi yang mampu menyerap dan menyimpan air dalam jumlah besar. Terdapatnya lapisan lempung sebagai lapisan kedap dengan kedalaman 0 meter hingga

70 meter dengan indikasi nilai resistivitas 4 – 10 Ω m (warna hijau – hijau kekuningan, Gambar 5). Lapisan lempung ini memiliki tekstur mineral kompak tidak tersaturasi air. Lapisan dengan nilai resistivitas >15 Ω m, kedalaman 25 hingga 70 dari permukaan dengan warna resistivitas kuning yang dominasi batulempung. Secara geologi, lapisan ini mempunyai porositas rendah hingga sangat rendah dan bersifat kedap (*impermeable*).

Tabel 2. Interpretasi data geolistrik

ID	Panjang Lintasan (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas (Ω m)	Warna resistivitas	Material
GL-01	481,53	0 – 40	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		40 – 50	1 – 4	Biru	pasir
		0 – 10	1 – 4	Biru	Pasir
GL-02	484,92	10 – 40	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		50 – 65	> 15	Kuning	Batulempung
		2 – 30	1 – 4	Biru	Pasir
GL-03	482,56	30 – 50	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		2 – 40	1 – 4	Biru	Lempung pasiran
GL-04	486,73	40 – 70	4 – 10	Kuning	Lempung
		0 – 10	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
GL-05	480,9	10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasiran
		2 – 35	1 – 4	Biru	Lempung pasiran
GL-06	477,59	35 – 50	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		5 – 25	1 – 4	Biru	Pasir
		25 – 40	>15	Kuning	Batulempung
GL-07	482,77	0 – 10	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasiran
GL-08	479,57	10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasiran
		10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasiran

ID	Panjang Lintasan (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas (Ω m)	Warna resistivitas	Material
GL-09	478,6	0 – 10	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasir
GL-10	481,59	0 – 10	4 – 10	Hijau – hijau kekuningan	Lempung
		10 – 30	1 – 4	Biru	Lempung pasir

Hasil interpretasi dan analisis geolistrik 2D, bahwa lapisan akuifer (pasir-lempung pasir), yang berfungsi sebagai lapisan pembawa air (akuifer), dibatasi dan tertutup oleh lapisan penyekat pada bagian atas dan bawah oleh batuan yang relatif bersifat kedap, yakni lapisan batulempung. Selain itu, terdapat batupasir, yang mayoritas berupa sisipan dan sangat kompak dan berumur tua, terbentuk akibat dari proses sedimentasi daerah aluvial menyebabkan lapisan batupasir ini kemungkinan kecil berfungsi sebagai akuifer potensial, sehingga jenis akuifer di daerah penelitian masuk dalam kategori akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer*). Daerah penelitian yang berawa-rawa serta berdekatan dengan pantai dimungkinkan terjadinya intrusi air laut dalam tanah yang mengakibatkan airtanah mempunyai kualitas payau.

4. Kesimpulan

Nilai resistivitas rendah (1-4 Ω m) berwarna biru sebagai pasir dan lempung pasir tersaturasi air, kedalamannya bervariasi dari 0 – 50 meter. Lapisan ini mempunyai porositas tinggi yang berfungsi sebagai akuifer. Lapisan batuan yang lebih padat terindikasi berada pada kedalaman 25 – 70 meter di bawah permukaan dengan nilai resistivitas lebih dari 15 Ω m berwarna kuning yang diindikasikan sebagai lapisan batulempung bertekstur mineral kompak tidak tersaturasi air. Lapisan ini secara geologi memiliki porositas rendah – sangat rendah dan bersifat *impermeable* atau kedap air. Jenis akuifer daerah penelitian dikategorikan sebagai akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer*). Dominasi rawa-rawa dan lokasi yang dekat pantai menyebabkan terjadinya intrusi air laut ke dalam akuifer yang menyebabkan airtanah payau.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada CV. Ivan Sakti yang sudah memberikan dukungan data beserta ide-ide yang konstruktif dari para teknisi lapangannya demi kelancaran penelitian ini.

Daftar Pustaka

Azhar, and Handayani, G., 2004, *Application of Schumberger configuration geoelectric method*

- for determination of coal type resistance. Jurnal Natur Indonesia 6 (2): 122-126
- Devy, S.D., and Sarungallo, C., 2018, *Groundwater aquifer study on coal mining area: a case of North Samarinda, Indonesia*. Journal of Degraded and Mining Lands Management 6(1): 1483-1493.
- Fetter, C.W., 2001, *Applied Hydrogeology* 4th edition. Prantice-Hall, Inc. New Jersey, 621p.
- Grant, F. S., and West, G. F., 1965, *Interpretation theory in applied geophysics*. McGraw-Hill Book.
- Koefoed, O., 1979, *Resistivity sounding on an earth model containing transition layers with linear change of resistivity with depth*. Geophysical Prospecting 27(4): 862-868.
- Lowrie, W., 2007, *Fundamentals of geophysics*. Cambridge University Press
- Mohammad, F., Mardiana, U., Yuniardi, Y., Firmansyah, Y. and Alfadli, M.K., 2016, *Ground water potential based on rock resistivity value in Cangkorah Village, Kecamatan Batujajar, West Bandung Regency*. Bulletin of Scientific Contribution 14(2): 141-152.
- Santoso, B., 2016, Penerapan Metode Geolistrik 2D untuk Identifikasi Amblas Tanah dan Longsoran di Jalan Tol Semarang – Solo KM 5+400 – KM 5+800. Jurnal Spektra 1(2): 179-186
- Sukardi, N. Sikumbang, I. Umar, dan R. Sunaryo, 1995, Peta Geologi Bersistem Indonesia, Lembar Sangatta, Nomor 1916 Skala 1:250.000, 1995. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Telford, W.M., Gerald, L.P., and Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics. Second Edition*. Cambridge University Press
- Timotius, Putra, Y.S., Lapanporo B.P., 2014, Identifikasi Keretakan Beton Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. Jurnal Prisma Fisika 2(2): 92-99
- Todd, D. K., and Mays, L. W., 2005, *Groundwater hydrology edition*. Welly Inte, 891
- Wilopo, W., Putra, D.P.E., and Susatio. R., 2020, *Aquifer distribution and groundwater geochemistry in Bojonegoro Sub-district, Bojonegoro District, East Java Province, Indonesia*. Journal of Degraded and Mining Lands Management 7(4): 2327-2335.

**Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Zonasi Kawasan Wilayah
Pertambangan Di Kabupaten Madiun Menggunakan Basis Data Spasial
(Geographical Information System (GIS) Application for Regional Zoning Mining
in Madiun Regency Using Spatial Database)**

Fajar Rizki Widiatmoko^{1,2}, Yazid Fanani^{1,3}, Donny Rusdian Pratama¹,
I Wayan Koko Suryawan⁴, Mega Mutiara Sari⁴

¹Teknik Pertambangan – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

²Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University, Taiwan, R.O.C.

³Teknik Geologi – Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia

⁴Teknik Lingkungan – Universitas Pertamina, Indonesia

* Korespondensi E-mail: widiatmoko@itats.ac.id, yazid.tambang@itats.ac.id, donny.rusdian68@gmail.com

Abstrak

Kabupaten Madiun termasuk wilayah yang memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah salah satunya potensi pada sektor pertambangan. Potensi yang ada didominasi oleh komoditas batuan. Potensi bahan tambang batuan yaitu; trass, andesit, tanah liat dan tanah urug. Perlu dilakukannya zonasi kawasan pertambangan untuk mengoptimalkan pengelolaan dan pemanfaatan potensi sumberdaya. Zonasi kawasan pertambangan mempertimbangkan berbagai parameter tata guna lahan. Metode pertampalan digunakan sebagai acuan pembobotan dan penilaian pada setiap parameter menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Zonasi dapat dikelompokkan menjadi Zona dapat diberi Izin, Zona dapat diberi izin bersyarat, dan Zona tidak dapat diberi izin. Parameter penentu zonasi terdiri atas sebaran tata guna lahan berdasarkan yang sudah ada serta rencana tata ruang dan tata wilayah. Hasil identifikasi potensi sumberdaya dilakukan dengan menganalisa peta geologi dan didapat potensi sumberdaya antara lain; pasir, batupasir, andesit, trass, tanah liat dan tanah urug. Hasil zonasi kawasan pertambangan kabupaten Madiun yaitu; luasan Zona dapat diberi izin adalah 37.114,95 Ha, luasan zona dapat diberi izin bersyarat adalah 1.090,05 Ha, dan luasan Zona tidak dapat diberi izin adalah 72.310,35 Ha. Hasil zonasi kawasan pertambang di Kabupaten Madiun dapat dimanfaatkan untuk pertimbangan rencana pembukaan lahan pertambangan yang didasarkan pada data yang telah terintegrasi.

Kata kunci: Potensi bahan galian, zonasi kawasan pertambangan

Abstract

Madiun Regency is an area that has abundant natural resource potential, one of which is the mining sector. The existing potential is dominated by rock commodities. The potential of rock mining materials, namely; trass, andesite, clay, and backfill. It is necessary to zoning mining areas to optimize the management and utilization of potential resources. Mining area zoning takes into account various land use parameters. The patch method is used as a reference for the weighting and assessment of each parameter using a Geographic Information System (GIS). Zoning can be grouped into Permitted Zones, Conditional Permitted Zones, and Non-permitted Zones. The parameters determining the zoning consist of the distribution of land use based on existing ones as well as spatial and regional planning plans. The results of the identification of potential resources are carried out by analyzing geological maps and obtaining potential resources, among others; sand, sandstone, andesite, trass, clay, and backfill. The results of the zoning of the Madiun Regency mining area are; the area of the zone that can be granted a permit is 37,114.95 ha, the area of the zone that can be granted a conditional permit is 1,090.05 ha, and the area of the zone that cannot be granted a permit is 72,310.35 ha. The results of the zoning of mining areas in the Madiun Regency can be used for consideration of mining land clearing plans based on integrated data.

Keywords: Potential of mining materials, zoning of mining areas

1. Pendahuluan

Kabupaten Madiun termasuk wilayah yang memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah salah satunya potensi pada sektor pertambangan (Van Bemmelen, 1949). Potensi

yang ada pada Kabupaten Madiun di dominasi oleh komoditas batuan. Beberapa wilayah di dalam kabupaten potensi bahan tambang terutama batuan yaitu trass, andesit, tanah liat dan tanah urug (Hartono, Baharuddin and Brata,

1992). Dalam sebaran bahan galian (Pratama, Widiatmoko and Fanani, 2021) beserta jumlah potensi yang sudah diketahui jumlahnya adalah tanah liat dengan jumlah 179.239,50 ton dan tanah urug dengan jumlah 510.000 ton, Sedangkan untuk bahan galian lainnya belum diketahui jumlah potensi dan luas wilayahnya di Kabupaten Madiun (Ariyono, 2015).

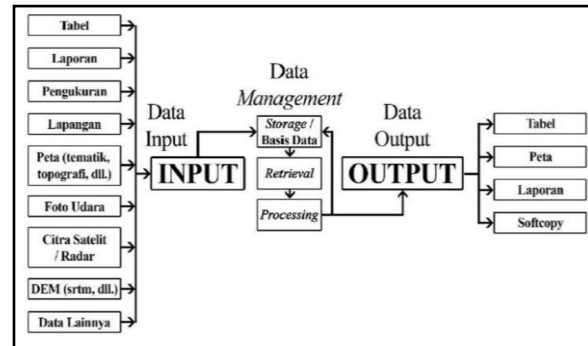
Pemanfaatan yang optimal untuk menunjang pembangunan infrastruktur maupun kegiatan lainnya yang memerlukan potensi tambang di Kabupaten Madiun perlu dilakukannya pembagian kawasan yang berpotensi yaitu zonasi kawasan pertambangan yang bertujuan untuk mengetahui wilayah yang dapat diberi izin guna dilakukan kegiatan usaha pertambangan.

Zonasi Kawasan Pertambangan untuk optimalisasi pengelolaan bahan galian berdasarkan aspek kewilayahan dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG yang disertai dengan survey secara langsung ke lapangan dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan perencanaan pengembangan dan pedoman pengelolaan bahan galian tambang.

Zonasi kawasan pertambangan Kabupaten Madiun dilakukan dengan memberikan pembobotan (*weighting*) dan penilaian (*scoring*) pada parameter-parameter penentuan zonasi pertambangan yang dikerjakan dengan metode pertampalan (*overlay*) (Fanani and Sari, 2018). Hasil dari zonasi kawasan pertambangan adalah penentuan zona dapat diberi izin usaha pertambangan, dapat diberi izin usaha pertambangan bersyarat, dan tidak dapat diberi izin usaha pertambangan. Zonasi kawasan pertambangan dapat digunakan sebagai masukan bagi pemerintah daerah dalam mengembangkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan memudahkan para pelaku usaha melakukan investasi pada bidang pertambangan di wilayah Kabupaten Madiun (KPPOD, 2016).

2. Metode

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem berbasis komputer untuk menyimpan dan mengakses informasi geografis pada suatu daerah. GIS didesain untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisa objek dan fenomena yang lokasi geografisnya mewakili karakteristik penting atau kritis untuk dianalisis (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Dengan demikian SIG merupakan suatu sistem yang memiliki empat keahlian dalam menangani data referensi geografis, yaitu input data, pengelolaan data, analisis dan manipulasi data, serta output data (Aronoff, 1989).



Gambar 1. Ilustrasi Komponen SIG, dimodifikasi dari (Aronoff, 1989).

