

SKRIPSI

**PEMODELAN DAN ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA,
DAERAH BERINGIN MAKMUR II, MURATARA, SUMATERA
SELATAN**



Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik (ST) pada Program Studi Teknik Geologi

OLEH :

Maretha Deva Erisendy
03071381823052

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara Daerah Beringin Makmur II, Muratara, Sumatera Selatan
2. Biodata Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Maretha Deva Erisendy
 - b. NIM : 03071381823052
 - c. Jenis Kelamin : Perempuan
 - d. Alamat Tinggal : Jl. Lebak Jaya III No. 030 Rt. 15
Rw 05 Kel. Sei Selayur Kec Kalidoni.
 - e. Telepon/Hp/Email : +62811-730-716/devamaretha@gmail.com
 - f. Nama Orangtua : Idris
 - g. Alamat Orangtua : Jl. Lebak Jaya III No. 030 Rt. 15 Rw 05
Kel. Sei Selayur Kec. Kalidoni
3. Nama Penguji I : Dr. Idarwati, S.T.,M.T ()
4. Nama Penguji II : Harnani, S.T.,M.T ()
5. Jangka Waktu Penelitian :
 - a. Persetujuan Lapangan : 10 November 2021
 - b. Sidang Sarjana : 29 Mei 2023
6. Pendanaan :
 - a. Sumber Dana : Program Magang Tugas Akhir Perusahaan
 - b. Besar Dana :

Palembang, 15 April 2023

Menyetujui,
Pembimbing I,

Dr., Ir. Endang Wiwik Dyah Hastuti, Msc
NIP. 195902051988032002

Pembimbing II

Yogie Zulkarnia Rochmana, S.T., M.T
NIP. 198904222020121003

Mengetahui,

Koordinator Program Studi

Dr. Idarwati, S.T.,M.T.
NIP. 198506262014042001

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara Daerah Beringin Makmur II, Muratara, Sumatera Selatan” sebagai persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana Teknik (ST) pada Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, dan dukungannya kepada :

1. Kedua orangtua yang saya sayangi yaitu Etty Haryani dan Idris yang selalu mensupport mencakup aspek moril dan material serta selalu menjadi garda terdepan dalam segala langkah hidup penulis.
2. Dosen pembimbing bapak Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T.,M.T dan tim dosen yang memberikan ilmu, bimbingan, saran selama penyusunan laporan kepada penulis.
3. Kedua Adik saya yaitu Evan dan Kelvin yang telah menghibur dan membuat jengkel selama penyusunan laporan ini.
4. Laboratorium Geologi Dinamik atas dukungan fasilitas komputer yang sangat memadai dan mempuni dalam operasional pemodelan.
5. Bang Rizky, Bang Sigit, bang Satria IT, kak Dewi, kak Maya dan segenap staff-staff PT. Triaryani yang telah menyediakan bantuan dalam pengambilan data.
6. Siti Nabila Sari, sahabat sejak duduk dibangku SMP yang telah menyemangati dan meluangkan waktu untuk menemani hingga laporan terselesaikan.
7. Teman-teman seperjuangan Dess, Galang, Ahmad Falah, Dapi yang menemani hingga laporan selesai.
8. Untuk diri sendiri terima kasih sudah berjuang pantang menyerah walau selama diperjalanan sering lelah.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih

Palembang, 15 April 2023

Penulis,



Maretha Deva Erisendy

NIM. 03071281823052

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).jv

Palembang, 15 April 2023

Penulis,



Maretha Deva Erisendy
NIM. 03071381823052

ABSTRAK

Penelitian berada di daerah Beringin Makmur 2, Kabupaten Musi Rawas Utara. Secara geologi daerah telitian berada pada Formasi Muaraenim. Adapun tujuan penelitian ini yaitu dapat melakukan pemodelan geologi yang dimulai urutan stratigrafi lalu rekontruksi struktur geologi kemudian pembuatan pemodelan geometri batubara lalu perhitungan estimasi sumberdaya batubara. Tahapan yang digunakan pada penelitian antara lain, observasi lapangan, analisis laboratorium lalu analisis studio. Adapun data-data yang diperlukan seperti, data pengeboran (64 titik bor), data geologi regional serta data survei di lokasi penelitian atau lokasi izin usaha pertambangan (IUP). Setelah semua data dianalisis maka dapat melakukan pembuatan pemodelan geometri batubara dan perhitungan sumberdaya batubara berbasis metode *kriging* (*omnidirectional* dan *gridding*). Diketahui urutan stratigrafi yang termuda yaitu Satuan Batupasir Formasi Muaraenim kemudian terendapkan diatas Satuan Batulempung Formasi Muaraenim. Geometri lapisan batubara memiliki ketebalan yang cukup variatif mulai dari 3 meter–5 meter, memiliki karakteristik *roof* dan *floor* berupa *sandy coal* dan *muddy coal* dengan *overburden* yaitu batupasir, batulempung. Sedangkan bentuk lapisan batubara termasuk kedalam klasifikasi *horse back*, *pinch* dan *fold*. Estimasi perkiraan tonase sumber daya tereka 85.538.000 jt/ton sumberdaya tertunjuk 82.144.000 jt/ton sumberdaya terukur sebesar 81.495.000 jt/ton sehingga diketahui keseluruhan estimasi lapisan batubara 249.177.000 jt/ton yang merupakan perhitungan dari estimasi sumberdaya batubara dari *seam* 3 dan 4.

Kata kunci: Geometri Batubara; Pemodelan; Estimasi.

ABSTRACT

The research area is in the Beringin Makmur 2 area, North Musi Rawas Regency. Geologically, the research area is in the Muaraenim Formation. The purpose of this study is to be able to do geological modeling starting with the stratigraphic sequence and then reconstructing the geological structure then making coal geometry modeling and then calculating estimated coal resources. The stages used in the research included field observations, laboratory analysis and then studio analysis. As for the necessary data, such as drilling data (64 drill points), regional geological data and survey data at the research location or mining business permit (IUP) location. After all the data has been analyzed, it can make coal geometry modeling and calculation of coal resources based on the krigging method (omnidirectional and gridding). It is known that the youngest stratigraphic sequence is the Sandstone Unit of the Muaraenim Formation which was then deposited above the Muaraenim Claystone Unit. The geometry of the coal seams has a fairly varied thickness ranging from 3 meters–5 meters, has roof and floor characteristics in the form of sandy coal and muddy coal with overburden, namely sandstone, claystone. While the shape of the coal seams is included in the classification of horseback, pinch and fold. The estimated estimated tonnage of inferred resources is 85,538,000 million/ton, indicated resources are 82,144,000 million/ton, measured resources are 81,495,000 million/ton, so that the overall estimate of the coal seams is 249,177,000 million/ton, which is a calculation of estimated coal resources from seams 3 and 4.

Keywords: Coal Geometry; Modelling; Estimation.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	4
BAB II GEOLOGI REGIONAL	5
2.1 Tatanan Tektonik	5
2.2 Stratigrafi Regional	7
2.3 Struktur Geologi.....	10
BAB III KAJIAN PUSTAKA	12
3.1. Geometri.....	12
3.1.1 Ketebalan	12
3.1.2 Kemenerusan	13
3.1.3 Bentuk Lapisan	13
3.2. Analisis <i>Quality</i> Batubara	15
3.2.1 Analisis Proksimat.....	16
3.2.2 Analisis Ultimat.....	16
3.3. Metode Statistik dan Geostatistik.....	17
3.3.1 Metode Statistik.....	17
3.3.2 Geostatistik	19
3.3.2.1 Experimental Variogram	19
3.4. Estimasi Sumberdaya Batubara.....	22
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1 Studi Literatur	26
4.2. Pengumpulan Data	26
4.2.1 Pengeboran Eksplorasi	26
4.2.2 Geometri Batubara.....	28
4.3. Analisis Laboratorium.....	28
4.4. Analisis studio	28

4.4.1 Rekapitulasi dan Validasi Data	29
4.4.2. Geostatistik dan <i>Modelling</i> Geometri Batubara	30
4.5. Perhitungan Estimasi Sumberdaya Batubara.....	32
4.6. Penyusunan Laporan	33
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
5.1 Data Primer	35
5.1 Geologi Lokal.....	35
5.1.1.1 Pengamatan Geomorfologi.....	35
5.1.1.1.1 Dataran Rendah Antropogenik.....	36
5.1.1.1.2 Perbukitan Rendah Antropogenik	37
5.1.1.2 Stratigrafi Daerah Telitian	37
5.1.1.2.1 Satuan batulempung Formasi Muaraenim	37
5.1.1.2.2 Satuan batupasir Formasi Muaraenim.....	38
5.1.1.2.3 Hubungan Antar Satuan Batuan Formasi Muaraenim	39
5.1.1.3 Struktur Geologi	39
5.1.1.3.1 Antiklin Dusun Lima.....	40
5.2 Geometri Lapisan Batubara.....	41
5.3 Statistik Deskriptif	44
5.3.1 Statistik Univariat	44
5.3.2 Statistik Bivariat	45
5.4 Geostatistik.....	46
5.2.1 Model Variogram	46
5.5 Estimasi Sumberdaya Batubara.....	48
5.6 Diskusi.....	49
KESIMPULAN	54
DAFTAR PUSTAKA.....	lv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Daerah penelitian secara administrasi	4
Gambar 1.2	Lembar geologi Sarolangun skala 1:250.000.....	5
Gambar 2.1	Peta cekungan didaerah Sumatera (Bishop,2000).....	6
Gambar 2.2	Fase kompresi Jurassik Awal-Kapur dan Elipsoid model (Pulonggono dkk, 1992)	7
Gambar 2.3	Fase tensional Kapur-Tersier Awal dan elipsoid model (Pulonggono dkk,1992)	7
Gambar 2.4	Fase tensional Miosen Tengah-Resen Awal dan elipsoid model (Pulonggono dkk,1992)	8
Gambar 2.5	Stratigrafi regional cekungan Sumatera Selatan menurut Ginger&Fielding (2005)	10
Gambar 2.6	Peta tektonik pulau Sumatera.....	11
Gambar 3.1	Fenomena <i>wash out</i> (Thomas,2013)	13
Gambar 3.2	Bentuk lapisan batubara <i>horse back</i> (Sukandarrumidi,1995)	15
Gambar 3.3	Bentuk lapisan batubara <i>pinch</i> (Sukandarrumidi,1995).....	15
Gambar 3.4	Bentuk lapisan batubara <i>clay vein</i> (Sukandarrumidi,1995)	15
Gambar 3.5	Bentuk lapisan batubara <i>burried hill</i> (Sukandarrumidi,1995)	16
Gambar 3.6	Bentuk lapisan batubara <i>fault</i> (Sukandarrumidi,1995)	11
Gambar 3.7	Bentuk lapisan batubara <i>fold</i> (Sukandarrumidi,1995)	13
Gambar 3.8	Grafik skewness dan kurtosis (<i>Mathematical Foundations of Monte Carlo Methods-Scratchapixel</i>)	13
Gambar 3.9	Histogram vs grafik probability (Stamatis D.H, 2002).....	20
Gambar 3.10	Model Variogram (Kim,2015).....	23
Gambar 3.11	Contoh klasifikasi sumberdaya dengan nilai sill (Bret Larkin)	24
Gambar 4.1	Diagram alir	28
Gambar 4.2	Kegiatan pemboran dengan sudut vertical (a); panjang dan pencatatan inti pemeriksaan yang diterima oleh ahli geologi di lokasi (b); memeriksapanjang dan pencatatan inti yang dipulihkan oleh geologist di lokasi (c); pengambilan bukti hasil pemboran pada kotak penyimpanan (d).....	30
Gambar 4.3	Pengukuran geometri ketebalan lapisan batubara pada daerah telitian.....	31
Gambar 4.4	Validasi final <i>database</i> dalam hasil pengeboran dalam upaya menghindari eror pada data	33
Gambar 4.5	Ilustrasi Digital Terrain Model (DTM) Daerah Penelitian Menggunakan Input Data DEMNAS.....	33
Gambar 4.6	Tahap <i>Generate Seam File</i>	34
Gambar 4.7	Tahapan <i>generate stratigraphy</i> (A), Tahapan pengolahan seam hierarki (B).....	34
Gambar 4.8	Penentuan <i>seam reference</i>	35