2.1. Analisis Spasial

Analisis spasial di arahkan untuk mengetahui aspek-aspek yang berpengaruh terhadap penentuan kedapatan penambangan pada lokasi sebaran potensi bahan galian untuk dijadikan lahan usaha pertambangan. Metode yang diterapkan untuk penentuan kedapatan penambangan adalah menggunakan pembobotan (*weighting*) dan penilaian (*scoring*) serta dikerjakan dengan metode penampalan (*overlay*) dengan semua parameter yang terkait sebagai penentuan penambangan. Adapun parameter-parameter terkait yang bisa dilakukan dengan metode pertampalan (*overlay*) ini berjumlah 10 parameter (Fanani and Sari, 2018; Widiatmoko, Putri and Sunan, 2021); 1) Kawasan Industri, 2) Kemiringan lahan, 3) Rawan Bencana, 4) Kawasan Pariwisata, Cagar Budaya dan Kawasan Strategis, 5) Air tanah, 6) Wilayah Perairan, 7) Mata air, 8) Kawasan Hutan, 9) Permukiman, dan 10) Pertanian

2.2. Penentuan Zonasi Kawasan Pertambangan

Hasil penentuan 10 parameter kemudian ditentukan zonasi pertambangan sebagai berikut:

- Zona dapat diberi izin pertambangan, adalah suatu luasan di permukaan bumi yang tidak bertentangan dengan 10 parameter yang ditetapkan dengan rentang nilai (*score*) antara 15 – 24 (Fanani and Sari, 2018), merupakan suatu zona yang potensial pengembangan pertambangan dan tidak memiliki dampak negative terhadap sektor strategis. Tetapi pada zona dapat diberi izin pertambangan juga perlu memperhatikan pertimbangan dinamika kebijakan pemerintah. Oleh sebab itu status zona dapat diberi izin pertambangan tidak bersifat mutlak.
- Zona dapat diberi izin pertambangan bersyarat, adalah suatu luasan di permukaan bumi yang sebagian tidak bertentangan atau sebagian bertentangan dengan 10 parameter yang ditetapkan, memiliki rentang nilai (*score*) antara 25– 34 dan merupakan suatu zona yang potensial untuk pengembangan

pertambangan (Fanani and Sari, 2018). Zona dapat diberi izin pertambangan bersyarat juga mengandung arti masih diizinkan melakukan kegiatan pertambangan dengan memberikan perhatian yang lebih baik terhadap dampak negative yang bisa saja terjadi, melakukan monitoring, antisipasi atau pencegahan.

- c. Zona tidak dapat diberi izin pertambangan, adalah suatu luasan di permukaan bumi yang tidak diizinkan dilakukan kegiatan pertambangan dengan alasan apapun, memiliki nilai (*score*) lebih dari 34. Artinya bahwa zona tersebut pada dasarnya tidak dapat dilakukan kegiatan penambangan, tetapi dengan pertimbangan khusus untuk tujuan strategis yang menyangkut hajat hidup rakyat banyak dan vital untuk kestabilan dan keamanan negara maka zona ini dapat

dilakukan penambangan (Fanani and Sari, 2018).

2.3. Parameter Zonasi Kawasan Pertambangan

Parameter Zonasi Kawasan Pertambangan ditentukan berdasarkan hasil evaluasi Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Madiun. Dari evaluasi tersebut telah didapatkan 10 parameter untuk menentukan Zonasi Kawasan Pertambangan Kabupaten Madiun. Tahapan selanjutnya setelah parameter di dapatkan yaitu dengan melakukan analisa spasial dan di dapatkan hasil penentuan peringkat (*rank*), pembobotan (*weighting*) dan penilaian (*scoring*) (Tabel 1).

Tabel 1. Analisa Parameter Penentuan Zonasi Pertambangan

Parameter	Kategori Penilaian Parameter	Rank	Weight	Score
Kawasan Industri	- Area Kawasan Industri	45	0,10	4,5
	- Radius 100m dari kawasan industri	30		3
	- Di luar radius 100m kawasan industri	15		1,5
Rawan Bencana	- Kawasan I (Tinggi)	45	0,10	4,5
	- Kawasan II (Sedang)	30		3
	- Kawasan III (Rendah)	15		1,5
Air Tanah	- Kedalaman muka air tanah < 10m	45	0,10	4,5
	- Kedalaman muka air tanah 10 – 15m	30		3
	- Kedalaman muka air tanah > 15m	15		1,5
Sempadan Sungai, Danau serta Bangunan Irigasi	- Daerah larangan kegiatan penambangan di sempadan sungai dan radius 100m titik pasang tertinggi danau	300	0,10	30
	- Pada sempadan sungai < 100m dan 5m dari tepi atas samping saluran irigasi	45		4,5
	- Zona radius 100m – 150m	30		3
	- Di luar sempadan sungai > 150m	15		1,5
Mata Air	- Pada zona mata air	300	0,10	30
	- Jarak sampai 200m di sekitar mata air	45		4,5
	- Jarak 200m–1000m dari zona mata air	30		3
	- Diluar zona 1000 m	15		1,5
Hutan dan Kawasan Lindung	- Hutan Rakyat dan atau Hutan Lindung	300	0,10	30
	- Hutan produksi	30		3
	- Diluar Zona Hutan atau Lahan lainnya	15		1,5
Lahan Pertanian	- Sawah irigasi	300	0,10	30
	- Sawah tadah hujan	30		3
	- Pertanian lahan kering, kebun, hortikultural dan Lahan lainnya	15		1,5
Pemukiman	- Pada area pemukiman < 100m	300	0,10	30
	- Pada radius 100m – 200 m	45		4,5
	- Pada radius 200m – 500 m	30		3
	- Di luar radius 500 m	15		1,5
Cagar Budaya dan Pariwisata	- Radius 100m dari batas terluar zona inti pariwisata dan cagar budaya	300	0,10	30
	- Diluar radius 100m - 1000 m	45		4,5
	- Diluar radius 1000 m, jarak 3000 m	30		3
	- Diluar radius 3000m	15		1,5
Kemiringan Lahan	- Wilayah yang memiliki kemiringan lahan curam atau > 45°	45	0,10	4,5
	- Wilayah yang memiliki kemiringan lahan sedang atau 20°–45°	30		3
	- Wilayah yang memiliki kemiringan lahan landau < 20°	15		1,5
Total pembobotan (<i>weighting</i>) penilaian parameter			1,00	

3. Hasil dan Pembahasan

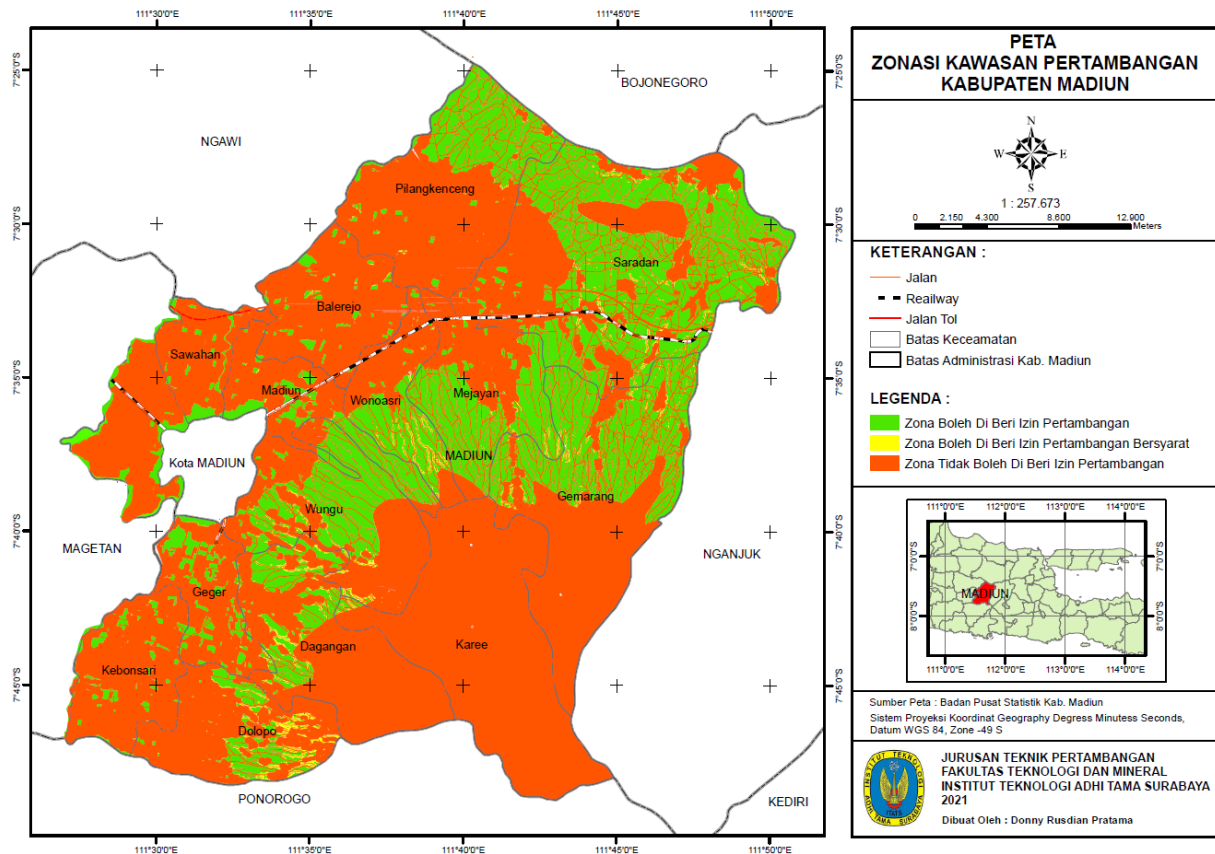
3.1. Potensi bahan galian

Kabupaten Madiun sebagai wilayah yang memiliki potensi sumber daya alam yang salah satunya adalah potensi bahan galian non logam dan batuan. Potensi sumber daya Mineral di Kabupaten Madiun ditafsir dari Peta Geologi Lembar Madiun yang didukung oleh data dari ESDM Dalam Angka Tahun 2016 juga Perda nomor 09 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Madiun Tahun 2009 – 2029 (KPPOD, 2016). Penggolongan bahan galian di Kabupaten Madiun didasarkan pada Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batuan pasal 2 ayat 2 (ESDM, 2010). Maka diperoleh beberapa Potensi Sumber daya mineral dengan komoditas batuan di Kabupaten Madiun yang terdiri atas; Trass, Tanah urug, Tanah liat, Pasir, Batupasir,

dan Andesit (Pratama, Widiatmoko and Fanani, 2021).

3.2. Zonasi kawasan pertambangan

Hasil Zonasi Kawasan Pertambangan di Kabupaten Madiun dilakukan dengan *overlay* peta-peta, sehingga muncul kawasan-kawasan yang memiliki nilai, nilai tersebut dijadikan ukuran atau *range* sebagai penetapan status wilayah. Zonasi Kawasan Pertambangan Kabupaten Madiun dibagi menjadi tiga zona, yaitu Zona yang dapat diberi izin pertambangan, Zona yang dapat diberi izin pertambangan bersyarat dan Zona yang tidak dapat diberi izin pertambangan. Berdasarkan hasil peta Zonasi Kawasan Pertambangan di atas di dapatkan hasil pembagian wilayah Zonasi Kawasan Pertambangan dari setiap Kecamatan di Kabupaten Madiun yang disajikan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 2. Peta Zonasi Kawasan Pertambangan

Tabel 2. Zona Dapat Diberi Izin Pertambangan Kabupaten Madiun

Kecamatan	Potensi Bahan Galian	Luas Lahan (Ha)
Kebunsari	Trass, Pasir dan Tanah Urug	460,83
Geger	Andesit dan Pasir	978,96
Dolopo	Trass dan Tanah Urug	1.199,45
Dagangan	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	1.797,63
Wungu	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	3.320,17
Kare	Andesit	93,12
Gemarang	Andesit	6.131,33
Saradan	Pasir Batu, Andesit dan Tanah Urug	11.676,21
Pilangkenceng	Pasir, Tanah Urug, Batupasir, Andesit dan Tanah Liat	3.310,22
Mejayan	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	3.565,17
Wonoasri	Pasir, Andesit dan Tanah Urug	1.732,68
Balerejo	Pasir	401,29
Madiun	Pasir dan Andesit	1.436,35
Sawahan	Pasir	342,86
Jiwan	Pasir	368,68

Tabel 3. Zona Dapat Diberi Izin Pertambangan Bersyarat Kabupaten Madiun

Kecamatan	Potensi Bahan Galian	Luas Lahan (Ha)
Kebunsari	Pasir	1,53
Geger	Andesit dan Pasir	13,55
Dolopo	Tanah Urug	331,11
Dagangan	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	140,23
Wungu	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	129,68
Kare	Andesit	11,41
Gemarang	Andesit	95,57
Saradan	Pasir Batu, Andesit dan Tanah Urug	187,54
Pilangkenceng	Pasir, Tanah Urug dan Batupasir	18,13
Mejayan	Tanah Urug dan Andesit	32,89
Wonoasri	Pasir dan Andesit	104,73
Balerejo	Pasir	13,68
Madiun	Pasir	9,67
Sawahan	Pasir	0,33
Jiwan	-	-

Tabel 4. Zona Tidak Dapat Diberi Izin Pertambangan Kabupaten Madiun

Kecamatan	Potensi Bahan Galian	Luas Lahan (ha)
Kebunsari	Trass, Pasir dan Tanah Urug	4.532,60
Geger	Andesit dan Pasir	2.766,14
Dolopo	Trass dan Tanah Urug	256,79
Dagangan	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	6.336,94
Wungu	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	4.377,02
Kare	Andesit dan Tanah Urug	12.333,8
Gemarang	Andesit	6.757,03
Saradan	Pasir Batu, Andesit dan Tanah Urug	7.059,26
Pilangkenceng	Pasir, Tanah Urug, Batupasir, Andesit dan Tanah Liat	6.399,41
Mejayan	Pasir, Tanah Urug dan Andesit	2.602,36
Wonoasri	Pasir, Andesit dan Tanah Urug	2.058,73
Balerejo	Pasir	4.928,83
Madiun	Pasir dan Andesit	2.467,74
Sawahan	Pasir	2.420,80
Jiwan	Pasir	3.212,90

4. Kesimpulan

Kabupaten Madiun memiliki potensi sumberdaya minerba yang dilakukan dengan menganalisis peta geologi daerah penelitian menghasilkan beberapa komoditas antara lain Pasir, Batupasir, Andesit, Trass, Tanah Liat dan Tanah Urug. Parameter yang berpengaruh dan sebaran potensi bahan galian, Zonasi Kawasan Pertambangan Kabupaten Madiun dibagi kedalam 3 zona yaitu Zona dapat diberi izin

pertambangan sebesar 37.114,95 Ha atau sekitar 33,58 % dalam presentase luas, Zona dapat diberi izin pertambangan bersyarat sebesar 1.090,05 Ha atau sekitar 0,99 % dan Zona tidak dapat diberi izin pertambangan sebesar 72.310,35 Ha atau sekitar 65,43 % dari keseluruhan luas Kabupaten Madiun.

Ucapan Terimakasih

Apresiasi dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada berbagai pihak yang telah menyediakan data untuk dijadikan parameter setiap pertimbangan zonasi kawasan pertambangan di Kabupaten Madiun.