Gambar 4.9	Proses interpolasi data dengan metode IDW	35
Gambar 4.10	Penentuan <i>interval lag</i> dalam langkah variogram eksperimental	36
Gambar 4.11	Contoh fitting variogram.....	36
Gambar 4.12	Pembuatan <i>gridding model</i>	36
Gambar 4.13	Contoh peta zonasi sumberdaya teraka, tertunjuk, dan terukur yang mengacu pada jarak titik informasi SNI (1998).....	38
Gambar 5.1	Peta lokasi titik bor eksplorasi yang digunakan untuk keseluruhan pengambilan data	39
Gambar 5.2	Peta Geomorfologi daerah penelitian.....	40
Gambar 5.3	Kenampakan dataran rendah antropogenik.....	41
Gambar 5.4	Kenampakan perbukitan rendah antropogenik	42
Gambar 5.5	Singkapan satuan batulempung Formasi Muaraenim	43
Gambar 5.6	Satuan batupasir Formasi Muaraenim	43
Gambar 5.7	Stratigrafi Regional Daerah Telitian	44
Gambar 5.8	Peta garis sayatan system grid dengan jarak 1000 meter untuk mengidentifikasi struktur geologi daerah penelitian.....	37
Gambar 5.9	Penampang geologi D-D' dan E-E' yang mengidentifikasi struktur lipatan (kotak biru)	37
Gambar 5.10	<i>Linemeant</i> Dem diinterpretasikan lipatan	46
Gambar 5.11	Karakteristik Megaskopis batuan di desa Beringin Makmur pada titik bor DH14 (A) lapisan batubara Seam 4; (B) <i>Overburden</i> Seam 4A dan Seam 4B.....	47
Gambar 5.12	<i>Seam</i> Stratigrafi daerah penelitian.....	47
Gambar 5.13	Korelasi Seam Batubara S3 dan S4	48
Gambar 5.14	Kenampakan <i>Seam Block Model</i> Geometri Lapisan Batubara	48
Gambar 5.15	Korelasi linear <i>thickness vs ash</i>	50
Gambar 5.16	Korelasi linear <i>thickness vs CV</i>	51
Gambar 5.17	<i>Fitting semi-variogram</i> pada parameter elevasi.....	52
Gambar 5.18	Kenampakan zona pengaruh sumber daya terukur dan tertunjuk menggunakan SNI 5015.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penempatan peneliti terhadap peneliti-peneliti terdahulu	3
Tabel 3.1	Klasifikasi kondisi geologi berdasarkan aspek sedimentasi, tektonik dan Kualitas (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 1998).....	26
Tabel 3.2	Jarak titik informasi geologi berdasarkan klasifikasi kondisi geologi daerah penelitian (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 1998)	26
Tabel 4.1	Database final yang berisikan data litologi yang didapat dari kegiatan pemboran	32
Tabel 4.2	Database final yang berisikan data geografis yang didapat dari kegiatan pemboran	32
Tabel 4.3	Database final yang berisikan data kualitas batubara dari kegiatan pemboran	32
Tabel 5.1	Hasil analisis statistik deskriptif univariat	49
Tabel 5.2	Hasil analisis statistik bivariat	50

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. Tabulasi Data *Collar, Geology, Assay*
- Lampiran B. Model 3D geometri batubara daerah penelitian
- Lampiran C. Peta *section* dan penampang geometri batubara.
- Lampiran D. Peta overlay topografi dan batubara
- Lampiran D. Peta isopach tiap *seam*
- Lampiran E. Pemodelan statistik bivaria

BAB I

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara di Daerah Beringin Makmur II, Muratara, Sumatera Selatan didasari akan keperluan pembuatan pemodelan geometri lapisan batubara yang akan berlanjut pada tahap estimasi sumberdaya batubara sebagai faktor penting dalam penentuan keekonomisan tambang. Penelitian diawali dengan pembuatan rumusan masalah mengenai objek-objek penelitian yang akandiperlukan. Setelah rumusan masalah, pada bab ini akan membahas cakupan secara luasan lingkup, batasan penelitian, serta kesampaian menuju lokasi penelitian.

1.1 Latar Belakang

Cekungan-cekungan sedimen yang berpotensi membawa batubara di Indonesia terdapat di Sumatra dan Kalimantan (Pusat Sumberdaya Geologi,2012). Cekungan yang ada di Sumatra terdiri dari Cekungan Sumatera Selatan, Sumatera Tengah, Ombilin, Bengkulu dan Aceh Barat. Sedangkan, Kalimantan memiliki Cekungan Barito, Kutai, Asem-Asem. Berau, Tarakan, Ketungau dan Melawi. Total ketersediaan batubara di seluruh cekungan tersebut diperkirakan hingga 161 miliar ton serta cadangan sebanyak 28 miliar ton.

Lokasi penelitian tepatnya berada di Daerah Beringin Makmur II, Muratara, Sumatera Selatan termasuk kedalam Cekungan Sumatera Selatan, yang mencakup Formasi Muaraenim sebagai formasi pembawa lapisan batubara. Sumberdaya batubara pada daerah penelitian memiliki karakteristik geologi yang beragam. Fenomena keberagaman endapan batubara ini sangat menarik untuk diteliti dalam pengklasifikasian kondisi geologi yang mengacu terhadap unsur-unsur geologi (sedimentasi, tektonik, dan aspek kualitas batubara). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini akan membahas bagian geometri serta estimasi sumberdaya batubara didaerah penelitian.

Lapisan batubara dapat diklasifikasikan menurut ukuran atau dimensi berdasarkan ketebalan, kemiringan, kontinuitas, keteraturan, distribusi, bentuk, karakteristik *roof*, *floor*, *cleat* dan pelapukan (Kuncoro, 2000). Adapun proses tektonik diperhitungkan selaras dengan geometri lapisan batubara yang terbentuk (Horne, 1978). Sehingga geometri batubara pada tiap cekungan, formasi, lapisan yang sama dapat berbeda-beda (Prasongko,2000). Kontrol geologi memiliki pengaruh yang signifikan ketika terjadi pengendapan lapisan batubara baik *syn depositional* dan *postdepositional*. Geometri batubara Formasi Muaraenim (kedalaman, ketebalan, kontinuitas, sifat batubara, *roof*, *floor*, *interburden*, dan bentuk lapisan batubara) merupakan hasil dari kontrol geologi *syn depositional* dan *post depositional*. Penelitian model geometri lapisan batubara yang selanjutnya dapat memprediksi estimasi sumber daya batubara di wilayah studi menggunakan variasi jenis ketidakaturan pada setiap lapisan batubara sebagai observasi khusus (Tabel 1.1).

Sejumlah atau kuantitas tertentu yang memiliki prospek yang dianggap dapat ditambang secara ekonomis, sumber daya batubara merupakan komponen dari keseluruhan deposit batubara (SNI 5051, 2011). Sedangkan, estimasi sumberdaya batubara merupakan perkiraan besar jumlah atau potensi endapan batubara yang tersedia di daerah penelitian dengan acuan (SNI, 1998) yang terbagi menjadi tiga kategori sumber daya tereka, sumber daya terindikasi, dan sumber daya terukur tergantung pada kepadatan titik informasi dan tingkat kontrol geologi di daerah penelitian.

Penjelasan latar belakang penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat memahami keadaan geologi secara kuantitatif sehingga dapat lebih mudah menerapkan apa yang dipelajarinya di lapangan. Pendekatan kuantitatif ialah menggunakan metode statistik dan geostatistik, dengan parameter geometri serta kualitas batubara dalam penentuan klasifikasi sumberdaya batubara. Adapun tahap pendekatan geostatistik dalam estimasi sumberdaya batubara menggunakan analisis *variogram* dan *kriging*. Untuk parameter yang dipakai yaitu, ketebalan, nilai kalori, kadar abu dan kadar sulfur sebagai faktor kualitas. Kemudian, pemrosesan proses *kriging* dengan menggunakan nilai estimasi dan standar deviasi estimasi. Sehingga, hasil akhir penelitian dapat memberikan informasi terhadap model geometri, estimasi daerah penelitian kepada akademisi maupun industri serta memungkinkan mengetahui bahwa tiap cekungan batubara dengan tatanan geologi pada tiap daerah memiliki perbedaan. Diharapkan penelitian juga dapat menjadi acuan untuk penelitian berlanjut, perencanaan eksplorasi dalam perencanaan awal penambangan.

1.2 Maksud dan Tujuan

Bertujuan dapat melakukan pemodelan geometri dan estimasi batubara di lokasi penelitian. Berikut ini adalah tujuan penelitian:

1. Pembuatan model geologi lokal pada daerah penelitian
2. Melakukan rekonstruksi model geometri endapan batubara dalam model 2D atau 3D pada daerah telitian.
3. Mengkalkulasikan estimasi sumberdaya didaerah telitian.

1.3 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan dibahas, antara lain :

1. Bagaimana kondisi geologi (stratigrafi, struktur geologi) daerah penelitian?
2. Bagaimana bentuk geometri (kemenerusan, variasi ketebalan, karakteristik batubara *roof*, *floor*, *interburden*, bentuk lapisan batubara) dan model endapan batubara di wilayah studi?
3. Berapa perkiraan sumberdaya batubara yang diperoleh di daerah penelitian?

Tabel 1.1 Penempatan peneliti terhadap peneliti–peneliti terdahulu.

No.	Peneliti	Geometri Batubara				Estimasi Sumberdaya Batubara
		Ketebalan	Kemenerusan	Roof, floor, IB	Bentuk Lapisan	
1	Thomas, L. 2013. <i>Coal Geology</i> . John Wiley and Sons, Ltd.					
2	Husna, D, dkk. 2020. Pemodelan dan Perhitungan Cadangan Batubara Menggunakan Metode <i>Krigging</i> dan Poligon Berdasarkan Data <i>Well Log</i> Daerah Penelitian Distrik Isim, Manokwari Selatan, Papua Barat. <i>Padjajaran Geoscience Journal</i> .					
3	Adrian, D, dkk. 2018. Identifikasi dan Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Poligon Berdasarkan Interpretasi Data <i>Logging</i> Pada Lapangan “ADA” Sumatera Selatan. <i>Jurnal Geofisika Eksplorasi</i>					
4	Laksono, Agung, dkk. 2018. Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara. <i>Prosiding Teknik Pertambangan</i>					
5	Budiman, A, A, dkk. 2019. Estimasi Sumberdaya Batubara Dengan Metode <i>Circular USGS</i> Pada PT. Tuah Globe Mining Kalimantan Tengah. <i>Jurnal Geomine</i> .					
6	Jati, dkk. 2018. <i>Coal Properties and Cleat Attributes at Tanjung Enim Coalfield i44n South Palembang Sub-Basin, South Sumatra</i> .					
7	Ditania, A. Analisis Geometri Lapisan Batubara Menggunakan Data Log Sumur Untuk Rencana Arah Penambangan PT. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau. <i>Jurnal Geomine</i>					
8	Kurniawan, P, 2021. Pemodelan Geometri Batubara Dan Estimasi Sumberdaya Batubara di Daerah Darmo Dan Sekitarnya, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. <i>Indonesian Journal of Economic Geology</i>					
9	Balfas, Muhammad, dkk. 2018. Estimasi Sumberdaya Batubara Seam 4 PT. Yuf Kalimantan Kec. Kenohan, Kab. Kutai Kartanegera Prov. Kalimantan Timur. <i>Jurnal Teknik Geologi: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi</i>					
10	Erisendy, M.D. 2023. Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara Daerah Beringin Makmur II Dan Sekitarnya, Kabupaten Muratara, Sumatera Selatan. Universitas Sriwijaya					

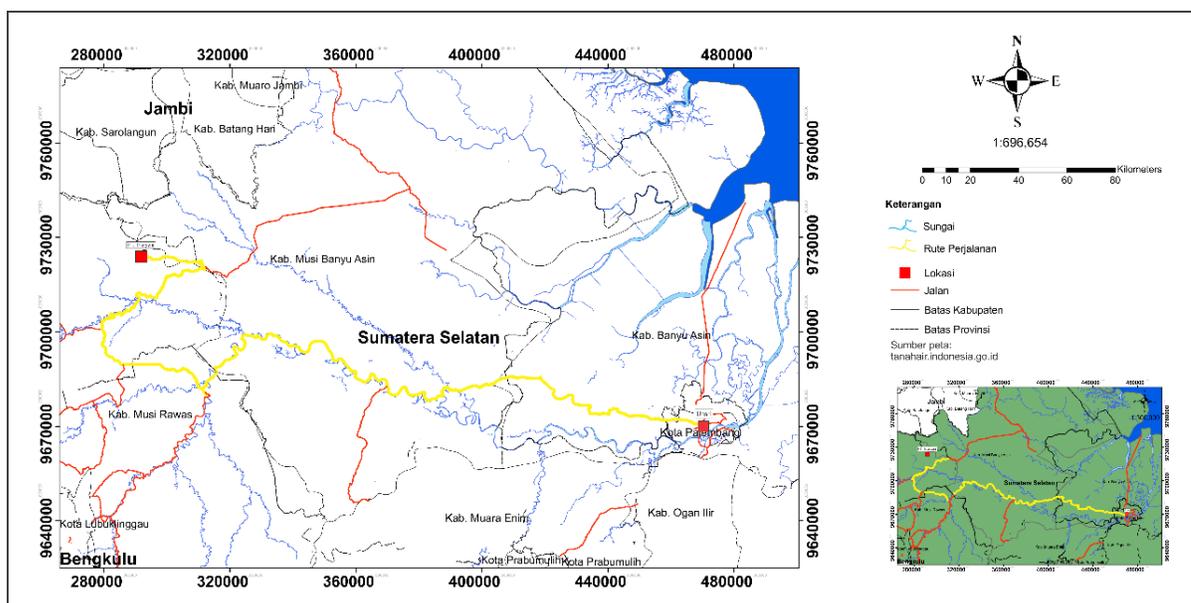
1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup batasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Formasi Muaraenim (Tmpm) yang merupakan bagian dari Sub Cekungan Sumatera Selatan.
2. Penelitian termasuk memperkirakan sumber daya batubara dan mempelajari geometri lapisan batubara.
3. Kedalaman, ketebalan, kontinuitas, kedalaman, ketebalan, kemenerusan, karakteristik batubara,, volumetrik, dan tonase batubara semuanya diamati dalam penelitian.
4. Micromine, yang mengacu pada metode krigging dan berisi *semi-variogram omnidirectional* dan *gridding*, digunakan untuk memodelkan geometri batubara dan memperkirakan sumber daya batubara.
5. Data–data yang digunakan pada pemboran eksplorasi PT. Triaryani yaitu sebanyak 64 titik bor dengan kedalaman 20 m–210 m.

1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Dari segi regional geologi, daerah penelitan termasuk kedalam peta geologi lembaran sarolangun yang berskala 1:250.000. Dilihat dari sisi administratif berada di daerah Beringin Makmur II dan sekitarnya, Kabupaten Muratara, Provinsi Sumatera Selatan. Melalui jalur darat, dibutuhkan waktu kurang lebih 9 jam 53 menit untuk menempuh jarak 274 kilometer dari Kota Palembang ke wilayah studi. Namun, apabila dari Kota Lubuk linggau Lubuk Linggau perjalanan dapat dilanjutkan dengan kendaraan ringan melalui jalan aspal menuju Muara Rupit kemudian dilanjutkan menuju Desa Bingin Teluk. Waktu tempuh kurang lebih 4 (empat) jam untuk menempuh jarak 135 km dari Lubuk Linggau. (Gambar 1.1). Lokasi studi merupakan bagian dari Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) tambang batubara milik PT Triaryani.



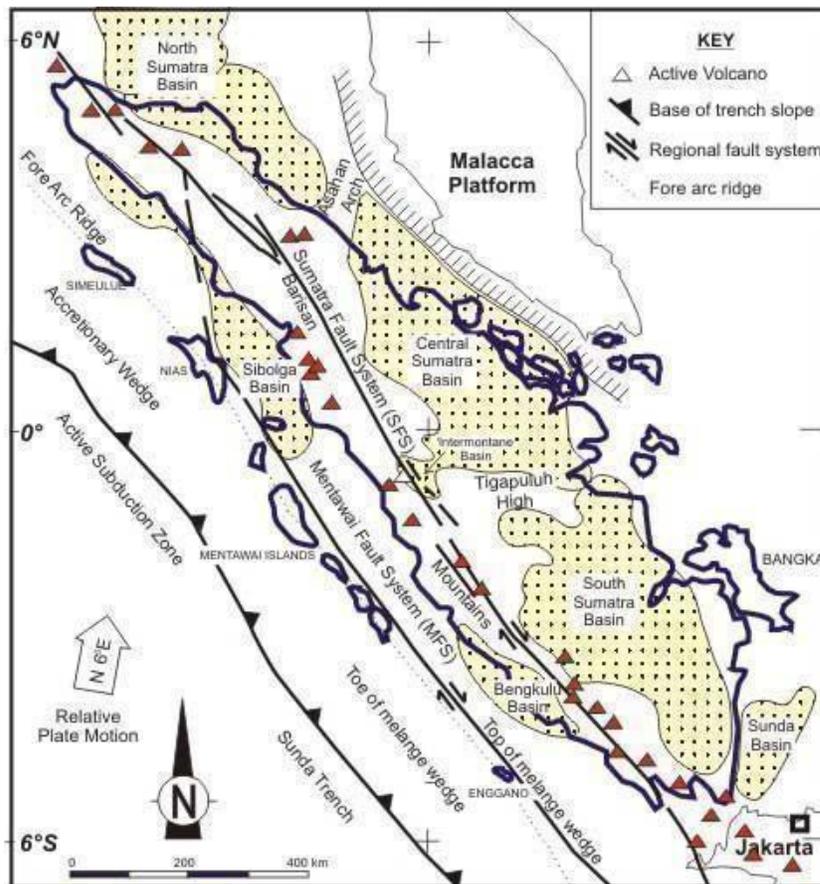
Gambar 1.1 Daerah penelitian secara administrasi

BAB II GEOLOGI REGIONAL

Bab ini yang terdiri dari tatanan tektonik, stratigrafi, struktur geologi, dan landasan teori, dirangkum pada bab ini dalam bentuk referensi dari para peneliti sebelumnya.

2.1 Tatanan Tektonik

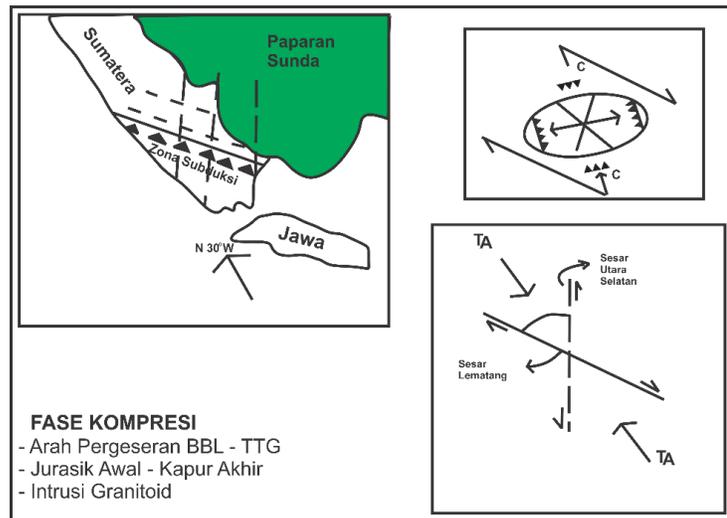
Interaksi tiga arah struktur utama Pola Sunda Utara-Selatan, Pola Timur Laut-Tenggara Jambi, dan Pola Sumatera Barat Laut-Tenggara mengarah pada pembentukan dan evolusi struktural Cekungan Sumatera Selatan (Gambar 2.1). Zona akresi, cekungan busur belakang, busur gunungapi, dan cekungan busur belakang terbentuk sebagai akibat dari pergerakan lempeng-lempeng yang membentuk Pulau Sumatera pada akhir Pra-Tersier (Kapur Akhir) (Pulunggono dan Cameron, 1984 dalam Barber et al.(2005)).



Gambar 2.1 Peta cekungan didaerah Sumatera (Bishop,2000)

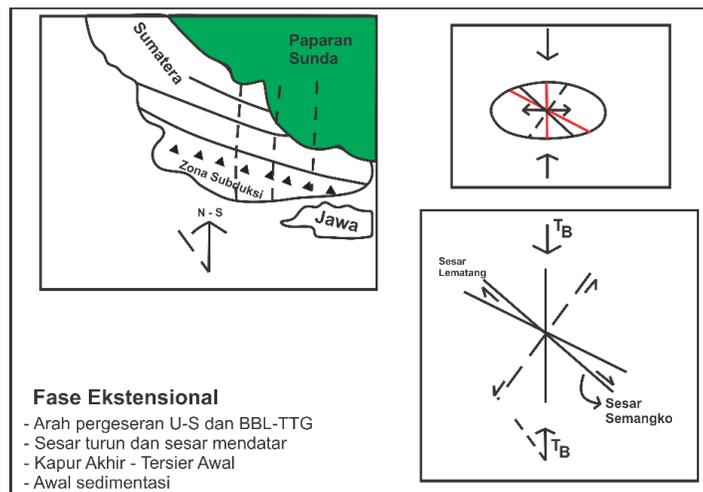
Menurut Pulunggono et al.1992, Tahap kompresi terjadi mulai dari awal Jura hingga Kapur. Adapun peristiwa tektonik yang berkontribusi terhadap pembentukan Pulau Sumatera dan Cekungan Sumatera Selatan. Sesar geser dextral WNW-ESE yang ditimbulkan oleh pergerakan tektonik ini antara lain Sesar Lematang, Kepayang, Saka, Pesisir Selatan

Lampung, Linus Musi, dan trend N-S. Intrusi Granit berumur dari periode Jurassic dan Cretaceous.