Daftar Pustaka

- Ariyono, B. G. (2015) *Indonesian Mineral and Coal Information 2015*. Jakarta, Indonesia: Ministry of Energy and Mineral Resources, Indonesia. Available at: https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Statistik_Mineral_Dan_Batubara_2015-ilovepdf-compressed.pdf.
- Aronoff, S. (1989) 'Geographic information systems: a management perspective', *Geographic information systems: a management perspective*. doi: 10.1016/0167-5877(95)90035-7.
- Van Bemmelen, R. W. (1949) 'The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes', *Government Printing Office, The Hague*. doi: 10.1109/VR.2018.8447558.
- ESDM (2009) *Undang Undang Republik Indonesia tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Available at: <https://eti.ekon.go.id/v2/wp-content/uploads/2017/07/UU-4-TAHUN-2009.pdf>.
- ESDM (2010) *PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 23 TAHUN 2010 TENTANG PELAKSANAAN KEGIATAN USAHA PERTAMBANGAN MINERAL DAN BATUBARA*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Available at: <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PP No. 23 Thn 2010.pdf>.
- Fanani, Y. and Sari, A. S. (2018) 'Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Zonasi Kawasan Pertambangan Kabupaten Ngawi', *PROMINE*. doi: 10.33019/promine.v6i2.781.
- Hartono, U., Baharuddin and Brata, K. (1992) *Peta Geologi Lembar Madiun, Jawa, Skala 1:100000*. Bandung, Indonesia: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Available at: https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1SaUGJISWNmnSoJiOnPsLI8Zs_ADKpedV.
- KPPOD (2016) *Rencana Tata Ruang dan Tata Wilayah Kabupaten Madiun, Jawa Timur, Komisi Pemantauan Pelaksanaan Otonomi Daerah*. Available at: https://www.kppod.org/rtrw/file-download?filename=rtrw_263_2016.zip (Accessed: 22 November 2021).
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. and Chipman, J. (2015) *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Pratama, D. R., Widiatmoko, F. R. and Fanani, Y. (2021) 'Sebaran Potensi Bahan Galian Industri Kabupaten Madiun Berdasarkan Kajian Geologi Regional (Potential distribution of Industrial Minerals in Madiun Regency based on Study of Regional Geology)', in *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan*, pp. 93–99.
- Widiatmoko, F. R., Putri, R. H. K. and Sunan, H. L. (2021) 'The Relation of Fault Fracture Density with the Residual Gravity; case study in Muria', *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*. doi: 10.31284/j.jemt.2021.v1i2.1743.

Pengaruh Nilai Kuat Tekan Batupasir Terhadap Perbedaan Kondisi Fisik di Jalan Perjuangan dan Jalan Ringroad Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur

(The Effect of Sandstone Compressive Strength Values on Differences in Physical Conditions on Jalan Perjuangan and Jalan Ringroad Kota Samarinda, Province of East Kalimantan)

Ketut Swarningsih, Revia Oktaviani, Henny Magdalena, Tommy Trides, Lucia Litha Respati
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

* Korespondensi E-mail: revia.oktaviani@gmail.com
swarningsihketut@gmail.com

Abstrak

Kekuatan batuan adalah kemampuan suatu batuan untuk mempertahankan kekuatannya hingga pecah ketika diberikan gaya. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui klasifikasi kekuatan batuan di daerah penelitian dan perbandingan kekuatan batuan dalam kondisi fisik yang berbeda yaitu kondisi natural, jenuh, kering dan 2 siklus basah-kering pada batupasir dengan melakukan pengujian kuat tekan uniaxial sesuai standar SNI 2825-2008. Hasil pengujian kuat tekan pada dua lokasi yang berbeda memperlihatkan kondisi batuan disekitar wilayah Samarinda adalah lemah sampai sedang, dengan nilai kekuatan pada lokasi 1 berkisar 1,61 – 14,31 MPa dan pada lokasi 2 berkisar 8,26 – 36,27 MPa. *Modulus Elastis* yang diperoleh pada lokasi 1 berkisar 1,88 -18,60 dan di lokasi 2 berkisar 8,26 – 37,928. Semakin ke Barat dari kota Samarinda, maka kekuatan batuan semakin meningkat. Dengan perlakuan batuan yang mengalami proses basah-kering secara berulang, tidak menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan batuan dibandingkan dengan kondisi batuan yang mengalami penjemuran. Hal ini disebabkan karena jumlah kadar air yang cukup besar pada kondisi jenuh mengakibatkan pelemahan pada batuan. Semakin rendah kadar air maka semakin kuat suatu batuan.

Kata kunci: Batupasir, kuat tekan, kadar air

Abstract

Rock strength is the ability of a rock to maintain its strength until it breaks when given force. The purpose of this study is to determine the comparison of rock strength values in different physical conditions, namely natural, saturated, dry conditions and 2 wet-dry cycles on sandstones by testing uniaxial compressive strength according to SNI standards 2825-2008. The results of compressive strength testing at two different locations showed that the condition of the rocks around the Samarinda region was weak to moderate, with strength values at location 1 ranging from 1.61 – 14.31 MPa and at location 2 ranging from 8.26 – 36.27 MPa. The Elastic Modulus obtained at location 1 ranges from 1.88 -18.60 and at location 2 it ranges from 8.26 – 37.928. The more to the West from the city of Samarinda, the strength of the rocks is increasing. With the treatment of rocks that undergo repeated wet-dry processes, it does not cause a decrease in rock strength compared to the condition of rocks undergoing saturation. This is because the amount of water content that is large enough in saturated conditions results in weakening of the rock. The lower the water content, the stronger a rock.

Keywords: Sandstone, uniaxial compressive strength, water content

1. Pendahuluan

Pada pertambangan nilai kuat tekan dan sifat fisik batuan berkaitan erat dengan kestabilan geoteknik lereng tambang terbuka dan lubang galian tambang bawah tanah (Melati, 2019). Serta dapat dimanfaatkan juga sebagai dasar untuk kegiatan pembongkaran material, apabila kekuatan suatu batuan tersebut besar/batuan sangat keras maka dapat dilakukan pembongkaran dengan cara peledakan (*blasting*). Sifat fisik batuan, diantaranya densitas dan

porositas serta Modulus Young dan Rasio Poisson yang diperoleh dari uji kuat tekan uniaxial merupakan masukan dasar untuk pemodelan geomekanik dan desain teknik geologi (Zhang, 2019).

Kekuatan batuan itu sendiri adalah kemampuan batuan untuk bertahan menahan suatu gaya hingga pecah. Kekuatan batuan dapat dibentuk oleh suatu ikatan antar butir mineral atau tingkat sementasi pada batuan tersebut, serta kekerasan mineral yang

membentuknya. Untuk memperoleh nilai dari kekuatan pada batuan dapat dilakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan metode uji kuat tekan uniaksial (Beko, dkk 2021).

Kuat tekan uniaksial adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah contoh batuan sesaat sebelum contoh tersebut hancur (*failure*) (Rai, 2013). Adapun persamaan kuat tekan uniaksial sebagai berikut.

Modulus elastis merupakan kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisnya. Nilai modulus elastis diturunkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada bagian yang linier karena pada saat itulah contoh batuan mengalami deformasi elastis (Arif, 2016). Adapun persamaan untuk mencari nilai modulus elastis sebagai berikut.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan suatu batuan, yang pertama yaitu komposisi mineral penyusunnya, mineral-mineral dengan kemampuan mengikat yang tinggi akan menyebabkan nilai kekuatan batuan menjadi tinggi begitupun sebaliknya apabila kemampuan mengikatnya rendah maka nilai kekuatan batuan akan rendah (Dias, dkk., 2022). Selain itu kadar air juga menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan batuan. Kadar air merupakan jumlah kandungan air yang terdapat pada suatu batuan dan dapat dinyatakan dalam bentuk persen. Pengaruh kadar air umumnya lebih besar pada batuan sedimen daripada batuan beku dan metamorf (Wong, dkk., 2015). Semakin besar peningkatan kadar air akan menyebabkan pengurangan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan dan modulus deformasi, terutama pada batuan sedimen (Daraei & Zare, 2018). Semakin lama perendaman batupasir getas dalam air, UCS dan Modulus Young semakin rendah, tetapi Ratio Poisson semakin tinggi (Tang, 2018). Sehingga kekuatan batuan akan menurun dengan cepat apabila suatu batuan mengalami peningkatan kadar air dan ketika diberikan tekanan batuan akan mudah runtuh (Li & Wang, 2019).

Pada penelitian terdahulu pengaruh kadar air dan derajat kejenuhan menunjukkan korelasi yang kuat dan nilai kuat tekan uniaksial mengalami penurunan saat kadar air asli dan derajat kejenuhan meningkat (Winonazada dkk., 2020). Selain kadar air, temperatur juga mempengaruhi nilai kekuatan batuan. Suatu batuan mengalami peningkatan kekuatan dan *Modulus Young* pada saat pemanasan (Tanoto & Widodo, 2017), Hal ini dapat disebabkan karena pada saat pemanasan air yang terdapat pada sampel mengalami penguapan sehingga kadar airnya menurun. Namun pada tambang bawah tanah pengaruh suhu tinggi pada sifat mekanik batupasir harus dipertimbangkan ketika merancang penyangga batuan karena untuk

mengetahui ketahanan penyangga serta menghindari keruntuhan yang akan terjadi (Yang dkk, 2022). Penelitian mengenai kuat tekan uniaksial dengan beberapa jenis batuan telah banyak dilakukan antara lain Banunaek, dkk., 2021; Nugraha & Winonazada, 2020.

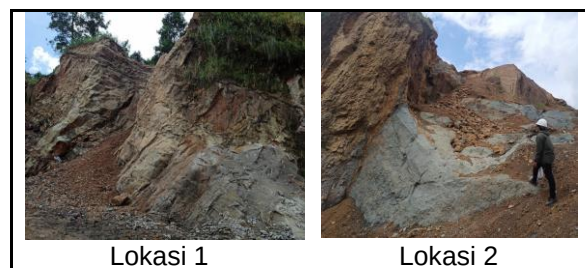
Pada penelitian kali ini sampel yang digunakan merupakan batupasir pada 2 lokasi yang berbeda yang akan diberi perlakuan seperti pemanasan dan perendaman.

dengan kondisi fisik batuan antara lain, kondisi natural, kondisi jenuh, kondisi kering dan kondisi 2 siklus basah-kering. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu ingin mengetahui perbedaan kekuatan antar kondisi fisik batuan serta nilai modulus elastis yang dihasilkan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi yang terletak di daerah Samarinda, lokasi pertama diambil pada penambangan batupasir tradisional milik warga setempat yang terletak di jalan Perjuangan dengan Koordinat 0517581 E, 9949526 N dan berada pada ketinggian 33 meter. Secara administratif lokasi pertama ini berada di Kelurahan Sempaja, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur.

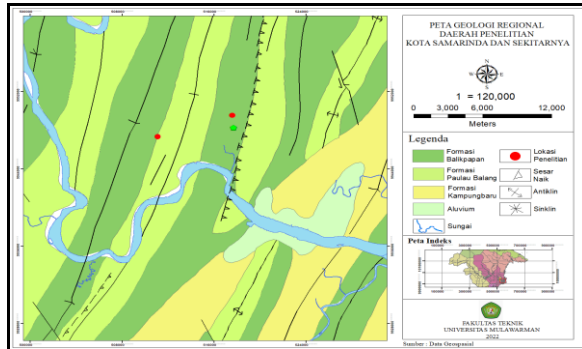
Sedangkan lokasi ke dua dilakukan pada penambangan batupasir tradisional milik warga setempat yang terletak di jalan Ringroad dengan Koordinat 0511095 E, 9947329 N dan berada pada ketinggian 31 meter. Secara administratif lokasi kedua berada di Kelurahan Lok Bahu, Kecamatan Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Lokasi pengambilan sampel diketahui terletak pada Formasi Balikpapan dan Formasi Paulau Balang,



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pada peta geologi lembar Samarinda (Supriatna 1995), Formasi Balikpapan merupakan Perselingan Batupasir dan Batulempung Sisipan Batulanau, Serpih, Batugamping dan Batubara. Batupasir Kuarsa, putih kekuningan, tebal lapisan 1 – 3 m, disisipi lapisan batubara, tebal 5 – 10 cm. Batupasir Gampingan, coklat, berstruktur sedimen lapisan sejajar dan silang siur, tebal lapisan 20 – 40 cm. Batugamping Pasiran, mengandung *foraminifera* besar, moluska, menunjukkan umur *Miosen* Akhir

bagian bawah - *Miosen* Tengah bagian atas, tebal formasi 1000 – 1500 m. Formasi Balikpapan terbentuk dalam lingkungan pengendapan delta atau litoral hingga laut dangkal terbuka. Formasi Paulau Balang merupakan susunan dari perselingan antara *greywacke* dan batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping, batulempung, batubara, dan *tuff* dasit.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur

Batupasir *greywacke* warnanya kelabu kehijauan, padat, dan tebal lapisan antara 50 – 100 cm. Batupasir kuarsa berwarna kelabu kemerahan dengan tebal lapisan antara 15 – 60 cm. batugamping warnanya coklat muda kekuningan dan tebal lapisan 10 – 40 cm. lingkungan pengendapannya di laut dangkal. Batu lempung berwarna kelabu kehitaman dan tebal lapisannya 1 – 2 cm. berselingan dengan batubara yang tebalnya mencapai 4 m dan Tufa Dasit warnanya putih yang merupakan sisipan dalam pasir kuarsa.

Sampel batupasir yang diambil dilapangan dalam bentuk bongkah (*boulder*), dikarenakan untuk memudahkan pada saat preparasi di laboratorium. Sampel yang telah diambil selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi sesuai Standar pengujian yang digunakan yaitu menggunakan SNI 2825-2008 dengan ukuran sampel 2D. Sampel dalam bentuk silinder dapat di hasilkan dengan cara

menggunakan *diamond core drill*. Sampel yang dihasilkan memiliki diameter 42.5mm dan panjang 85mm. Kemudian sampel dengan kondisi natural dapat langsung dilakukan uji kuat tekan, namun sampel pada kondisi jenuh harus dilakukan perendaman terlebih dahulu selama 24 jam sebelum di uji kuat tekan, sampel pada kondisi kering di oven selama 24 jam dengan temperatur 105°C dan kondisi sampel 2 siklus basah-kering dioven terlebih dahulu dengan temperatur 105°C kemudian direndam selama 24 jam dan terakhir dioven kembali dengan temperatur 105°C selama 24 jam selanjutnya dilakukan uji kuat tekan. Dari semua kondisi sampel yang telah di uji kuat tekan selanjutnya di preparasi untuk dilakukan pengujian kadar air.