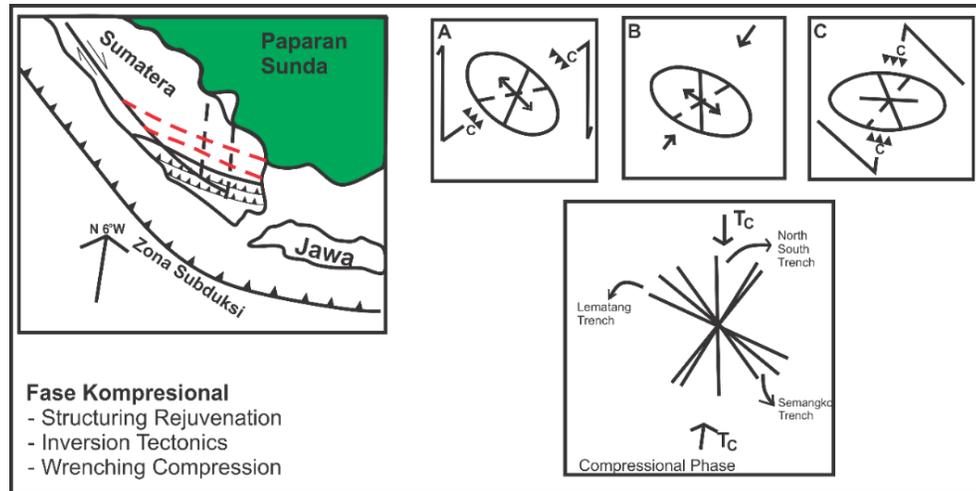
Gambar 2.2 Elipsoid Model pada fase Kompresi Jurasik Awal Sampai Kapur dan (Pulonggono dkk, 1992)

Tahapan tensional yang terjadi menimbulkan struktur geologi yaitu sesar normal berarah N-S dan WNW-ESE sepanjang Kapur Akhir hingga Tersier Awal. Bersamaan dengan aktivitas vulkanik, sedimentasi mengisi depresi yang berada di atas batuan dasar. Formasi Lahat yang awalnya mengisi cekungan.



Gambar 2.3 Fase Tensional Kapur Akhir Sampai Tersier Awal dan Elipsoid Model(Pulonggono dkk, 1992).

Batuan klastik diendapkan setelah pengangkatan batas cekungan selama tahap ketiga aktivitas tektonik selama Miosen atau Intra Miosen. Khususnya Formasi Muara Enim, Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, Formasi Gumai, dan Formasi Air Benakat. Sebagian Formasi Air Benakat dan Formasi Muara Enim mengalami erosi ketinggian akibat fase keempat yang bermanifestasi sebagai gerak tekan pada Plio-Plistosen, sedangkan Formasi Kasai terendapkan di tempat-tempat yang relatif turun. Selain itu, Cekungan Sumatera Selatan mengalami pengangkatan dan perlipatan ke arah barat laut, mengakhiri pengendapan Tersier di sana. Vulkanisme juga terjadi di cekungan busur belakang (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Fase Kompresi Miosen Tengah Sampai Sekarang dan Elipsoid Model (Pulunggono dkk, 1992).

2.2 Stratigrafi Regional

Lokasi penelitian berada di Cekungan Sumatera Selatan (*back arc basin*) Formasi batuan sedimen di daerah ini merupakan bagian dari sedimen Tersier, antara lain Formasi Lahat, Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, Formasi Gumai, Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim, dan Formasi Kasai (dari bawah ke atas). Adapun formasi yang termasuk kedalam lokasi penelitian yaitu formasi Muaraenim

1. Batuan dasar (*basement rock*)

Cekungan Sumatera Selatan terbentuk dari berbagai batuan metamorf dari zaman Mesozoikum, Paleozoikum, dan Mesozoikum serta batuan metamorf karbonat. Banyak hasil dari penanggalan radioaktif menunjukkan bahwa beberapa batuan berasal dari Kapur Akhir hingga Eosen Awal. Menyusul perkembangan basement, terjadi jeda pembentukan Paleosen Cekungan Sumatera Selatan, yang kemudian diikuti dengan pembentukan kembali perkembangan Lahat pada Eosen.

2. Formasi Lahat

Batuan pada Formasi ini terdiri dari batupasir tuffan, konglomerat, breksi, dan lempung. Batuan ini merupakan akibat dari siklus sedimentasi yang berasal dari benua akibat aktivitas vulkanik, proses erosi, dan aktivitas tektonik di Cekungan Sumatera Selatan pada

akhir Zaman Kapur dan Awal Tersier. Menurut Ginger dan Fielding (2005), endapan ini berumur Eosen Awal-Tengah. Akibat adanya jeda pada Eosen Tengah, hubungan antara Formasi Lahat dan Formasi Lemat menjadi tidak selaras.

3. Formasi Lemat

Zona ketidakselarasan atas dan bawah Formasi Lemat menjadi batas bagi formasi ini. Formasi Lemat dan Formasi Talang Akar diduga memiliki kontak *paraconformable*. Formasi Lemat yang berumur Eosen dan Oligosen tersusun oleh batulempung, konglomerat, breksi, dan pasir tuff. Lebih dari 2500 kaki, ketebalan formasi berfluktuasi. (± 760 m).

4. Formasi Talang Akar

Formasi Talang Akar mengandung batupasir dari dataran delta (daerah delta), lanau, serpih, dan batupasir kuarsa, serta batulempung karbonat, batubara, dan terkadang konglomerat. Formasi Talang Akar tebalnya antara 460 dan 610 meter (sekitar 1500 sampai 2000 kaki). Oligosen Tengah hingga Miosen Awal merupakan endapan ini. Setelah Formasi Talang Akar terbentuk, endapan dibuat selaras dengan Formasi Baturaja.

5. Formasi Baturaja

Formasi Baturaja yang mengandung batuan karbonat berupa batugamping dan mengandung serpih pada bagian dasarnya menandai dimulainya fase transgresi air laut. Meskipun bagian bawah formasi ini memiliki ketebalan yang bervariasi, biasanya tebalnya 200–250 kaki (atau 65–75 meter). Formasi Baturaja berasal dari Miosen Awal. Formasi Baturaja mengandung fosil yang berumur N6–N7. Formasi Talang Akar di dasar formasi dan Formasi Gumai di atasnya sama-sama sejajar dengan Formasi Baturaja itu sendiri.

6. Formasi Gumai

Di atas Formasi Gumai terdapat Formasi Baturaja yang tersusun atas napal dengan ciri-ciri fosil dan kaya akan foram planktonik. Ada inlay batu kapur di bagian bawah. Formasi ini memiliki lingkungan pengendapan Neritik dan umur relatif yang terbentang dari Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Berdasarkan berapa banyak fosil yang ada di deposit ini, ini. Bersama Formasi Gumai di atasnya diendapkan Formasi Air Benakat.

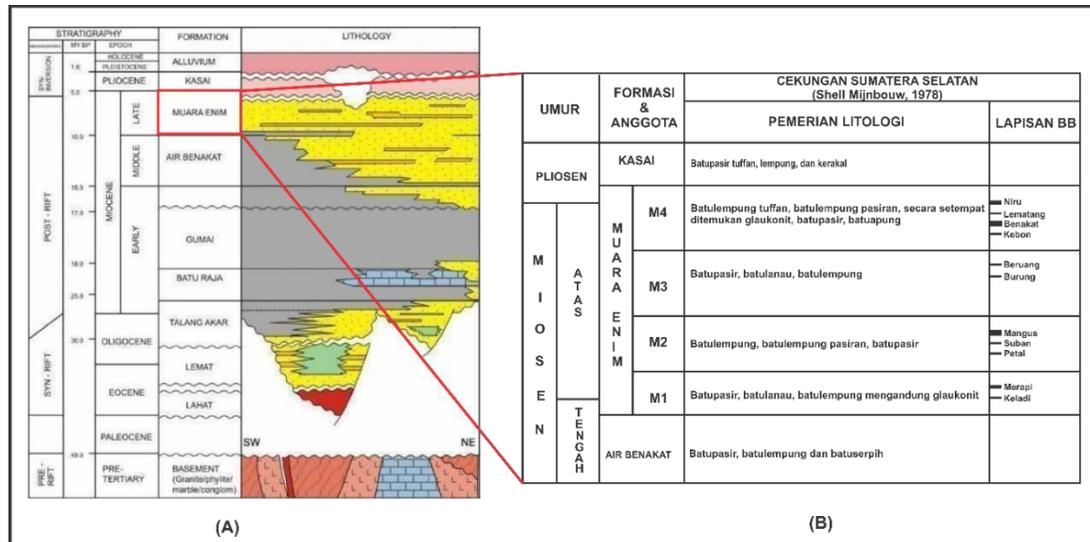
7. Formasi Air Benakat (Tma)

Formasi ini, yang secara selaras menindih Formasi Gumai, diendapkan pada lingkungan laut dangkal antara Miosen Awal Tengah dan Miosen Awal Akhir. Kelompok Lower Palembang dan Kelompok Telisa tersingkap pada antiklin Klumpang dan Kepahyang dan menempati bagian lempengan timur laut dan barat daya dengan luas singkapan sekitar 15%. Mereka memiliki kemiringan 300-150 barat laut-tenggara. Dalam komposisi litologi, batulempung dan batupasir bergantian dengan konglomerat batugamping, napal, dan batulanau.

8. Formasi Muara Enim (Tpm)

Formasi Muaraenim diendapkan secara selaras di atas Formasi Airbenakat. Adanya lapisan batubara yang menerus secara lateral membedakan bagian atas dan bawah dari formasi ini. 15% dari ketebalan formasi, atau 450 sampai 700 meter, terdiri dari batubara. Formasi ini setebal 450–750 meter (sekitar 1500–2500 kaki). Formasi ini diberi umur Miosen Tengah-Pliosen oleh De Coster (1974) berdasarkan posisi stratigrafinya. Formasi ini terbentuk di dataran non-laut, dataran delta, dan laut dangkal.

Gambar 2.6. Stratigrafi regional Cekungan Sumatera Selatan menurut



Ginger&Fielding (2005).

Formasi Muaraenim pada kondisi ideal terbagi atas Muaraenim 1 (M1), Muaraenim 2(M2), Muaraenim 3 (M3), Muaraenim 4 (M4) (Gambar 2.6), sebagai berikut

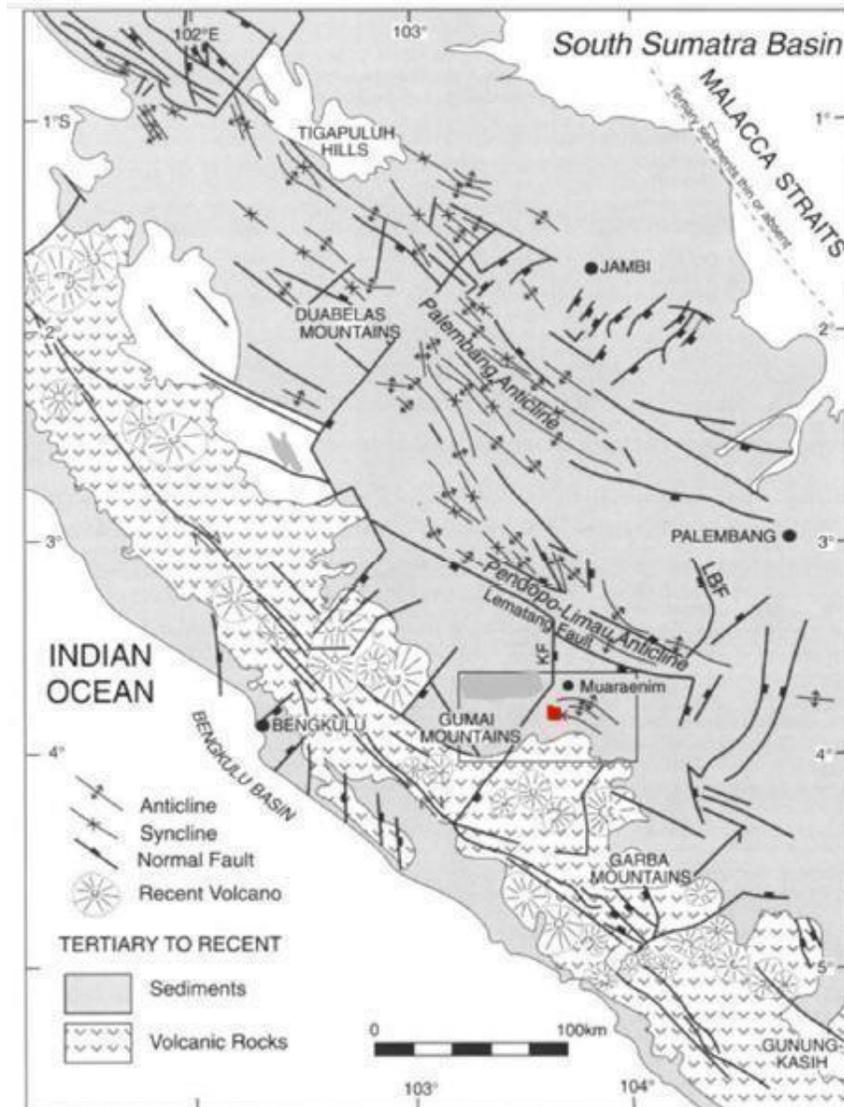
- M1 terutama terdiri dari batulempung, batulanau, dan batupasir coklat dan abu-abu dengan sedikit pasir glaukonitik. Itu terdiri dari lapisan batubara Merapi dan Keladi.
- M2 terdiri dari batu bara, batupasir halus-sedang berwarna abu-abu hijau, lempung berpasir coklat-abu-abu, dan batulempung berulang. Lapisan batubara Petai, Suban, dan Mangus yang membentuk daerah ini memiliki sebaran yang tidak kontinyu.
- M3: terdiri dari batulempung yang berwarna abu-abu hijau dan coklat, batulanau biru-hijau, dan selingan batupasir dan batulanau. Batupasir dibedakan dengan munculnya nodul batu besi dengan rongga berisi kalsit dan gas. Lapisan Beruang dan Burung adalah dua bagian dari lapisan batubara.
- M4 terdiri dari batupasir dan batulempung serta lapisan batubara Kebon, Enim, Jelawatan, dan Niru.

9. Formasi Kasai

Formasi ini merupakan hasil dari proses erosi Pegunungan Barisan dan Pegunungan Tiga Puluh dan terbentuk selama orogenesis pada Plio-Pleistosen. Dimana terdiri dari batupasir tufaan, lempung, berbatuan, dan lapisan batubara yang sangat tipis. Medan terestrial adalah lingkungan pengendapan.

2.3 Struktur Geologi

Penunjaman antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia berdampak signifikan terhadap struktur geologi pulau Sumatera. Firmansyah (2007) sampai pada kesimpulan bahwa tiga pola dasar mendominasi pola struktur Sumatera. Subduksi Busur Woyla dan Sibumasu menyebabkan terbentuknya pola Sumatera berarah NW-SE- kecenderungan pola Sunda terbentuk pada Kapur Akhir-Tersier (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Peta Tektonik Pulau Sumatera (Pulunggono dkk.,1992).

Cekungan Sumatera Selatan terkena dampak Depresi Lematang di Cekungan Palembang yang dibatasi oleh Balai Antiklinorium dan Sesar Lahat di barat laut Paparan Kikim. Antiklinorium Muaraenim, Antiklinorium Pendopo Limau, dan Antiklinorium Palembang, dalam urutan tersebut, merupakan tiga antiklinorium utama di Cekungan Sumatera Selatan. Menurut Suta dan Xiaoguang (2005; dalam Satya, 2010), interaksi antara tiga struktur besar dikenal dengan Pola Jambi (berarah timur laut-barat daya), Pola Sumatera berarah BL-T, dan Pola Sunda berarah U-S inilah yang menyebabkan perkembangan

struktur. serta pengembangan cekungan sejak zaman Tersier

Akibatnya, dibandingkan cekungan lain di Pulau Sumatera, struktur geologi Cekungan Sumatera Selatan lebih kompleks. Struktur geologi yang berarah timur laut-barat daya, yang biasa disebut dengan pola Jambi, terlihat sangat jelas di Sub cekungan Jambi. Produksi struktur dengan kecenderungan timur laut-barat daya di wilayah ini terkait dengan konstruksi graben di Cekungan Sumatera Selatan. Sesar normal yang bergandengan dengan sesar mendatar (patahan wrench) dan teraktivasi kembali pada saat tekanan Plio-Plistosen inilah yang menyebabkan terjadinya struktur pelipatan pada Pola Jambi. Meski tidak terlalu kuat, pelipatan memang terjadi ke arah ini.

BAB III KAJIAN PUSTAKA

Geometri lapisan batubara, kualitas batubara, dan geostatistik semuanya tercakup dalam tinjauan literatur yang berfungsi sebagai landasan teori studi. Definisi, kategori, dan perkembangan dari sifat geometris lapisan batubara akan dibahas dalam bab ini. Hal ini juga akan menentukan perhitungan geostatistik untuk penilaian sumberdaya dan estimasi batubara.

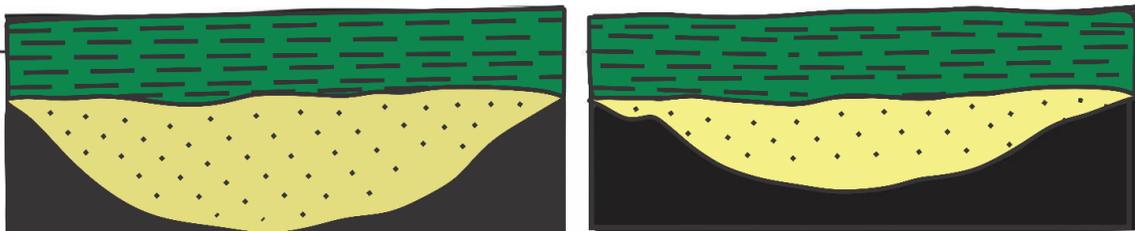
3.1. Geometri Batubara

Gambar 2D atau 3D dari lapisan batubara yang berhubungan secara vertikal atau horizontal dengan batuan lain disebut geometri batubara. Hal-hal yang diperlukan adalah kedalaman, ketebalan, kemenerusan, karakteristik batubara, *roof*, *floor*, *interburden* dan bentuk lapisan sehingga diperoleh hasil model geologi dua dimensi atau tiga dimensi.

3.1.1 Ketebalan

Ketebalan batubara bervariasi dalam ukuran dalam satu cekungan, satu formasi, bahkan dalam lapisan yang sama dan dipengaruhi oleh kompleksitas proses geologi sebelum pengendapan dan pasca pengendapan. Pengukuran ketebalan batubara memiliki metode-metode seperti pengukuran langsung, test pit, dan pemboran. Pengukuran ketebalan batubara secara langsung apabila singkapan terlihat secara keseluruhan. Sedangkan test pit digunakan untuk lereng batubara yang landai, metode *trenching* dapat diterapkan pada singkapan dengan kemiringan yang curam dari lapisan batubara dan lapisan tanah yang menutupinya. Ketika lapisan batubara jauh di bawah permukaan bumi, pengeboran adalah metode yang digunakan untuk mengukur ketebalannya.

Thomas (2013) mendefinisikan *wash out* sebagai keadaan dimana lapisan batubara telah terisi lumpur setelah tergerus oleh arus sungai. Berikut *wash out*, yang biasanya berupa batu pasir dan memiliki bentuk tubuh lenticular ke bawah, adalah proses saluran sungai yang berbentuk struktur sedimen. Lapisan batubara akan hilang seluruhnya atau sebagian sebagai akibat dari peristiwa *wash out* (Gambar 3.1). Selain perubahan geometri, area yang terkena *wash out* biasanya mengalami variasi peringkat batubara.



Gambar 3.1. Fenomena *wash out* (Thomas, 2013)

3.1.2 Kemenerusan

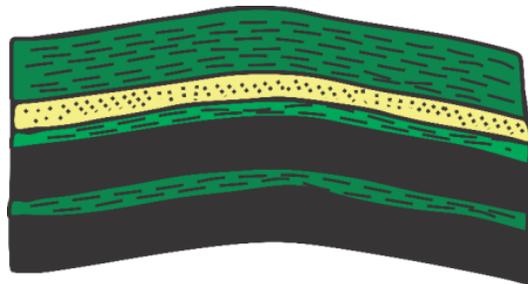
Lapisan batubara mengalami strike atau dip dalam jarak tertentu dan tidak rusak oleh aktivitas geologis, maka dianggap menerus. Jika terjadi adanya split atau terpotong, dapat dikatakan lapisan batubara tidak menerus. Kontinuitas lapisan batubara dapat dipastikan melalui pengamatan langsung terhadap singkapan batubara, *trenching*, *test pit*, pengeboran, dan korelasi lapisan batubara. Intinya, lapisan batubara yang kontinyu akan terbentuk selama proses pengendapan batubara tanpa gangguan dari proses geologi sebelum dan pasca pengendapan. *Roof*, *Floor*, dan *Interburden* adalah proses geologi sebelum dan pasca pengendapan yang berkontribusi pada pembentukan lapisan batubara, meskipun lapisan batubara tidak kontinu.