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu batuan ketika menerima beban dari luar. Adapun rumus kuat tekan uniaksial yang dapat digunakan yaitu:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- σ_c : Kuat Tekan
- P : Beban Sumbu (kN)
- A : Luas Permukaan (cm²)

Selain untuk mengetahui kekuatan suatu batuan, nilai kuat tekan dapat digunakan untuk menentukan modulus elastis yang di peroleh dari masing-masing conto, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- E : Modulus Elastis (MPa)
- $\Delta\sigma$: Beda Tegangan (MPa)
- $\Delta\epsilon$: Beda Regangan Aksial (%)



Gambar 3. Alat Uji Kuat Tekan Uniaksial

Tabel 1. Klasifikasi Kuat Tekan Batuan menurut ISRM (1981)

UCS (MPa)	KLASIFIKASI
<1	Sangat-sangat lemah
1-5	Sangat lemah
5-25	Lemah
25-50	Sedang
50-100	Kuat
100-250	Sangat kuat
>250	Sangat-sangat kuat

Sumber: Rai, 2013

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kadar air dan uji kuat tekan uniaksial pada masing-masing kondisi sampel. Dapat diketahui nilai kadar air batuan di lokasi 1 dalam kondisi natural berkisar 20,25%-22,42%, kondisi jenuh berkisar 21,36%-23,30%, kondisi kering berkisar 1,87%-4,36% dan kondisi 2 siklus basah-kering berkisar 1,87%-4,35%. Sedangkan nilai kadar air di lokasi 2 pada kondisi natural berkisar 7,34%-8,45%, kondisi jenuh berkisar 8,11%-8,93%, kondisi kering berkisar 1,18%-4,35%, dan kondisi 2 siklus basah-kering 1,45%-2,79. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kadar air pada lokasi 1 lebih besar daripada lokasi 2. Serta nilai kadar air paling besar pada kondisi jenuh, hal ini dapat disebabkan karena pada saat perendaman air mengisi pori-pori batuan, batuan yang mengandung kadar air dalam jumlah banyak akan memperlemah kekuatan batuan tersebut. Batuan pada lokasi 1 memiliki pori yang lebih besar dibandingkan lokasi 2. Hal ini membuat nilai kuat tekan yang dihasilkan pada kondisi jenuh lokasi 1 pun lebih kecil dibandingkan kondisi natural, kering dan 2 siklus basah-kering dalam lokasi yang sama, hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, klasifikasi kuat tekan batuan di lokasi penelitian yaitu jalan Perjuangan dan jalan Ringroad Kota Samarinda adalah

sangat lemah hingga sedang. Pada lokasi 1 nilai kuat tekan batuan yang dihasilkan berkisar 1,61 – 14,31 MPa dan nilai kuat tekan batuan pada lokasi 2 berkisar 8,26 – 36,27 MPa. Sedangkan *Modulus Elastis* yang diperoleh pada lokasi 1 berkisar 1,88 - 18,60 dan di lokasi 2 berkisar 8,26 – 37,928. Sehingga dapat dikatakan bahwa lokasi 2 memiliki kemampuan untuk mempertahankan keelastisitasannya lebih besar dibandingkan lokasi 1. Semakin besar nilai modulus elastis maka kemampuan batuan menahan tegangan cukup besar, nilai kuat tekan uniaksial dan modulus elastis yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 3.

Klasifikasi kuat tekan batuan yang digunakan yaitu *International Society for Rock Mechanics* (ISRM) 1981 yang ditunjukkan pada tabel 1. Klasifikasi kuat tekan batuan pada kondisi natural yaitu sangat lemah hingga lemah. Diantaranya 2 sampel yang masuk dalam kategori sangat lemah dan 10 sampel masuk dalam kategori lemah. Pada kondisi jenuh batuan masuk dalam kategori sangat lemah hingga lemah, diantaranya 4 sampel yang masuk kategori sangat lemah dan 8 sampel masuk kategori lemah. Pada kondisi kering batuan masuk dalam kategori lemah hingga sedang diantaranya yaitu 7 sampel yang masuk kategori lemah dan 5 yang masuk kategori sedang. Pada kondisi 2 siklus basah-kering batuan masuk dalam kategori lemah

hingga sedang diantaranya yaitu 8 sampel yang masuk kategori lemah dan 4 yang masuk kategori sedang, yang ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 2. Kadar Air (%) Masing-Masing Kondisi

Sampel	Natural	Jenuh	Kering	2 siklus basah-kering
L1S1T1	22.42	23.30	3.99	4.17
L1S2T1	20.41	21.95	4.35	18.44
L1S3T1	21.33	22.70	2.74	22.16
L1S1T2	20.71	21.95	1.87	2.34
L1S2T2	20.25	21.36	2.21	2.19
L1S3T2	20.41	21.51	1.87	1.74
L2S1T1	8.20	8.34	1.18	2.79
L2S2T1	8.45	8.93	1.18	1.45
L2S3T1	7.34	8.46	4.35	1.89
L2S1T2	8.08	8.34	1.87	1.74
L2S2T2	7.95	8.11	2.04	2.04
L2S3T2	7.71	8.70	1.69	1.60

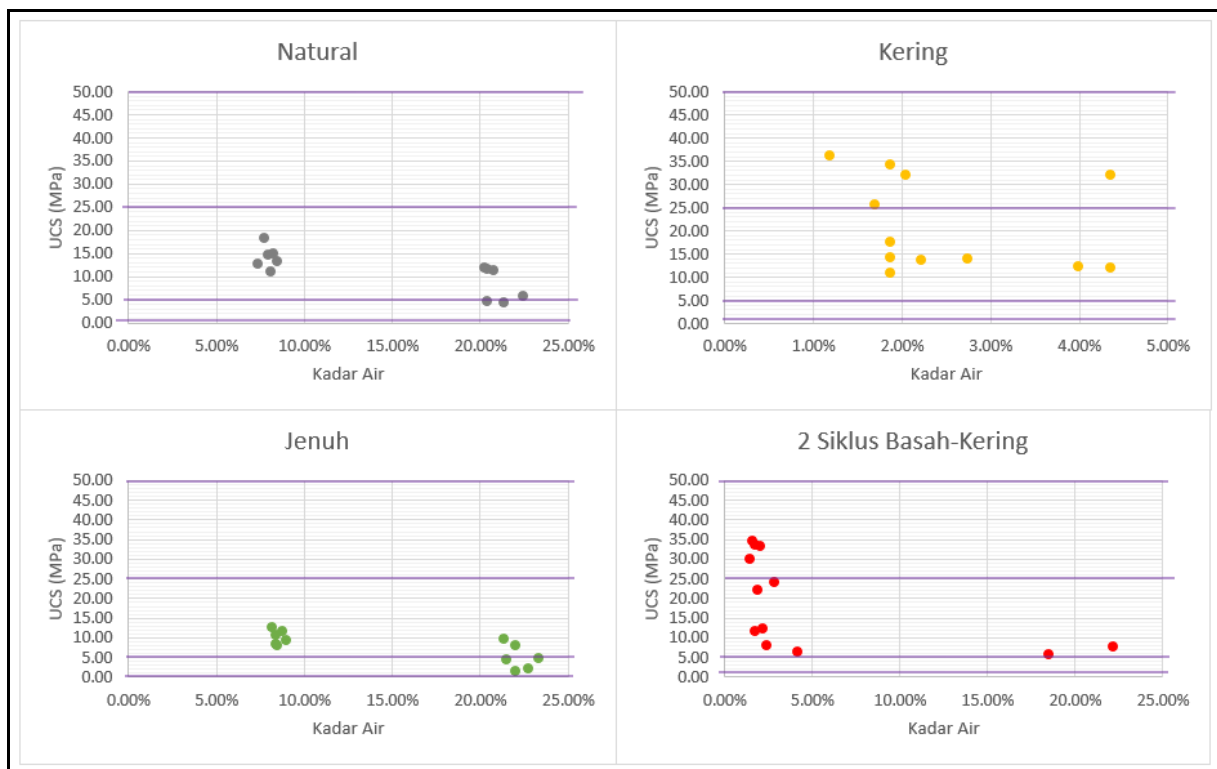
Keterangan : Lokasi (L), Sampel (S), Titik (T)

Tabel 3. Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Dengan Masing-Masing Kondisi

No.	Nama Sampel	Peak (kN)	Ucs (Mpa)	Rata-rata Ucs (Mpa)	Modulus Secant	Modulus Tangent	Modulus Average
1	L1N1T1	8.29	5.84	8.40	5.51	4.64	5.43
2	L1N2T1	6.86	4.84		3.38	2.27	2.46
3	L1N3T1	6.29	4.43		4.45	6.82	6.31
4	L1N1T2	16.29	11.49		14.08	12.62	16.92
5	L1N2T2	17.14	12.10		12.09	13.74	14.05
6	L1N3T2	16.57	11.69		14.43	16.32	17.32
7	L2N1T1	16.00	11.28	14.34	13.93	17.69	18.18
8	L2N2T1	21.14	14.91		15.22	18.41	16.05
9	L2N3T1	26.28	18.54		11.02	9.00	12.52
10	L2N1T2	21.43	15.11		16.79	14.76	17.38
11	L2N2T2	18.87	13.30		14.46	16.62	15.5
12	L2N3T2	18.29	12.90		17.43	37.93	20
13	L1J1T1	6.86	4.84	5.27	5.90	18.60	11.54
14	L1J2T1	2.29	1.61		2.24	2.52	2.97
15	L1J3T1	3.43	2.42		4.17	3.02	3.50
16	L1J1T2	11.71	8.26		7.38	5.99	11.01
17	L1J2T2	14.00	9.87		10.50	12.66	13.59
18	L1J3T2	6.57	4.63		7.72	9.23	5.58
19	L2J1T1	12.00	8.46	10,24	10.58	11.47	11.25
20	L2J2T1	13.43	9.47		10.64	13.72	13.48
21	L2J3T1	11.71	8.26		9.39	12.71	11.38
22	L2J1T2	15.14	10.68		19.07	16.69	15.00
23	L2J2T2	18.00	12.69		11.98	9.62	14.02
24	L2J3T2	16.86	11.89		11.11	8.26	12.78
25	L1D1T1	17.43	12.29	12,93	6.03	5.59	6.91
26	L1D2T1	17.14	12.09		5.76	4.95	6.89
27	L1D3T1	20.00	14.10		6.41	7.05	7.20
28	L1D1T2	20.28	14.31		9.93	7.45	9.38
29	L1D2T2	19.43	13.70		10.87	10.70	9.92
30	L1D3T2	15.71	11.08		8.80	9.08	9.18
31	L2D1T1	51.43	36.27	29,75	20.56	16.49	22.73
32	L2D2T1	45.71	32.24		17.71	20.15	22.50
33	L2D3T1	48.57	34.25		19.24	24.64	20.29
34	L2D1T2	25.14	17.73		22.73	19.92	23.33
35	L2D2T2	45.71	32.24		22.39	36.64	28.18
36	L2D3T2	36.57	25.79		20.47	23.88	22.96

37	L1P1T1	9.14	6.45	8,73	2.46	2.72	3.54
38	L1P2T1	8.29	5.84		1.67	1.88	2.97
39	L1P3T1	11.14	7.86		3.00	2.87	4.16
40	L1P1T2	11.43	8.06		5.84	5.52	9.18
41	L1P2T2	17.71	12.49		6.25	6.06	8.45
42	L1P3T2	16.57	11.69	29,72	5.96	6.09	9.06
43	L2P1T1	34.28	24.18		17.27	17.27	17.00
44	L2P2T1	42.57	30.02		16.50	20.02	18.80
45	L2P3T1	31.71	22.37		13.16	8.54	15.27
46	L2P1T2	47.71	33.65		22.74	26.29	25.63
47	L2P2T2	47.43	33.45		20.65	16.72	18.90
48	L2P3T2	49.14	34.66		19.04	12.47	22.30

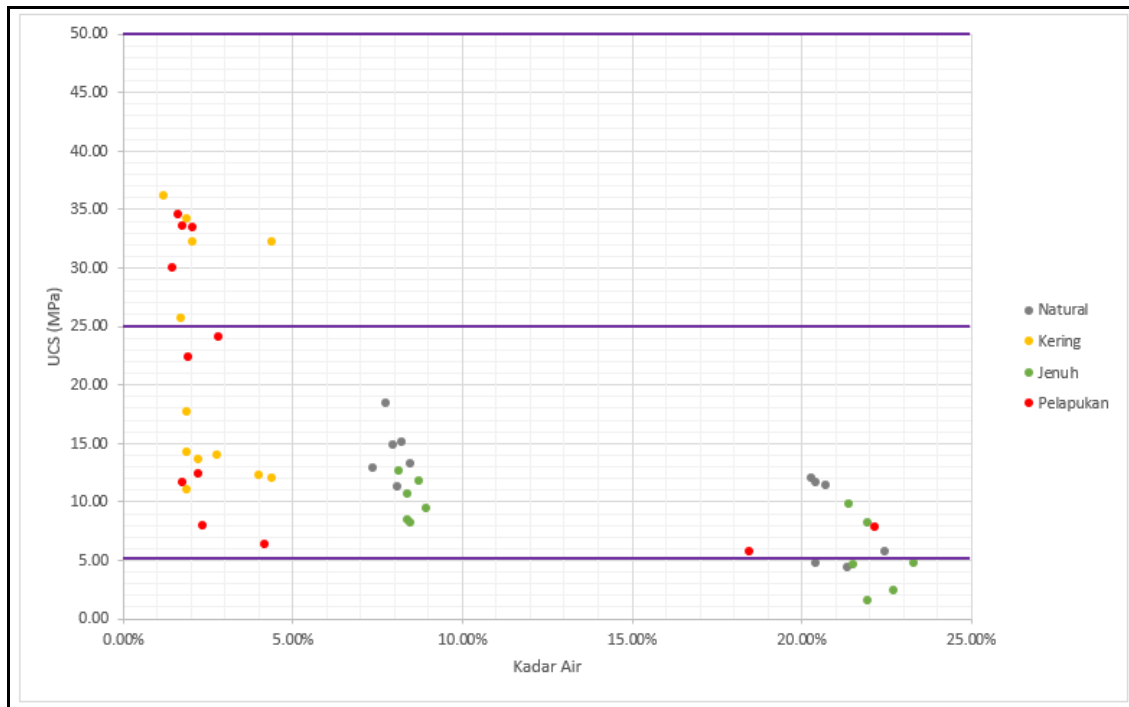
Keterangan : Natural (N), Jenuh (J), Kering (D) dan 2 siklus basah-kering (P)



Gambar 4. Pengelompokan Kekuatan Batuan

Pada hasil pengujian kuat tekan dan kadar air terhadap sampel batuan dengan 4 kondisi fisik yang berbeda, diketahui bahwa kondisi batuan dengan kadar air yang sangat rendah atau dalam kondisi kering dan 2 siklus basah-kering akan memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi

dibandingkan dengan kondisi batuan yang basah atau kadar air yang lebih tinggi. Selain itu juga dapat dilihat bahwa semakin ke arah barat dari Kota Samarinda memperlihatkan kecenderungan nilai kuat tekan batupasir semakin tinggi seperti pada sampel lokasi 1 dan lokasi 2.