Roof adalah lapisan atap di atas lapisan batubara. Lapisan lantai lapisan batubara disebut lantai. Lapisan pengotor di dalam lapisan batubara yang dikenal sebagai perpisahan setebal kurang dari 10 cm, sedangkan apabila memiliki ketebalan ± 10 cm yaitu *interburden*. Lapisan sedimen terdiri dari *roof*, *floor*, *parting*, dan *interburden* bergabung dengan lapisan batubara. Akibatnya, terbentuk batuan *carbonaceous sandstone*, *coaly mudstone*, atau jenis batu lainnya. Sangat penting untuk memperhatikan *roof*, *floor*, *parting*, dan *interburden* karena akan berkembang menjadi karakter yang berbeda dalam lapisan batubara dan selanjutnya berpartisipasi dalam proses korelasi. Secara alami, informasi ini juga akan sangat penting untuk estimasi sumber daya dan proses penambangan.

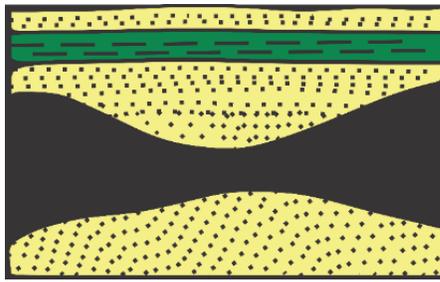
3.1.3 Bentuk Lapisan

Morfologi lapisan batubara dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bentuk cekungan, proses sedimentasi, dan proses geologis sebelum dan sesudah pengendapan. Jenis-jenis lapisan batubara yang dikenal menurut Sukandarrumidi (1995) antara lain *horseback*, *pinch*, *clay vein*, *burried hill*, *fault*, dan *fold*. Lapisan *horse back* dibentuk oleh lapisan batubara dan lapisan batuan sedimen yang terletak di atasnya dan melengkung ke atas akibat tekanan kompresi (Gambar 3.3). Derajat kelenturan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya gaya tekan.

Lapisan tengah yang menipis inilah merupakan Bentuk dasar lapisan *pinch* (Gambar 3.4). Lempung dan batuan lain dengan kualitas elastisitas tinggi biasanya membentuk lapisan batubara bagian bawah, sedangkan batupasir menutupi lapisan batubara bagian atas.

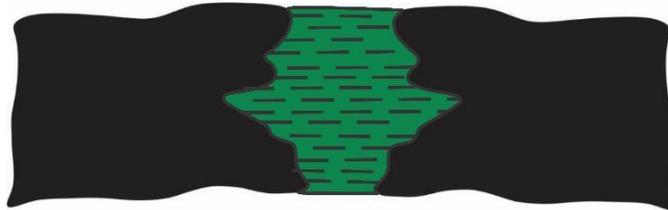


Gambar 3.3. Bentuk lapisan batubara *horse back* (Sukandarrumidi, 1995)



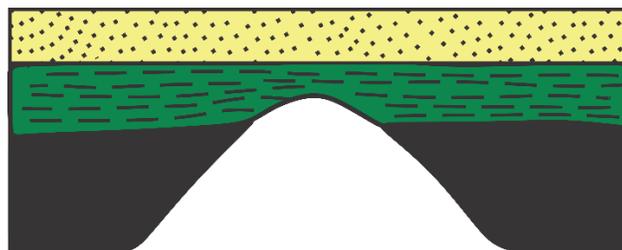
Gambar 3.4 Bentuk lapisan batubara *pinch* (Sukandarrumidi, 1995)

Di antara lapisan batubara, lapisan *clay vein* memiliki bentuk yang khas dengan pasir atau lempung (Gambar 3.5). Bentuk lapisan ini berkembang sebagai bahan sedimen seperti lempung atau pasir yang mengisi patahan atau rekahan yang terjadi pada lapisan batubara. Karena terkandung sebagai pengotor dalam lapisan batubara dan pasti mengurangi nilai kualitas batubara, sulit untuk menghentikan lapisan non-batubara agar tidak terpisah dari lapisan batubara pada penambangan batubara.



Gambar 3.5. Bentuk lapisan batubara *clay vein* (Sukandarrumidi, 1995)

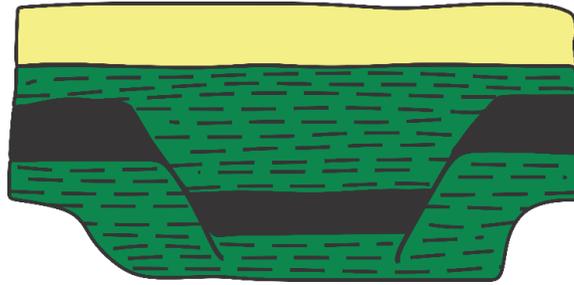
Lapisan *burried hill* dengan disisipkan batuan sedimen (Gambar 3.5). Pada bagian intrusi, lapisan batubara akan menyempit atau bahkan hilang sama sekali. Dari skala kecil hingga besar, bentuk lapisan *burried hill* berubah secara signifikan. Jenis dan karakteristik bentuk lapisan ini dapat ditentukan dengan menggunakan informasi dari kegiatan pemboran eksplorasi. Karena resistensi intrusi yang sangat bervariasi terhadap lapisan batubara, hal itu dapat dihindari selama operasi penambangan. Akibatnya, perencanaan yang tepat diperlukan untuk eksplorasi atau operasi penambangan.



Gambar 3.5. Bentuk lapisan batubara *burried hill*

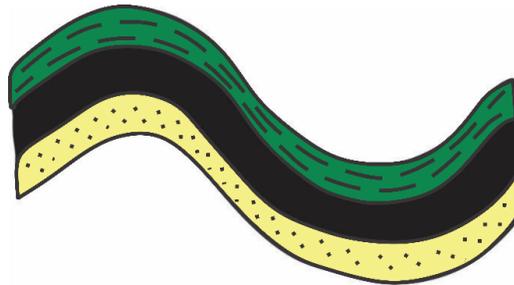
Ketika lapisan batubara memiliki banyak patahan, lapisan *fault* berbentuk patahan (Gambar 3.6). Bentuk lapisan yang paling sulit untuk menghitung sumber daya dan cadangan adalah lapisan *fault*. Pergeseran vertikal lapisan batubara adalah penyebabnya. Saat melakukan kegiatan eksplorasi batubara di daerah dengan gejala

rekahan yang tinggi, diperlukan tingkat presisi yang tinggi dan analisis data permukaan dan bawah permukaan yang baik.



Gambar 3.6. Bentuk lapisan batubara *fault* (Sukandarrumidi, 1995)

Ketika lapisan batubara terlipat, gaya kuat yang intensif lipatan menciptakan lapisan lipatan yang semakin rumit (Gambar 3.7). Salah satu aspek yang paling menantang dalam memperkirakan sumber daya batubara adalah geometri lapisan ini.



Gambar 3.7 Bentuk lapisan batubara *fold* (Sukandarrumidi, 1995)

3.2 Analisis *Quality* Batubara

Kualitas batubara ditentukan menggunakan analisis parameter secara fisik ataupun kimia. Adapun analisis kimia yang dilakukan di laboratorium yaitu analisis proksimat dan analisis ultimat (Iudhi Oki, 2015).

3.2.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat digunakan dalam menetapkan peringkat batubara, memperlihatkan *the ratio of combustible to incombustible constituents*, serta mengevaluasi dalam benefisiasi. Parameter-parameter analisis proksimat, antara lain

- Moisture*, banyaknya kandungan kadar air pada batubara berdasarkan kondisi dilapangan, terbagi dua yaitu kandungan udara bebas / *free moisture*), adalah kandungan udara permukaan batubara yang dibatasi sebagai akibat dari pengaruh eksternal. selain kandungan air yang melekat, yaitu jumlah air yang ada di pori-pori batubara selama pembuatannya.
- Volatile matter*, zat aktif yang terkandung pada saat proses pembakaran batubara dengan temperature tertentu, terdiri atas gas-gas yang mudah terbakar. Apabila semakin tinggi peringkat batubara maka kandungan zat terbangnya rendah.
- Fixed Carbon*, tahapan sesudah penguapan *volatile matter* yang kemudian besaran karbon yang tertinggal setelah pembakaran pada batubara.

- d. *Ash*, produk terakhir dari proses setelah pembakaran batubara, yang kemudian terdiri dari residu anorganik setelah pembakaran. Peringkat batubara sangat dipengaruhi oleh kadar abunya; semakin besar peringkat, semakin rendah batubara, dan sebaliknya. Kandungan abu biasanya dibatasi hingga 20%, namun untuk batubara dengan peringkat lebih rendah, diperkirakan kurang dari 20%.

3.2.2 Analisis Ultimat

Unsur-unsur kimia dalam analisis ultimat digunakan untuk memastikan unsur penyusun batubara. Jumlah oksigen (udara) yang dibutuhkan untuk pembakaran serta efisiensi proses pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan nilai karbon dan hidrogen.

3.3. Metode Statistik dan Geostatistik

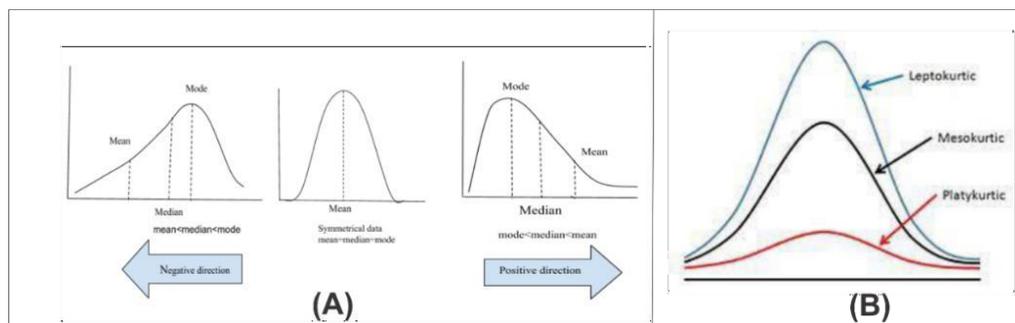
Statistik adalah cabang ilmu yang menyelidiki pengumpulan, analisis, dan penyajian data untuk membuat kesimpulan dan mengidentifikasi pola dan tren. Geostatistik, sementara itu, adalah teknik statistik untuk menganalisis data spasial yang menghubungkan teori matematika dengan fakta geologi.

3.3.1 Metode Statistik

Statistik deskriptif merupakan kegiatan pengumpulan hingga penyajian hasil data. Data-data statistik, didapatkan dari hasil pengamatan atau lainnya dengan bersifat acak, serta tidak terorganisir dengan baik. Adapun hasil statistik deskriptif disajikan dalam bentuk tabel dan grafis histogram, *probability log*, dll.

3.3.1.1 Statistik Univariat

Saat berhadapan dengan satu variabel acak tanpa mengetahui lokasinya, statistik univariat digunakan. Menemukan tendensi sentral (Mean, Median, dan Modus) dan mencari ukuran dispersi (Standar Deviasi, Varians, dan Koefisien Variasi) adalah dua asumsi yang dibuat dengan menggunakan data ini.