Gambar 5. Kekuatan Batuan Terhadap Kadar Air dalam Masing-masing Kondisi

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sampel batupasir yang terletak di jalan Perjuangan dan jalan Ringroad Kota Samarinda, diketahui nilai kadar air pada lokasi 1 lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi 2, hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi 1 memiliki daya serap air yang cukup baik. Kadar air yang tinggi serta batuan yang memiliki daya serap yang baik merupakan salah satu faktor lemahnya suatu batuan sehingga dapat diketahui dari hasil pengujian bahwa rata-rata nilai kuat tekan pada lokasi 1 lebih rendah dibandingkan dengan lokasi 2. Adapun klasifikasi kuat tekan batuan yang diperoleh yaitu sangat lemah hingga sedang yang dapat diketahui melalui nilai kuat tekan uniaksial. Berdasarkan nilai kuat tekan batupasir yang diperoleh nilai kuat tekan pada kondisi jenuh paling rendah diantara kondisi fisik batuan yang lain, hal itu disebabkan karena proses perendaman mempengaruhi kemampuan suatu batuan untuk mempertahankan kekuatan dan keelastisitasannya.

Ucapan Terimakasih

Penulis ucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini, kemudian terimakasih kepada orangtua, para dosen pembimbing dan penguji serta teman-teman dari S1 Teknik Pertambangan Universitas Mulawarman yang telah mendukung dan membantu hingga penelitian ini dapat diselesaikan.

Daftar Pustaka

- Arif, Irwandy. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Banunaek, Deny Januardi., Herman., Sikopa, Maudy Cesilya., Thari, Ines Adnan. 2021. Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping Chalk, Gamping dan Batupasir di Ramang-ramang Maros. Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN III) Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia 10 Juli 2021.
- Beko, Bryan Caesar Mahaputra., Angkie, Jackie., Mahmud, Dahniel., Aristo, Johanis. 2021. Analisis Kualitas Massa Batuan dengan Metode *Rock Mass Rating* pada Batugamping. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IX 2021 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. ISSN 2685-6875.
- Daraei, Ako., & Zare, Shokrollah. 2018. *Effect of Water Content Variation on Critical and Failure Strains of Rock*. KSCE Journal of Civil Engineering 1-9.
- Dias, Evie Noviany., Beko, Bryan Caesar M., Putri, Ratih Hardini Kusuma. 2022. Studi Analisis Pengaruh Parameter Sifat Fisik Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Contoh Batuan Andesit. Jurnal SEMITAN, 1 (1), 48-59. ISSN 2723-8105
- Melati, Sari. 2019. Studi Karakteristik Relasi Parameter Sifat Fisik dan Kuat Tekan Uniaksial Pada Contoh Batulempung, Andesit, dan Beton

- Nugraha, Listiyawati & Winonazada, Rety., 2020. Pengaruh 2 siklus basah-kering Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batuan Andesit. Prosiding TPT XXIX Perhapi 2020.
- Rai, Made Astawa, dkk. 2013. Mekanika Batuan. Bandung: ITB
- SNI 2825-2008. Cara Uji Kuat Tekan Batu Uniaksial. ICS 93.010
- Tang, S. 2018. *The Effects of Water on the Strength of Black Sandstone in a Brittle Regime. Engineering Geology. Vol 239. Pages 167-178.*
- Winonazada, Rety., Irwan, Andesta Granitio., Rezky, Danu Mirza. 2020. Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Perbedaan Nilai Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping, Pantai Ngrumput, Yogyakarta. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Pangkalpinang 8-9 Oktober 2020.
- Wong, Louis Ngai Yuen., Maruvancheryz, Varun., Liu, Gong. 2015. *Water Effect on Rock Stength and Stiffiness degradation. Acta Geotech 713-737.*
- Yang Yushun, Wei Sijiang, Zhang Jihua, Wu Jingke, & Zhang Chunlei. 2022. *Effect Study of Heat Treatment on Tensile Properties of Coarse Sandstone. Scientific Reports 12:17525.*
- Zhang, J.J. 2019. *Rock Physical and Mechanical Properties. Applied Petroleum Geomechanics. Elsevier. Pages 29-80.*

Potensi Logam Tanah Jarang Wilayah Toboali Bangka Selatan

(Potential Of Rare-Earth Metals Toboali Region South Bangka)

Marwan Asof^{1*}, Rosihan Pebrianto², Edwin Harsiga³, Syarifudin⁴

^{1,2,4} Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Universitas Sriwijaya

²Program Studi Ilmu Teknik, Universitas Sriwijaya

³Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

* Korespondensi E-mail: marwan_asof@yahoo.com

Abstrak

Kepulauan Bangka Belitung merupakan wilayah yang dilalui oleh sabuk timah asia tenggara. Sabuk timah ini membawa mineral pembawa timah dan berasosiasi dengan logam tanah jarang (LTJ). Toboali merupakan Kecamatan yang berada di Kabupaten Bangka Selatan. Tahap eksplorasi yang dilakukan PT Timah memungkinkan untuk sekaligus mengidentifikasi unsur logam tanah jarang. Sampel diambil dengan menggunakan mesin bor sonic hingga kedalaman 5 meter. Setiap 1 meter diambil 1 sampel yang dimasukkan kedalam plastik transparan dan diberi label. Terdapat 100 sampel yang diuji dengan di laboratorium menggunakan X-RD (X-ray Diffraction), XRF, Scanning Electron Microscope (SEM) dan Inductively Coupled Plasma (ICP). Dari hasil pengamatan dan analisis laboratorium diketahui terdapat 5 unsur LTJ yang paling dominan ditemui pada setiap sampel yaitu Serium (Ce) rata-rata 61,92 ppm, Ittrium (Y) rata-rata 34,6 ppm, Lantanum (La) rata-rata 27,55 ppm, Neodimium (Nd) rata-rata 27,55 dan Samarium (Sm) rata-rata 2,82. Pengambilan sampel atau eksplorasi menggunakan mesin bor sonic perlu dilakukan evaluasi untuk mendapatkan tingkat keakuratan sampel dan data yang lebih baik.

Kata kunci: Logam tanah jarang, LTJ, XRD.

Abstract

The Bangka Belitung Islands are an area traversed by the tin belt of Southeast Asia. This tin belt carries tin-bearing minerals and is associated with rare earth metals (LTJ). Toboali is a sub-district in South Bangka Regency. The exploration phase carried out by PT Timah made it possible to identify rare earth elements at the same time. Samples were taken using a sonic drilling machine to a depth of 5 meters. Every 1 meter 1 sample is taken which is put into a transparent plastic and labeled. There were 100 samples tested in the laboratory using X-RD (X-ray Diffraction), XRF, Scanning Electron Microscope (SEM) and Inductively Coupled Plasma (ICP). From the results of observations and laboratory analysis, it is known that there are 5 LTJ elements that are most dominantly found in each sample, namely Serium (Ce) an average of 61.92 ppm, Yttrium (Y) an average of 34.6 ppm, Lanthanum (La) an average of 27.55 ppm, Neodymium (Nd) an average of 27.55 and Samarium (Sm) an average of 2.82. Sampling or exploration using a sonic drilling machine needs to be evaluated to get a better level of sample and data accuracy.

Keywords: Metal Earth Rare, LTJ, XRD

1. Pendahuluan

Kepulauan Bangka Belitung merupakan wilayah yang dilalui oleh sabuk timah asia tenggara (Cobbing, 2005). Batuan-batuan seperti granit, pegmatit, metamorf, ultrabasa dan aluvial adalah diantara jenis batuan yang mungkin mengandung Logam Tanah Jarang (LTJ) di Indonesia. Penyebaran formasi batuan yang mengikuti sabuk magmatis di Indonesia menunjukkan adanya keterkaitan jenis batuan dengan jenis endapan mineral logam (PSDM, Batubara dan Panas Bumi, 2019).

Mineral logam yang berkaitan dengan LTJ adalah timah (Sn) yang terutama terpusat di wilayah Kepulauan Riau, Bangka Belitung dan sebagian Kalimantan Barat. Karena itu daerah

Sn ini menjadi fokus pengembangan potensi LTJ yang utama terkait tipe plaser (PSDM, Batubara dan Panas Bumi, 2019).

Menurut Jayaprakash et al. (2016), LTJ berat dominan pada wilayah pantai, dan LTJ ringan pada paparan. Menurut Aleva (1985), LTJ dapat terakumulasi dalam sistem plaser, dan pengayaan lebih dominan pada cebakan plaser daripada endapan primer di Pulau Belitung sebagaimana dikemukakan oleh Syafrizal et al. (2017), Hede et al. (2017) dan Indriati et al. (2017), sehingga Pulau Bangka juga diperkirakan memiliki kondisi yang sama karena memiliki karakteristik geologi yang sangat mirip. Demikian juga dalam tailing penambangan timah terdapat kandungan LTJ (Hamzah et al., 2009)

Andini (2019) menyatakan bahwa sebaran unsur LTJ di lahan bekas tambang relative sama dan unsur Thorium (Th) merupakan unsur yang memiliki kadar tertinggi yaitu mencapai 70,05 ppm.

Irvani (2017) juga menyatakan bahwa terdapat unsur Serium (Ce) dan Yttrium (Y) di dalam endapan sedimen pada berbagai kolong di Pulau Bangka. Unsur Y ditemukan hampir pada semua perconton sedimen. Irvani (2017) menduga sebaran lateral unsur Ce dan Y pada kolong bersifat heterogen.

Maridah (2018) menyatakan unsur LTJ pada batuan metasedimen (filit silifikasi) di sebelah barat Bukit Sambung Giri terdiri dari Serium (Ce), Lanthanum (La), Neodymium (Nd), Samarium (Sm) dan Yttrium (Y). Sebaran unsur LTJ tersebut relative heterogen.

Irvani (2018) menemukan mineral-mineral penyusun tailing mengandung sejumlah unsur LTJ berupa Serium (Ce), Lanthanum (La), Yttrium (Y), Neodymium (Nd) dan sejumlah kecil Samarium (Sm).

Dari beberapa penelitian dan kajian terdahulu diperkirakan bahwa dari kepulauan Riau, Bangka Belitung hingga bagian barat Kalimantan memiliki potensi akan keberadaan LTJ. Selama ini indikasi keberadaan LTJ masih dibawah 500 ppm sehingga belum ekonomis untuk dilakukan pengolahan.

Saat ini PT Timah sedang melakukan eksplorasi di wilayah Bangka Selatan dalam rangka mencari cadangan-cadangan timah baru. Eksplorasi ini berada di wilayah Toboali dan dilakukan di daratan.

Bersamaan dengan adanya kegiatan eksplorasi ini dan mengingat adanya asosiasi LTJ dalam mineral pembawa timah, maka kegiatan eksplorasi ini dilakukan sekaligus menyelidiki potensi LTJ.

2. Metode Penelitian

Eksplorasi yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah dengan menggunakan mesin bor jenis sonic (Gambar 1). Mesin ini dalam pengambilan sampel menggunakan system getaran bukan berputar. Sampel yang diambil dalam setiap lobang bor paling dangkal 2 meter dan paling dalam 25 meter.

Terdapat 20 lobang bor dengan luasan wilayah sekitar 10 Ha dengan kedalaman rata-rata lobang bor 5 meter. Jarak antar lobang bor tidak teratur dan sangat tergantung pada topografi wilayah setempat. Namun diperkirakan jarak terdekat antar lobang bor 25 meter dan jarak terjauh sekitar 100 meter.



Gambar 1. Alat Bor Jenis Sonic

Sampel diambil sebanyak 1 sampel setiap 1 meter hingga kedalaman 5 meter pemboran (Gambar 2). Setiap Sampel diambil sebanyak kira-kira 1 kg. Total sampel yang diuji sebanyak 100 sampel. Sampel yang berupa *cutting* pemboran dimasukkan kedalam kantong plastik transparan (Gambar 3), kemudian diberi label (Gambar 4).



Gambar 2. *Cutting* Bor / Sampel

Sampel-sampel tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis. Analisis laboratorium menggunakan X-RD (X-ray Diffraction), XRF, Scanning Electron Microscope (SEM) dan Inductively Coupled Plasma (ICP). Kemudian dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).



Gambar 3. *Cutting* Bor / Sampel Dimasukkan Kedalam Kantong Plastik Transparan

Identifikasi unsur LTJ menggunakan analisis XRD, ICP dan SEM telah dilakukan oleh Fransus et al (2015) dan Suginal et al (2018). Andini dkk (2019), Irvani dan Pitulima (2017), Maridah dan Irvani (2018), Irvani dan Antasari (2018) hanya

menggunakan analisis XRD dalam mengidentifikasi LTJ.



Gambar 4. Label Sampel

3. Hasil dan Pembahasan

Toboali merupakan sebuah Kecamatan yang berada di wilayah Kabupaten Bangka Selatan yang sekaligus menjadi Ibu Kota Kabupaten Bangka Selatan. Kecamatan Toboali memiliki luas wilayah sekitar 1.460 km² (Gambar 5).

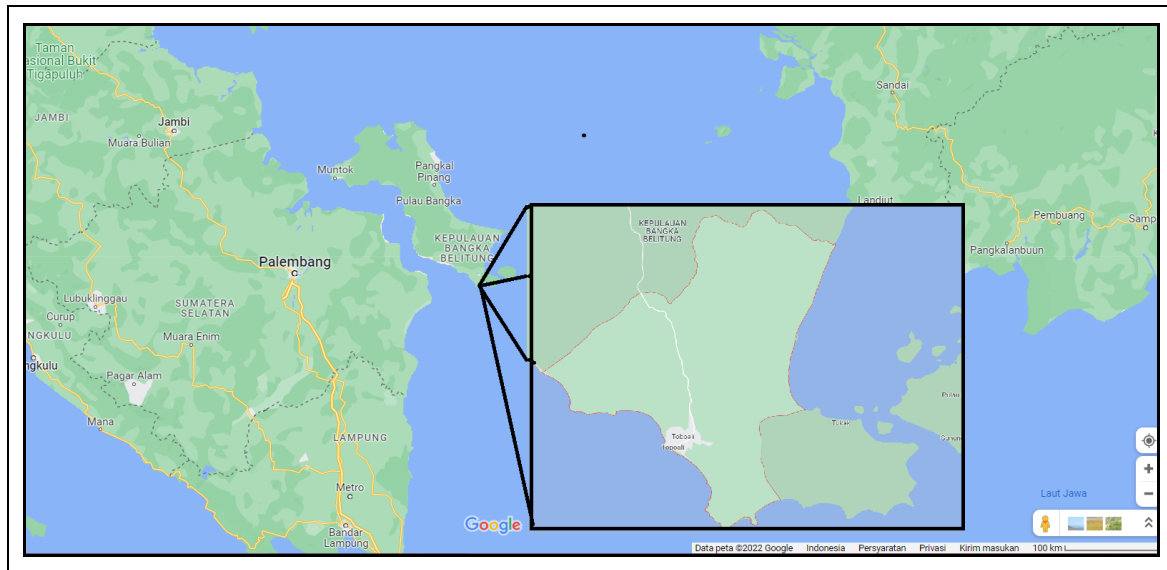
Untuk mencapai wilayah ini dibutuhkan waktu sekitar 3 jam perjalanan darat dari Kota Pangkal Pinang. Akses jalan menuju lokasi penelitian sangat bagus sehingga tidak akan menemui kendala dalam mencapai lokasi.

Dari hasil pengamatan dan analisis laboratorium diketahui bahwa terdapat 5 unsur LTJ yang paling dominan ditemui di wilayah penelitian yaitu Serium (Ce), Ittrium (Y), Lantanum (La), Neodimium (Nd) dan Samarium (Sm) (Tabel 1).

Kelima unsur ini terdapat hampir disemua sampel yang diujikan. Ce merupakan unsur yang paling dominan dan Sm merupakan unsur yang paling sedikit dijumpai.

Kadar maksimum Ce 80 ppm pada 7 sampel yang diujikan. Sampel-sampel tersebut berada di kedalaman yang bervariasi. Ini menunjukkan bahwa tidak adanya pengaruh kedalaman terhadap keterdapatn LTJ khususnya unsur Ce. Rata-rata kandungan Ce dalam sampel yaitu 61,92 ppm.

Kadar maksimum Y 47 ppm dan kadar minimumnya 23 ppm dalam setiap sampel yang diujikan. Rata-rata Y dalam sampel sebesar 34,6 ppm.



Gambar 5. Lokasi Penelitian Kecamatan Toboali Kabupaten Bangka Selatan (<https://www.google.com/maps/@-2.4332993,106.6845575,7.35z?hl=id>)

Tabel 1. Data Konsentrasi Logam Tanah Jarang

No. Sampel	Lobang	Kedalaman	Konsentrasi Logam Tanah Jarang (ppm)				
			Serium (Ce)	Ittrium (Y)	Lantanum (La)	Neodium (Nd)	Samarium (Sm)
1	1	1	75	45	35	32	5
2	1	2	76	47	30	33	6
3	1	3	57	39	25	23	1
4	1	4	49	26	23	25	0
5	1	5	55	36	20	26	0

6	2	1	45	30	24	26	1
7	2	2	39	29	22	27	0
8	2	3	54	34	30	24	0
9	2	4	51	36	33	32	0
10	2	5	52	38	31	33	1
11	3	1	45	45	32	23	2
12	3	2	79	47	33	25	3
13	3	3	67	39	23	26	4
14	3	4	40	32	25	26	1
15	3	5	44	33	32	33	2
16	4	1	80	23	33	23	3
17	4	2	77	25	23	25	4
18	4	3	56	26	25	32	6
19	4	4	56	26	26	32	4
20	4	5	61	39	26	33	0
21	5	1	78	26	27	23	3
22	5	2	60	36	24	25	5
23	5	3	77	30	32	26	1
24	5	4	80	29	33	26	2
25	5	5	77	34	23	32	2
26	6	1	56	36	25	33	3
27	6	2	56	38	26	23	4
28	6	3	78	29	26	25	6
29	6	4	66	34	24	26	4
30	6	5	72	45	22	26	0
31	7	1	77	47	30	23	3
32	7	2	63	39	33	25	5
33	7	3	67	26	31	26	1
34	7	4	45	36	32	26	6
35	7	5	79	30	24	26	4
36	8	1	67	29	22	26	0
37	8	2	45	34	30	33	3
38	8	3	79	36	33	23	5
39	8	4	67	38	31	25	1
40	8	5	40	47	32	32	2
41	9	1	44	39	33	32	3
42	9	2	80	26	23	33	4
43	9	3	77	36	25	23	6
44	9	4	56	30	32	25	4
45	9	5	56	29	33	26	0
46	10	1	61	34	23	26	3
47	10	2	78	36	25	32	5
48	10	3	60	38	26	33	1
49	10	4	56	30	26	23	4
50	10	5	61	29	27	26	0
51	11	1	45	34	24	26	3

52	11	2	79	36	32	33	5
53	11	3	67	38	33	23	1
54	11	4	40	47	23	25	6
55	11	5	44	39	25	32	4
56	12	1	80	26	26	32	0
57	12	2	77	36	26	33	3
58	12	3	56	30	27	23	5
59	12	4	56	29	24	25	1
60	12	5	61	34	23	26	2
61	13	1	78	36	25	26	3
62	13	2	60	38	24	32	4
63	13	3	40	34	22	33	6
64	13	4	45	36	30	23	4
65	13	5	79	38	33	26	0
66	14	1	67	30	31	26	3
67	14	2	40	29	32	33	5
68	14	3	44	34	33	23	1
69	14	4	80	36	23	25	4
70	14	5	77	38	25	32	0
71	15	1	56	47	32	32	3
72	15	2	56	39	33	33	5
73	15	3	61	26	23	23	1
74	15	4	78	36	25	25	6
75	15	5	60	30	26	26	4
76	16	1	40	29	26	26	0
77	16	2	44	34	24	32	3
78	16	3	80	36	22	33	4
79	16	4	77	38	30	23	0
80	16	5	56	29	33	26	3
81	17	1	56	34	31	26	4
82	17	2	45	36	32	33	0
83	17	3	79	38	33	23	3
84	17	4	67	26	24	25	5
85	17	5	40	45	22	26	1
86	18	1	44	47	30	26	6
87	18	2	80	39	33	26	4
88	18	3	77	26	31	33	0
89	18	4	56	36	32	23	3
90	18	5	56	30	33	25	5
91	19	1	61	29	23	32	1
92	19	2	78	34	25	32	2
93	19	3	60	36	32	33	3
94	19	4	61	38	33	23	4
95	19	5	78	36	23	25	6
96	20	1	60	30	25	26	4
97	20	2	56	29	26	26	0

98	20	3	61	34	26	32	3
99	20	4	78	36	27	33	5
100	20	5	60	38	24	23	1
Rata-rata			61.92	34.6	27.64	27.55	2.82
Kadar Maksimum			80	47	35	33	6
Kadar Minimum			39	23	20	23	0

Kadar maksimum La 35 ppm dan kadar minimumnya 20 ppm. Rata-rata kadar La 27,64 ppm dalam setiap sampel yang diujikan. Kadar maksimum Nd 33 ppm dan kadar minimumnya 23 ppm. Rata-rata kadar Nd 27,55 ppm dalam setiap sampel yang diujikan. Untuk kadar unsur Sm rata-rata 2,82 ppm. Unsur Sm tidak selalu ada dalam setiap sampel. Kadar tertinggi Sm adalah 6 ppm.

Unsur Ce pada Tabel 1 dalam 1 lobang bor dengan kedalaman 5 meter terdapat rata-rata 309,6 ppm. Kandungan sekitar 309,6 ppm tersebut hanya untuk kedalaman 5 meter, tentu akan berbeda lagi jika kedalaman lobang bor semakin dalam. Unsur Y yang memiliki kadar rata-rata 34,6 ppm dalam setiap sampel, maka dalam 5 meter unsur Y akan ditemui sekitar 173 ppm. Begitu juga dengan unsur La yang memiliki kadar rata-rata 27,64 ppm dalam setiap sampel. Maka dalam 5 meter akan dijumpai unsur La sekitar 138,2 ppm. Unsur Nd yang memiliki kadar rata-rata 27,55 ppm dalam setiap sampel, maka dalam 5 meter akan dijumpai unsur Nd sekitar 137,75 ppm. Sedangkan unsur Sm tidak selalu ada di setiap sampel. Banyak sampel yang tidak menunjukkan adanya unsur Sm. Namun kadar maksimum yang dijumpai pada beberapa sampel, unsur Sm memiliki kadar maksimum 6 ppm.

Potensi LTJ yang ada di wilayah Toboali ini, sangat dimungkinkan kedepan dapat dilakukan eksplorasi lanjutan hingga diketahui tingkat kelayakan LTJ ini untuk ditambang dan atau diolah bersamaan dengan penambangan timah.

4. Kesimpulan

Wilayah Kecamatan Toboali Kabupaten Bangka Selatan memiliki potensi Logam Tanah Jarang (LTJ) dalam jumlah yang cukup besar terutama unsur Ce yang mencapai rata-rata 61,92 ppm, Y 34,6 ppm, La 27,64 ppm, Nd 27,55 ppm, dan Sm 2,82 ppm. Dari hasil tersebut juga bisa dipastikan tidak adanya pengaruh kedalaman terhadap keberadaan unsur logam tanah jarang. Penggunaan mesin bor sonic dalam pemboran eksplorasi mungkin perlu dievaluasi dikarenakan sistem pengambilan sampel mesin ini menggunakan sistem getaran/pukulan sehingga sangat mungkin sampel-sampel yang diambil tidak sesuai dengan posisi sampel tersebut yang sebenarnya. Sangat mungkin dinding lobang bor bagian atas runtuh

dan menjadi *cutting* yang diakibatkan dari getaran mesin tersebut sehingga memperpanjang ukuran sampel. Akhirnya sampel yang diambil tidak mewakili keadaan yang sebenarnya.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada PT Timah Tbk yang telah memfasilitasi penelitian ini hingga selesai dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Daftar Pustaka

- Aleva, G.J.J. 1985. Indonesian Fluvial Cassiterite Placers and Their Genetic Environment. *Journal of Geological Society*, London, Vol.142, p. 815-836.
- Andini, D. E., Guskarnali, Rosita, A., 2019. Kajian Unsur Tanah Jarang (LTJ) Pada Lahan Bekas Tambang Timah dan Tambang Kaolin Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Promine Journal* Vol.7 Halaman 28-33.
- Cobbing, E.J. (2005) *Granite*. in Barber, A.J., Crow, M.J. and Milsom, J.S. (ed.) *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society Memoir, No. 31. Page 54 -62.
- Franus, W., Wiatros-Motyka, M. M. and Wdowin, M. (2015) "Coal fly ash as a resource for rare earth elements," *Environmental Science and Pollution Research*, 22(12), pp. 9464–9474. doi: 10.1007/s11356-015-4111-9.
- Hamzah, Z., Monica, N.A. and Saat, Ahmad. 2009. *Determination of Heavy Minerals in Amang from Kampung Gajah Ex-Mining Area*. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol. 13 No.2. p. 194-203.
- Hede, A.N.H., Indriati, T., Syafrizal, Anggayana, K. and Tampah, M.E. 2017. *Mineralization of Tungsten and Rare Earth Elements in Granite Varieties at Tikus Deposit of The Tanjungpandan Pluton Belitung Indonesia*. International Symposium on Earth Science and Technology.
- Indriati, T., Syafrizal, Anggayana, K., Hede, A.N.H. and Simamora, A.N. 2017. *Geochemical Dispersion Pattern Identification of Rare Earth Elements (REE) and Tungsten in Soils at The Tikus Deposit Sijuk District Belitung Regency Bangka Belitung Islands Province*. International Symposium on Earth

- Science and Technology.
- Irvani, Pitulima, J., 2017. Studi Keterdapatan Unsur Tanah Jarang REE Ce dan Y pada Berbagai Kolong di Pulau Bangka. *Promine Journal* Vol.5 (1) Halaman 55-60.
- Irvani, Artasari, E. D., 2018. Studi Karakteristik Tailing pada Lokasi Eks Penambangan Timah di Bukit Sambung Giri Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Promine Journal* Vol.6 (2) Halaman 31-36.
- Jayaprakash, C., Sajeev, R. and Kumar, Anil A. 2016. *Distribution of Rare Earth Elements in The Inner Shelf Sediments, off The Southwest Coast of India*. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, Vol. 45 No. 12. pp. 1623-1630.
- Mardiah, Irvani, 2018. Studi Unsur Tanah Jarang REE di Bagian Barat Bukit Sambung Giri Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Promine Journal* Vol.6 (1) Halaman 41-46.
- Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, 2019. Potensi Logam Tanah Jarang Di Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Halaman 17.
- Suginal, Datin F. Umar dan Hasudungan E. Mamby. 2018. Identifikasi Keterdapatan Unsur Logam Tanah Jarang Dalam Abu Batubara Pusat Listrik Tenaga Uap Ombilin, Sumatera Barat: *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol.14 No.2, 111- 125. DOI:10.30556/jtmb.Vol14.No2.2018.395
- Syafrizal, Indriati, T., Anggayana, K., Hede, A.N.H. and Muhammad, A. 2017. *Mineralogical Analyses as a Preliminary Assessment of Rare Earth Elements on Placer Deposits in Belitung Island Indonesia*. *International Symposium on Earth Science and Technology*

Analisis Kualitas Batubara Bonto Matinggi Sulawesi Selatan Untuk Kebutuhan Industri Semen

(Quality Analysis of South Sulawesi Bonto Matinggi Coal for Cement Industry Needs)

Suriyanto Bakri^{1*}, Imam Riswandi², Anshariah³, Harwan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia

* Korespondensi E-mail: suriyanto.bakri@umi.ac.id

Abstrak

Batubara di Indonesia banyak dipergunakan untuk kebutuhan industri baik ekspor maupun domestik. Untuk dalam negeri banyak dipergunakan untuk industri tekstil, PLTU, serta untuk industri semen. Konsumsi batubara untuk industri semen di Indonesia pada tahun 2022 sampai 15 juta ton. Pada industri semen, batubara dijadikan sebagai bahan dasar untuk bahan bakar pada kiln. Untuk pemanfaatannya, batubara perlu diketahui sifat-sifatnya. Sifat-sifat tersebut dapat diketahui dengan analisis proksimat, analisis kandungan sulfur dan nilai kalor. Oleh karenanya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan apakah kualitas batubara Bonto Matinggi sesuai dengan spesifikasi batubara yang dibutuhkan pada industri semen. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan sebanyak dua sampel batubara secara langsung di daerah penelitian yaitu sampel batubara SA I dan sampel batubara SA II. Sampel batubara kemudian dipreparasi dan selanjutnya dianalisis. Analisis kualitas sampel batubara dilakukan dengan metode analisis proksimat, sulfur dan kalori. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa kandungan *moisture in air dried* kedua sampel memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan dengan nilai rata-rata sebesar 6,29% adb; *ash content* sebesar 19,99% adb; *volatile matter* sebesar 46,79% adb dan *fixed carbon* sebesar 39,86% adb serta kandungan sulfur sebesar 0,39% adb dan kalori dengan rata-rata yaitu 4.692,92 cal/g. Batubara daerah penelitian tidak memenuhi syarat sebagai bahan dasar untuk bahan bakar dalam kiln pada industri semen. Batubara daerah penelitian, jika diklasifikasikan sesuai *Classification of in Seam Coal* 1998 tergolong dalam *low grade coal* (sesuai kandungan ash) dan peringkat batubara termasuk *bituminous rank* (peringkat sedang).