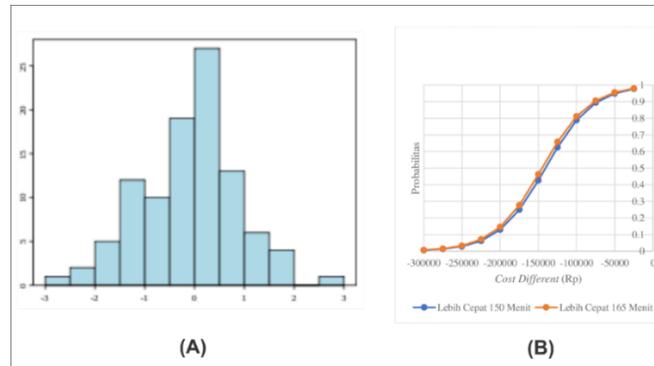
Gambar 3.8. Grafik skewness dan kurtosis (*Mathematical Foundations of Monte Carlo Methods-Scratchapixel*)

Kriteria skewness dan kurtosis adalah salah satu tes kenormalan. Uji normalitas dengan Skewness dan Kurtosis memiliki manfaat tersendiri, antara lain mengidentifikasi apakah grafik normal terlalu datar, mengelompok di tengah, atau miring ke kanan atau ke kiri. Berbeda dengan kurtosis yang mengukur seberapa pedas suatu distribusi data, skewness mengukur seberapa miring suatu distribusi data, apakah itu simetris, miring kiri atau kanan

(Gambar 3.8).

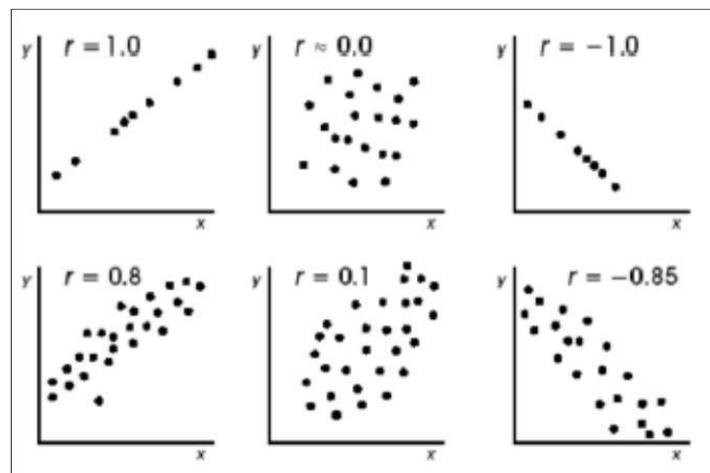
3.3.1.2 Statistik Bivariat

Statistik bivariat digunakan dalam pendekatan terhadap mengidentifikasi antar dua hubungan parameter yang berbeda terhadap lokasi yang sama. Adapun dalam penyajian datanya dengan menampilkan histogram, *scatter plot*, *probability log*, dan lainnya.



Gambar 3.9. Histogram vs grafik probability (Stamatis D.H, 2002)

Contoh histogram dan grafik probability ditampilkan pada (Gambar 3.9), Seperti dapat dilihat, histogram berbentuk seperti kurva simetris, yang menunjukkan bahwa data dalam populasi ini bersifat unimodal dan terdistribusi normal. Sebaliknya, pola distribusi unimodal biasa muncul sebagai garis lurus pada grafik probabilitas (di sebelah kanan). Distribusi data teoretis (normal) ditunjukkan oleh garis lurus diagonal dalam plot probabilitas normal, dan plot data empiris akan dipusatkan di sekitar garis lurus tersebut. Plot data tepat pada garis lurus diagonal jika kumpulan data uji memang memiliki distribusi data normal penuh. Data semakin jauh dari distribusi normal semakin jauh garis diagonal dari plot data.



Gambar 3.10 Tampilan grafik Scatter plot

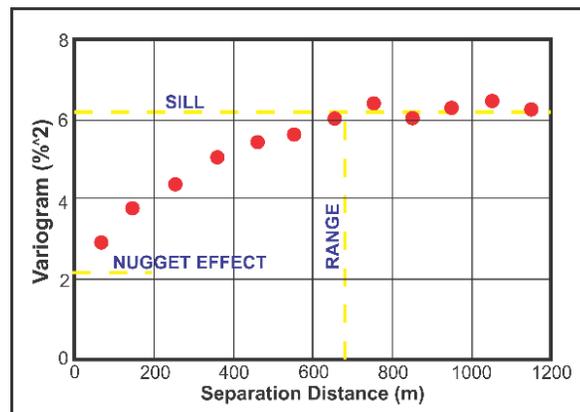
Scatter plot adalah jenis grafik yang menunjukkan pola hubungan antara dua variabel.. Hasil korelasi dua variabel pada grafik *Scatter plot* dapat mengetahui nilai korelasi bersifat positif dan negatif. Adapun nilai korelasi bersifat positif berbanding lurus terhadap variabel pembanding mendekati 1, serta korelasi bersifat negatif variabel pembandingnya berbanding terbalik dengan korelasi nilai -1.

3.3.2 Geostatistik

Geostatistik mampu mewakili tren spasial dan korelasi spasial. Ini juga mengenali variasi spasial pada skala besar dan kecil. Untuk menentukan klasifikasi sumber daya yang sesuai, maka akan dilakukan analisis geostatistik (Kriging) dalam penelitian ini berupa analisis spasial dengan konstruksi variogram terhadap densitas data eksplorasi (data litologi, data pemboran (koordinat, elevasi dan log bor), dan data kualitas batubara). Selanjutnya seluruh data dan informasi endapan batubara diolah dan dianalisis menggunakan pendekatan geostatistik.

Geostatistik menganut teori *Regional Variables* yang menyatakan bahwa data yang diambil dalam satu zona saling berhubungan, untuk itu dapat juga geostatistik disebut *spatial statistic* karena memperhatikan ruang dan waktu. Metode penghitungan pendekatan ini memperhitungkan baik korelasi spasial (spasial) antar kasus, yang merupakan fungsi jarak, maupun jarak itu sendiri. Asosiasi spasial antara sampel ini dibatasi oleh variogram. Variogram adalah fungsi vektor yang dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesamaan atau variabilitas antara dua sampel yang dipisahkan oleh jarak tertentu menggunakan grafik x-y yang dibentuk dengan menunjukkan jarak dan varian dari data berpasangan (Gambar 3.11). Di antara sifat-sifat faktor geografis antara lain adalah:

1. Variabel regional yang terlokalisasi (menempati lokasi tertentu), di mana terdapat perbedaan frekuensi endapan, ukuran, dan orientasi tertentu.
2. Perbedaan kesinambungan regional dapat dicerminkan oleh variabel regional yang relatif tinggi atau rendah.
3. Variabel regional menunjukkan anisotropi, yaitu perbedaan antara tingkat distribusi variansi variabel di setiap arah.



Gambar 3.11 Tampilan grafik parameter pada variogram

3.3.1.1 Experimental Variogram

Variogram eksperimental adalah variogram yang nilai perkiraannya didasarkan pada pengambilan sampel. Sumbu jarak yang memisahkan dua titik disegmentasi ke dalam interval berikutnya dengan cara konvensional dalam memplot variogram eksperimental, yang mirip dengan histogram. Variogram eksperimental sebagai alat untuk analisis eksploitasi memiliki kelemahan bahwa grafik bergantung pada pilihan interval dan dipengaruhi oleh prosedur rata-rata. Variogram didapat dari perhitungan dengan rumus

sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i+h})^2 \quad (1)$$

Keterangan:

$\gamma(h)$ = Nilai variogram dengan jarak h

N = jumlah pasangan

H = jarak antar data

i = urutan data

Pengerjaan variogram harus melakukan berulang-ulang untuk menemukan nilai yang paling sesuai yaitu positif definit dimana hasil dari variogram semakin lama semakin besar hingga mencapai suatu titik tertentu menjadi konstan. Untuk itu variogram biasanya disebut experimental variogram. Variogram juga terbagi menjadi *Omnidirectional* dan *directional*. *Omnidirectional variogram* yaitu perhitungannya tidak mempunyai arah yang spesifik sehingga semua data yang ada akan di hitung. Sedangkan *directional variogram* yaitu perhitungan yang dilakukan mempunyai arah tertentu sesuai yang diinginkan oleh peneliti.

Variogram eksperimental dibuat dengan menghitung korelasi spasial antara 2 (dua) sampel data yang dipisahkan oleh h. Detail ini, yang didasarkan pada pengukuran yang dilakukan di lapangan, dapat mencakup detail seperti porositas, permeabilitas, elevasi topografi, kerataan, dan ketebalan. Setiap baris berisi (n - 1) pasangan data untuk menghitung variogram (h), (n - 2) pasangan data untuk menghitung variogram (2h), dan seterusnya, hingga interval tertentu bergantung pada jumlah n data. Terdapat n buah data pada arah atau baris tertentu, masing-masing berjarak h. Di antara jarak antara pasangan data (h) dan variogram (h), koordinat Cartesian digunakan untuk mengilustrasikan hasil perhitungan variogram.

Komponen dalam variogram sebagai berikut :

1. *Range*, adalah jarak dimana variogram mencapai nilai tinggi. Variogram harus menempuh jarak tertentu untuk mencapai nilai ambang. Sebaliknya, jangkauan menurut Dorsel dan Breche (1997) adalah pemisahan antara titik-titik di mana pengamatan tampak independen, artinya variansinya tidak naik. Jarak sepanjang sumbu horizontal dari nol ke titik prediksi di mana variogram berubah dari miring ke horizontal dilambangkan dengan simbol "a" dalam bagan variogram. Posisi mempengaruhi variabel dalam rentang jarak.
2. *Sill*, adalah waktu yang stabil untuk variogram untuk mencapai jangkauan. Variasi tidak naik, menghasilkan area datar pada variogram.
3. *Nugget Effect*, adalah diskontinuitas pusat variogram, di mana garis vertikal tiba-tiba berubah dari 0 ke nilai variogram dengan jarak terkecil di antara keduanya.

3.4.1. Estimasi Sumberdaya Batubara

Kriging dapat dianggap sebagai teknik untuk menangani variabel lokal. Variabel

regionalisasi adalah variabel yang dapat berubah (bervariasi/berfluktuasi) nilainya tergantung di mana mereka berada. Variabel regionalisasi berbeda dari variabel acak karena kontinuitas geografisnya memiliki kualitas yang dapat diprediksi. Kriging, mempertimbangkan korelasi spasial yang disajikan oleh variogram, lebih disukai daripada metode interpolasi deterministik seperti jarak terbalik dan triangulasi. Kriging juga mengaktifkan ukuran kaliber interpolasi melalui opsi kriging. Akibatnya, kriging adalah metode interpolasi statistik atau probabilistik. Konsekuensinya, hasil interpolasi kriging secara umum lebih baik dan akurat dibanding yang lain.

Pendekatan pendugaan ini mempertimbangkan unsur-unsur yang mempengaruhi keakuratan penaksiran, antara lain jumlah sampel, lokasinya, jaraknya dari titik yang akan ditaksir, kesinambungan spasialnya, dan lain-lain. Dengan kata lain, dengan menggunakan data dari lokasi sampel terdekat, Nilai karakteristik estimator diperkirakan menggunakan metode ini di lokasi non-sampel. Kriging menawarkan metrik kesalahan dan kepercayaan. Semivariogram metode ini menunjukkan nilai dan variasi geografis antara setiap pasangan sampel data. Bobot interpolasi juga ditampilkan dalam semivariogram. Semivariogram dibuat dengan menggunakan n sampel data, nilai z yang berbeda, dan sampel semivariogram dengan jarak h .