Kata kunci: Batubara, kualitas, industri semen, Sulawesi Selatan.

Abstract

Coal in Indonesia is widely used for both export and domestic industrial needs. Domestically, it is widely used for the textile industry, power plants, and the cement industry. Coal consumption for the cement industry in Indonesia in 2022 is up to 15 million tons. In the cement industry, coal is used as a basic material for fuel in kilns. For its utilization, coal needs to know its properties. These properties can be known by proximate analysis, sulfur content analysis and calorific value. Therefore, this research aims to find out and determine whether the quality of Bonto Matinggi coal is in accordance with the coal specifications needed in the cement industry. The research method was carried out by taking two coal samples directly in the research area, namely SA I coal sample and SA II coal sample. The coal samples were then prepared and further analyzed. Analysis of coal sample quality was carried out by proximate, sulfur and calorie analysis methods. The results of proximate analysis show that the moisture content in air dried both samples have a value that is not too significant with an average value of 6.29% adb; ash content of 19.99% adb; volatile matter of 46.79% adb and fixed carbon of 39.86% adb as well as sulfur content of 0.39% adb and calories with an average of 4,692.92 cal/g. The coal in the study area does not qualify as a basic material for fuel in kilns in the cement industry. The coal in the study area, if classified according to the Classification of in Seam Coal 1998, is classified as low grade coal (according to ash content) and the coal rank includes bituminous rank (medium rank).

Keywords: Coal, quality, cement industry, South Sulawesi.

1. Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu bahan galian yang sangat berpengaruh pada industri pertambangan Indonesia. Sejak lama batubara telah digunakan bukan hanya untuk produksi listrik, tetapi juga sebagai komponen bahan

bakar pokok dalam industri semen, pembuatan baja dan lainnya (Sukandarrumidi, 2017).

Batubara, minyak dan kayu, ketiganya mengandung unsur C dan unsur H, disamping unsur-unsur lain yang mencirikan masing-masing sumberdaya energi tersebut. Oleh sebab itu,

perlu diketahui jumlah kalori yang dihasilkan apabila ketiga jenis sumber daya energi tersebut tersedia, sedang kita akan memilih jenis mana yang paling tepat untuk keperluan suatu kegiatan industri (Nursanto, 2015; Sukandarrumidi, 2017).

Sebagaimana kita ketahui batubara adalah satu diantara banyaknya sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, terkhusus di Pulau Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Batubara di Indonesia banyak dipergunakan untuk kebutuhan industri baik ekspor maupun domestik (Sufriadin, dkk., 2016). Untuk dalam negeri banyak dipergunakan untuk industri tekstil, PLTU, serta untuk industri semen (Permadi, 2003). Untuk beberapa tahun terakhir, kebutuhan domestik sangat meningkat terutama untuk industri PLTU di daerah timur Indonesia dan juga beberapa industri semen yang lebih duluan di Indonesia (Haryadi and Suciyan, 2018).

Konsumsi batubara di Indonesia khusus di industri semen mencapai 15 juta ton pada tahun 2022 dan diprediksi akan terus bertambah setiap tahunnya sampai 2025 (Yudiartono, Windarta and Adiarso, 2022). Di Sulawesi Selatan saja ada dua pabrik semen yaitu PT Semen Tonasa dan PT Semen Bosowa. Pada industri semen, batubara dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk bahan bakar dalam kiln (Lestari, Asy'ari and Hidayatullah, 2016). Untuk pemanfaatannya, batubara perlu diketahui sifat-sifatnya (Hilmi, dkk., 2021). Sifat-sifat tersebut dapat diketahui dengan analisis proksimat, analisis kandungan sulfur dan analisis nilai kalor (Bakri, dkk., 2022). Efisiensi pembakaran dapat ditingkatkan dengan menggunakan batubara berkualitas tinggi (Arya, dkk., 2019).

Analisis *moisture content*, *volatile matter*, *ash content* dan *fixed carbon* batubara merupakan analisis proksimat (Yadav and Yadav, 2017). Analisis proksimat adalah metode yang paling umum dan sederhana digunakan untuk mengevaluasi batubara, analisis ini juga banyak dimanfaatkan konsumen sebelum membeli batubara karena perlu memilih kualitas batubara yang sesuai (Kurnia and Malim, 2022), dan digunakan oleh operator untuk memprediksi performanya. Untuk mengetahui nilai kalori batubara, parameter sulfur merupakan salah satu parameter penting yang harus dianalisis. Selain itu, dilakukan analisis sulphur karena sulfur merupakan pencemar lingkungan berupa emisi SO₂, sehingga harus dipastikan kandungannya di bawah baku mutu yang diperbolehkan (Zhu, 2010).

Persyaratan kualitas batubara untuk industri semen harus memiliki nilai kalori >6000 cal/g, *volatile matter* paling tinggi 36-42%, Total *moisture* paling tinggi 12%, Kadar abu maksimum 6%, Kadar sulfur paling tinggi 0,8% (Sukandarrumidi, 2017), *fixed carbon* 30-35%

(Permadi, 2003). Dibutuhkan total *moisture* paling tinggi 12% dan kadar abu paling tinggi 6% agar mempermudah pada operasi *handling*, *volatile matter* paling tinggi 36-42% agar dapat diperoleh target sesuai yang diharapkan pada proses pembakaran dan *fixed carbon* sebesar 30-35% agar dapat meningkatkan nilai kalori dalam *blast furnace* gas (Lestari, dkk., 2016; Sukandarrumidi, 2017). Diperlukan kadar sulfur paling tinggi 0,8% sehingga mengganggu proses operasi tanur putar dan turunnya kualitas semen. Nilai kalor >6000 cal/g, sehingga pemanfaatan batubara lebih lanjut dapat mencapai tujuan yang diinginkan batubara sebagai bahan bakar. (Harjanto, dkk., 2012; Lestari, dkk., 2016; Sukandarrumidi, 2017). Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui dan menentukan apakah kualitas batubara Bonto Matinggi Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan sesuai dengan spesifikasi batubara yang dibutuhkan pada industri semen.

2. Metode

Kualitas sampel batubara yang dianalisis pada penelitian ini berasal dari endapan batubara yang terletak di daerah Bonto Matinggi Sulawesi Selatan. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan sebanyak dua sampel batubara secara langsung di daerah penelitian yaitu sampel batubara SA I dan sampel batubara SA II. Sampel batubara kemudian dipreparasi dan selanjutnya dianalisis. Analisis kualitas sampel batubara dilakukan dengan metode analisis proksimat, sulfur dan kalori.

Penyamplingan atau pengambilan sampel batubara dengan metode *channel sampling* yaitu dengan cara membuat torehan memanjang sesuai ketebalan batubara atau endapan bahan galian dan diharapkan dapat mewakili penampang batubara serta membersihkan batubara yang lapuk menggunakan palu geologi sehingga diperoleh batubara yang segar (Zhu, 2010). Pemilihan tempat sampling dimaksudkan agar batubara atau seam batubara benar-benar terambil mulai dari *roof* sampai *floor*, pada dasar lapisan dipasang plastik untuk mengumpulkan sampel yang telah dikeruk agar tidak terkontaminasi dengan material lainnya.

Preparasi sampel dilakukan dengan pengeringan dan pengecilan ukuran butir. Pengeringan sampel pada suhu ruangan antara 25°C – 27°C selama 2 hari. Pengecilan atau reduksi ukuran dilakukan dengan menggunakan *jaw crusher*, bukaan rahang di atur dari 2 hingga 18 mm dengan bijih. Selanjutnya sampel batubara dihaluskan secara manual menggunakan mortar. Pengayakan dilakukan untuk memperoleh ukuran sampel batubara hingga -200 mesh dan selanjutnya di*quartering*.

Bagian sampel hasil *quartering* selanjutnya dianalisis dengan metode proksimat (*moisture in*

air dried, *ash content*, *volatile matter* dan *fixed carbon*), sulfur dan nilai kalori.



Gambar 1. Sampel Batubara

Analisis data kualitas batubara didapatkan dari beberapa laboratorium, diantaranya untuk di laboratorium Pengolahan Bahan Galian Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin untuk analisis proksimat, di laboratorium biokimia FMIPA Universitas Hasanuddin untuk analisis total sulphur dan di laboratorium Teknik Kimia Politeknik Ujung Pandang untuk analisis nilai kalori.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Proksimat Sampel Batubara

Sampel batubara dari daerah penelitian dilakukan analisis proksimat dengan parameter analisis *moisture* (kandungan air), *ash* (kadar abu), *volatile matter* (zat terbang) dan *fixed*

carbon (karbon tertambat). Nilai keempat parameter proksimat harus sesuai dengan nilai parameter analisis yang dipersyaratkan untuk industri semen yaitu pada proses pembakaran di *blast furnace* gas. Parameters ini juga mempengaruhi nilai kalori pada batubara tersebut. Kandungan air yang tinggi akan menurunkan nilai kalori, semakin tinggi kadar abu dan zat terbang semakin rendah nilai kalori dan semakin kecil nilai karbon tertambat maka semakin kecil nilai kalori pada batubara tersebut.

Penentuan kualitas batubara daerah penelitian dengan analisis proksimat terhadap dua sampel diperoleh data-data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

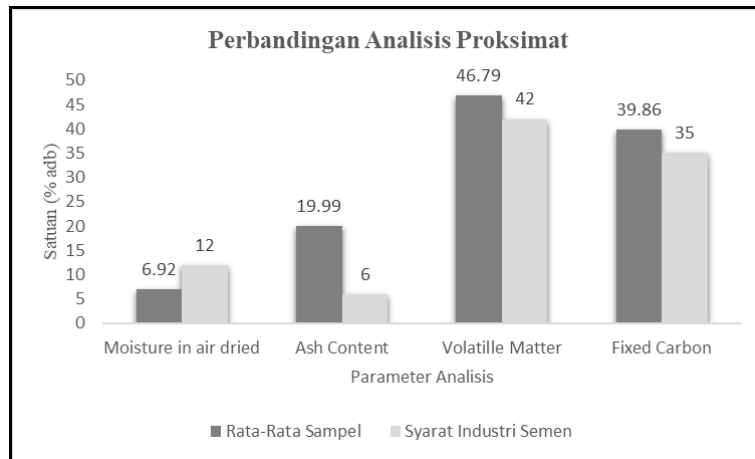
Tabel 1. Hasil analisis proksimat

Parameter Analisis	Kode Sampel			Satuan (Basis) %	Metode Spesifikasi
	SA I %	SA II %	Rata- Rata%		
<i>Moisture in air dried</i>	6,81	7,03	6,92	(adb)	Gravimetrik
<i>Ash Content</i>	20,23	19,74	19,99	(adb)	Gravimetrik
<i>Volatile Matter</i>	46,32	47,26	46,79	(adb)	Gravimetrik
<i>Fixed Carbon</i>	39,50	40,22	39,86	(adb)	Kalkulasi

Kandungan *moisture in air dried* kedua sampel memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan dengan nilai rata-rata sebesar 6,29% adb; *ash content* sebesar 19,99% adb; *volatile matter* sebesar 46,79% adb dan *fixed carbon* sebesar 39,86% adb. Artinya kedua sampel diperkirakan merupakan satu lapisan batubara yang terendapkan secara bersamaan, hal tersebut

juga diperkuat oleh *strike* dan *dip* yang sama yaitu N N 98° E/5° serta ketebalan sebesar 2,7 meter.

Perbandingan rata-rata kualitas batubara daerah penelitian hasil analisis proksimat dengan standar kualitas batubara sebagai syarat bahan bakar untuk industri semen seperti terlihat pada gambar di bawah ini (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik perbandingan analisis proksimat sampel batubara dengan standar kualitas batubara untuk industri semen.

Hanya satu parameter analisis proksimat memenuhi klasifikasi standar batubara untuk industri semen dan parameter yang lainnya tidak memenuhi. Adapun parameter yang memenuhi yaitu parameter moisture content (%-adb) sebesar 6,92% dari syarat maksimum 12% sedangkan parameter yang tidak memenuhi diantaranya adalah parameter ash (%-adb) sebesar 19,99% dari syarat maksimum 6%;

volatile matter (%-adb) sebesar 46,79 dari syarat 36-42% dan *fixed carbon* (%-adb) sebesar 39,86% dari syarat 30-35%.

Tingginya kandungan abu pada sampel batubara diperkirakan dipengaruhi oleh kandungan zat organik yang ikut terendapkan pada saat proses pembatubaraan. Kandungan zat organik pada sampel batubara ditandai oleh warnanya yang hitam coklat kemerahan

Analisis Sulfur dan Nilai Kalori

Sampel batubara dari daerah penelitian juga dilakukan analisis ultimat dengan parameter analisis sulfur dan nilai kalori. Kandungan sulfur dan nilai kalori harus sesuai dengan nilai parameter analisis yang dipersyaratkan untuk industri semen, terutama pada proses pembakaran di blast furnace gas. Kandungan sulfur yang tinggi akan mempengaruhi

penurunan kualitas semen dan nilai kalori yang rendah juga dapat mengakibatkan penurunan kualitas semen yang dihasilkan. Penentuan kualitas batubara daerah penelitian dengan analisis sulfur dan nilai kalori terhadap dua sampel diperoleh data-data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

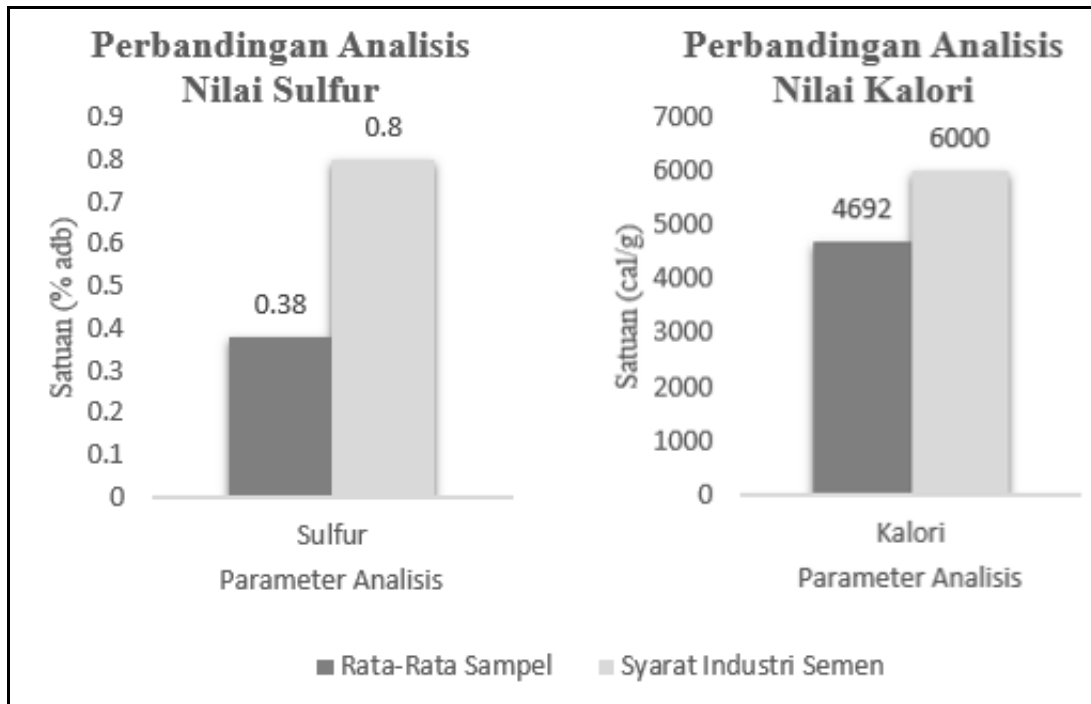
Tabel 2. Hasil analisis nilai sulfur dan kalor

Parameter Analisis	Kode Sampel			Satuan (Basis)	Metode Spesifikasi
	SA I %	SA II %	Rata- Rata%		
Sulfur	0,34	0,42	0,38	% (adb)	Spektrofoto-Metrik UV-Vis
Nilai Kalor	4.992,17	4.393,67	4.692,92	cal/g(adb)	Kalorimetri

Analisis sulfur sampel daerah penelitian dengan nilai rata-rata kandungan sulfur sebesar 0,39% dan nilai kalori dengan rata-rata yaitu 4.692,92 cal/g. Artinya kedua sampel diperkirakan merupakan satu lapisan batubara yang terendapkan secara bersamaan, hal tersebut juga diperkuat oleh *strike dan dip* yang

sama yaitu $N N 98^{\circ} E/5^{\circ}$ serta ketebalan 2,7 meter.

Perbandingan rata-rata kualitas batubara daerah penelitian berdasarkan analisis sulfur dan nilai kalori dengan standar kualitas batubara untuk persyaratan sebagai bahan bakar untuk industri semen (Gambar 3).



Gambar 3. Grafik perbandingan analisis nilai sulphur dan kalori sampel batubara dengan standar kualitas batubara untuk industri semen.

Parameter sulfur memenuhi klasifikasi standar batubara untuk industri semen dengan nilai 0,38% dari syarat 0,8% sedangkan nilai parameter kalori tidak memenuhi klasifikasi standar dengan nilai 4.692,95 cal/g dari syarat >6000 cal/g.

Analisis proksimat dan analisis sulfur serta nilai kalori terhadap sampel batubara daerah penelitian, maka dapat diketahui bahwa kualitas batubara daerah penelitian memenuhi syarat dari parameter *moisture content* dan sulfur content namun dari parameter *ash content*, *volatile matter*, *fixed carbon* dan *calorific value* tidak memenuhi persyaratan yang dibutuhkan dalam pemanfaatan industri semen.

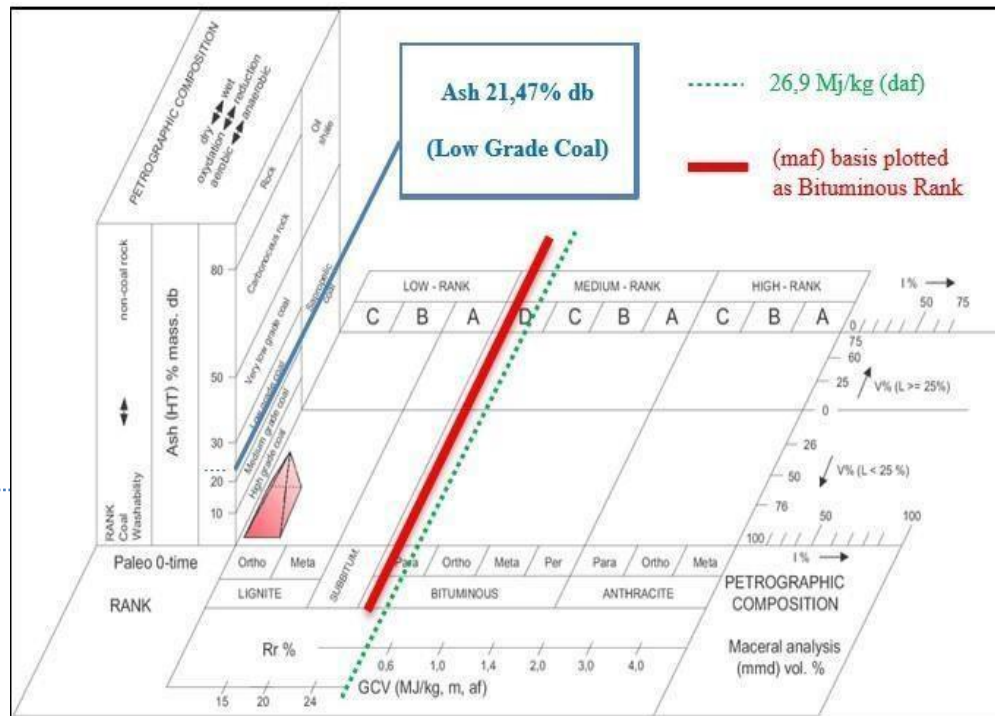
Analisis Klasifikasi Kualitas Batubara

Kedua sampel memiliki nilai kualitas yang hampir sama, sehingga diperkirakan masih pada satu lapisan yang sama. Untuk mengklasifikasikan kadar abu dalam klasifikasi batubara *Classification of in Seam Coal* (UN-ECE 1998) perlu dilakukan konversi abu dari base (adb) menjadi basis (db). Rata-rata kadar abu (*average ash content*) sesuai tabel 1 data hasil uji analisis proksimat sebesar 19,99% (adb) dan setelah dikonversi sebesar 21,47 % (db) sehingga sampel batubara tergolong kategori batubara *low grade coal* (Gambar 4).

Nilai kalori kedua sampel rata-rata sebesar 4.692,92 cal/g (adb), olehnya itu basis nilai

kalornya perlu di konversi ke dalam base *moist, ash free* (maf). Oleh karenanya, *Moisture Equilibrium* (EQM) atau *Moisture Holding Capacity* (MHC) perlu diketahui namun untuk penelitian ini tidak dilakukan penentuan EQM/MHC. Singkapan batubara pada daerah penelitian terletak pada rembesan genangan air sehingga penentuan EQM atau MHC sangat sulit dilakukan karena begitu batubara dikeluarkan dari dalam bumi, kadar *moisture*-nya (EQM/MHC) akan berubah dengan cepat (Muchjidin, 2006).

Kajian yang menggunakan nilai kalori untuk base *dry, ash free* (daf) pada klasifikasi kadar batubara menurut UN-ECE 1998 tidak akan lebih besar dengan anggapan nilai kalori base *dry, ash free* (daf) mendekati namun tidak boleh di atas nilai kalor *moist, ash free* (maf). Anggapan ini didasarkan pada teori bahwa kondisi *moist* (kandungan air) mengurangi nilai kalor (maf < daf). Setelah dikonversi nilai kalor rata-rata (GCV) basis (adb) ke dalam basis (daf) diperoleh nilai sebesar 26,9 Mj/kg (daf). Anggapan bahwa nilai kalor (maf) < nilai kalor (daf) dan nilai kalor (maf) mendekati nilai kalor (daf) karena kesamaan *ash free* yang dikandung, sehingga sampel batubara daerah penelitian dapat diklasifikasikan ke peringkat batubara *bituminous rank* (peringkat sedang) menurut UN-ECE 1998 (Gambar 4).



Gambar 4. Hasi plotting nilai Ash dan GCV Classification of in Seam Coal

4. Kesimpulan

Batubara daerah penelitian tidak memenuhi syarat sebagai bahan dasar untuk bahan bakar dalam kiln pada industri semen. Batubara daerah penelitian, jika diklasifikasikan menurut UN-ECE 1998 tergolong dalam *low grade coal* (sesuai kadar ash) dan peringkat batubara termasuk *bituminous rank* (peringkat sedang).

Ucapan Terimakasih

Penulis berterima kasih banyak kepada pemerintah Desa Bonto Matinggi atas izinnya untuk bisa mengambil sampel dan kepada teman-teman peneliti atas bantuannya sehingga penelitian ini selesai sampai pembuatan laporan penelitian.

Daftar Pustaka

- Arya, T.D., Sriyanti, S. and Pulungan, L. (2019) 'Analisis Batubara Untuk Bahan Bakar Pembakaran Klinker di PT Cemindo Gemilang Semen Merah Putih Kecamatan Bayah Kabupaten Lebak Provinsi Banten Coal Analysis for Clinker Combustion Fuel at PT Cemindo Gemilang Semen Merah mengacu pada standart ASTM D 3172', *Jurnal Teknik Pertambangan*, 5(1), pp. 344–349.
- Bakri, S., Jefri, J. and Widodo, S. (2022) 'Coal Quality Analysis Based on Proximate and Ultimate Test Results in Massenreng Pulu Village, Lamuru District, Bone Regency', *Journal of Geology and Exploration*, 1(2), pp. 36–40. Available at: <https://doi.org/10.58227/jge.v1i2.7>.
- Harjanto, T.R., Fahrurrozi, M. and Made Bendiyasa, I. (2012) 'Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa', *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), p. 51.
- Haryadi, H. and Suciyanti, M. (2018) 'Analisis Perkiraan Kebutuhan Batubara Untuk Industri Domestik Tahun 2020-2035 Dalam Mendukung Kebijakan Domestic Market Obligation Dan Kebijakan Energi Nasional', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(1), p. 59. Available at: <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol14.no1.2018.192>.
- Hilmi, A., Ulfa, A.M. and Sulaimansyah (2021) 'Analisis Proksimat, Kandungan Sulfur dan Nilai Kalor dalam Penentuan Kualitas Batubara A. Pendahuluan Batubara merupakan salah satu bahan bakar yang bersumber dari hidrokarbon berbentuk padat. Batubara sendiri terbentuk dari tanaman dan mikroorganisme', *Indonesian Journal of Engineering*, 1(2), pp. 85–94.
- Kurnia, L.M.H. and Malim, A.I.L.O. (2022) 'Analysis of Coal Quality on Mining Front and Ship Loading in East Kalimantan Province: Evaluasi Kualitas Batubara pada Front Penambangan dan Ship Loading di Provinsi Kalimantan Timur', *Jurnal Geoelebes*, pp. 87–92.

- Lestari, D., Asy'ari, M.A. and Hidayatullah, R. (2016) 'Geokimia Batubara Untuk Beberapa Industri', *Jurnal POROS TEKNIK*, 8(1), pp. 1–54.
- Muchjidin, M. (2006) 'Pengendalian Mutu Dalam Industri Batubara', *Penerbit ITB Bandung* [Preprint].
- Nursanto, E. (2015) 'Pengolahan Batubara dan Pemanfaatannya untuk Energi', in *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, p. 1.
- Permadi, R. (2003) 'Analisis Batubara dalam Penentuan Kualitas Batubara untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. Palimanan – Cirebon', <http://e-journal.uajy.ac.id/7244/4/3TF03686.pdf>, (492), pp. 15–48.
- Sufriadin, Widodo, S. and Mendaun, Y. (2016) 'Analisis Petrografi dan Kualitas Batubara Sinjai, Sulawesi Selatan', *Jurnal JPE*, 20(2), pp. 21–25. Available at: <http://cotpublications.com/index.php/jpe/article/view/32>.
- Sukandarrumidi (2017) 'Batubara dan Pemanfaatannya', p. 247.
- Yadav, S. and Yadav, P.S. (2017) 'Analysis of Performance of Coal Fired Boiler in Thermal Power Plant', *Advance Physics Letter*, 4(1–2), pp. 5–14.
- Yudiartono, Y., Windarta, J. and Adiarso, A. (2022) 'Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang Untuk Mendukung Program Peta Jalan Transisi Energi Menuju Karbon Netral', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(3), pp. 201–217.
- Zhu, Q. (2010) 'Coal sampling and analysis standards', *IEA Clean Coal Centre*, (2014), p. 123. Available at: https://www.usea.org/sites/default/files/042014_Coal_sampling_and_analysis_standards_ccc235.pdf.



p-ISSN : 2354-7316



e-ISSN : 2620-773