Karena batubara terdapat unsur yang berbeda-beda, maka kualitas parameter dari batubara harus diperhatikan oleh estimatornya. Dimana banyaknya variabel membutuhkan pertimbangan, alat estimator membutuhkan pertimbangan dari pendefinisi utama dalam pemilihan variabel kritis yang tepat. Kemenerusan untuk variabel yang berbeda-beda harus dipertimbangkan oleh estimator ketika menentukan pengaruh maksimum dari setiap data yang diestimasi. Dalam seluruh keadaan, hasil geostatistik dan keputusan dari estimator harus sesuai rasional dengan interpretasi geologi.

Area proyek mungkin perlu dibagi menjadi wilayah-wilayah geologi dan konsistensi statistik untuk *variogram* dan analisis geostatistik. Estimasi dapat menjadi sangat mudah dikerjakan jika wilayah yang serupa dipilih untuk semua variabel, tetapi validitas geologi dan geostatistik dari data harus dipertimbangkan oleh estimator. Jika kontrol jarak pada satu variabel sangat berbeda satu dengan yang lain, pengakuan atas perbedaan diwilayahnya mungkin dapat menjadi jaminan. Sehingga diperlukan ketersediaan titik data yang cukup dalam tiap wilayah untuk analisa yang lebih mewakili.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) (1998), sumberdaya batubara diklasifikasikan menjadi sumber daya teroka, terindikasi, dan terukur tergantung pada kompleksitas sistem kontrol geologi dan kerapatan titik informasi geologi. Berdasarkan faktor sedimentasi, tektonik, dan kualitas, kontrol geologi yang menjadi dasar pengklasifikasian sumber daya batubara juga dipecah menjadi kategori sederhana moderat, kompleks (Tabel 3.1).

Aspek sedimentasi berkaitan dengan variasi ketebalan, kontinuitas, dan percabangan lapisan batubara di daerah penelitian. Fitur tektonik seperti sesar, lipatan, intrusi, dan lereng memengaruhi seberapa kompleks kontrol geologi. Komposisi geokimia batubara dapat bervariasi dalam hal kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash*), kandungan cairan bebas (*volatile matter*), kalori pembakaran, dan faktor lainnya.

Jarak linier antara titik informasi dikenal sebagai kepadatan titik informasi.

Kompleksitas kontrol geologi yang berperan di wilayah penelitian digunakan untuk menghitung jarak (Tabel 3.2).

Tabel 3. 1. Klasifikasi kondisi geologi berdasarkan aspek sedimentasi, tektonik, dan kualitas (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 1998)

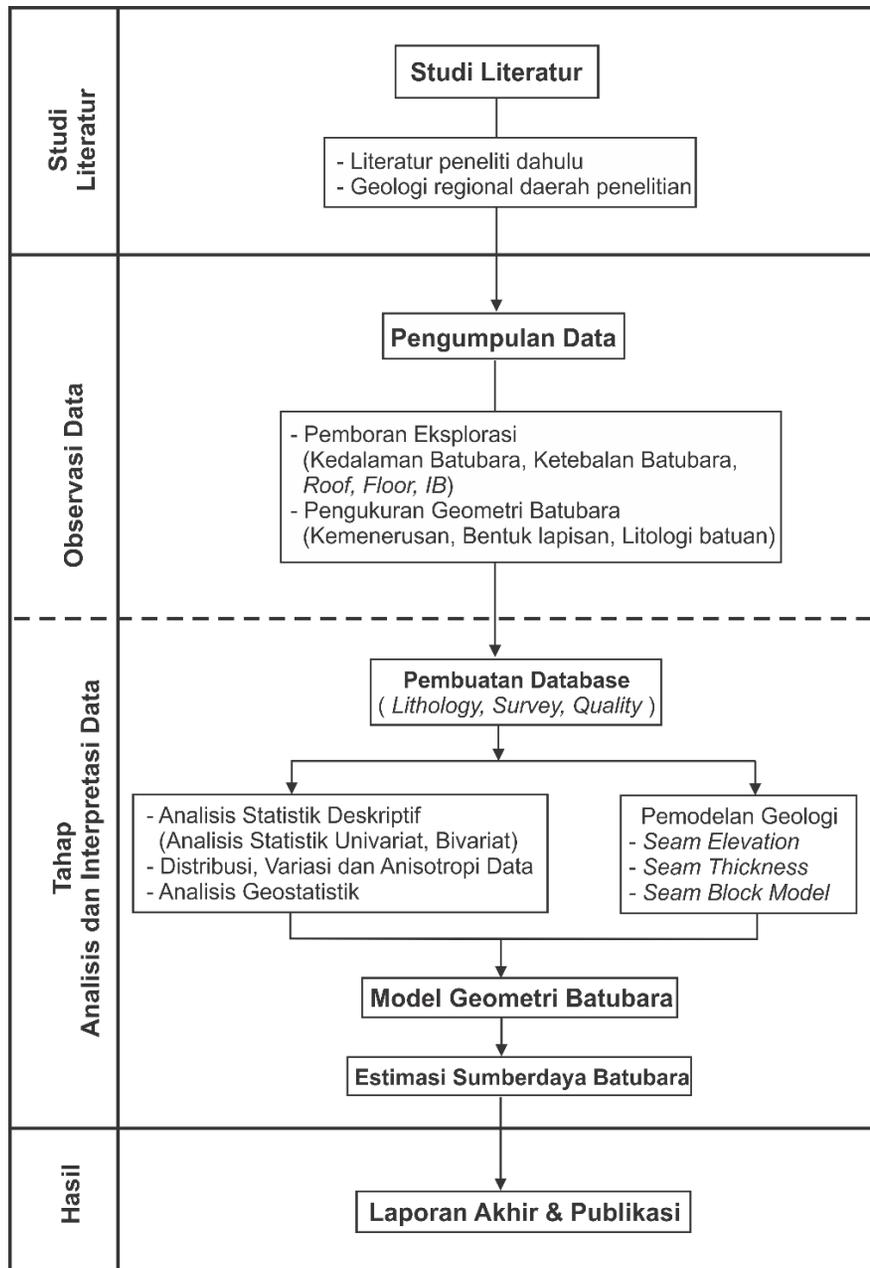
Kondisi Geologi Parameter	Sederhana	Moderat	Kompleks
I. Aspek Sedimentasi			
1. Variasi Ketebalan	Sedikit variasi	Bervariasi	Sangat bervariasi
2. Kesenambungan	Ribuan meter	Ratusan meter	Puluhan meter
3. Percabangan	Hampir tidak ada	Beberapa	Banyak
II. Aspek Tektonik			
1. Sesar	Hampir tidak ada	Jarang	Banyak
2. Lipatan	Tidak terlipat	Terlipat sedang	Terlipat kuat
3. Intrusi	Tidak ada	Berpengaruh	Sangat berpengaruh
4. Kemiringan	Landai	Miring	Terjal
III. Aspek Kualitas	Sedikit variasi	Bervariasi	Sangat bervariasi

Tabel 3. 2. Jarak titik informasi geologi berdasarkan klasifikasi kondisi geologi daerah penelitian (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 1998)

Kondisi Geologi	Kriteria	Sumberdaya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak dari titik informasi (m)	$1000 < X < 1500$	$500 < X < 1000$	$X < 500$
Moderat	Jarak dari titik informasi (m)	$500 < X < 1000$	$250 < X < 500$	$X < 250$
Kompleks	Jarak dari titik informasi (m)	$200 < X < 400$	$100 < X < 200$	$X < 100$

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dibuat agar dapat mengumpulkan serta mengolah data secara sistematis sehingga didapatkan kesimpulan dari permasalahan yang mencakup studi pendahuluan, observasi lapangan, analisis laboratorium dan studio, hingga penyusunan laporan (Gambar 4.1). Adapun tujuan pembuatan metode ini dapat menganalisis geometri serta pembuatan pemodelan batubara hingga estimasi sumberdaya batubara menggunakan metode *kriging*.



Gambar 4.1 Diagram Alir

4.1 Studi Literatur

Pada tahap ini yaitu melakukan studi literatur sebagai acuan dalam melihat kondisi lapangan dengan beberapa referensi serta jurnal agar dapat memperluas wawasan dari peneliti terdahulu untuk mengumpulkan, mengolah dan menyusun data yang dibutuhkan sehingga dapat menginterpretasikan data-data yang telah dihasilkan peneliti juga melakukan pengamatan daerah telitian dari citra satelit yaitu DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*), Peta Geologi Regional Sarolangun dengan skala 1:250.000, *Software google earth*.

4.2. Pengumpulan data

Observasi lapangan ialah tahapan dalam pengumpulan data yang didapat dari kegiatan lapangan secara langsung, memiliki tahapan yaitu pemetaan geologi, pengambilan sampel pemboran eksplorasi sebanyak 64 lokasi titik bor dengan kedalaman 10 meter-178 meter. Kegiatan ini digunakan agar dapat melakukan analisa laboratorium dan studio kemudian membangun model-model geologi dengan menyesuaikan keadaan daerah telitian.

4.2.1 Pengeboran Eksplorasi

Pengeboran eksplorasi ialah kegiatan pemboran yang dilakukan untuk mencari suatu endapan bahan tambang seperti batubara, emas, timah, nikel, dan lain sebagainya. Kemudian ketika melakukan pemboran eksplorasi maka harus diperhatikan sudut pemboran yang terbagi dua yaitu vertikal dan miring, karena sudut pemboran harus disesuaikan sesuai geometri batubara serta bentuk endapan yang tegak lurus lapisan agar mendapatkan data *true thickness*. Pemboran vertikal, diukur berdasarkan sudut 90^0 dari permukaan horizontal bumi, sedangkan pemboran miring, diukur kurang dari sudut 90^0 dari permukaan horizontal bumi. Disesuaikan pada daerah penelitian menggunakan pemboran vertikal.

Selain memperhatikan sudut pemboran, harus mengetahui bagaimana teknik pengambilan sampel. Adapun teknik pengambilan sampel terbagi tiga yaitu *open hole*, *touchcoring*, *full coring*. Namun, tidak semua teknik pengambilan sampel dapat digunakan dalam kegiatan pemboran eksplorasi, Pemboran *open hole*, kegiatan pemboran yang dilakukan pada lokasi titik bor yang berada di dekat bukaan tambang untuk memastikan kemenerusan batubara dimana hasil sampel berupa serbuk atau butiran. Pemboran *touch coring*, sangat disarankan karena dianggap efektif serta efisien dalam kegiatan eksplorasi, disebabkan hasil sampel batuan berbentuk tabung pada target endapan yang dicari (misalnya batubara), bukan pada material lain seperti *overburden*. Sedangkan, pemboran *full coring* memiliki kemiripan terhadap *touch coring* hanya saja perbedaannya terletak pada sampel yang diambil dalam bentuk tabung diambil secara menyeluruh dari awal kegiatan pemboran, bukan hanya pada target pemboran tersebut, biasanya diterapkan pada pemboran geoteknik atau pemboran eksplorasi yang belum memiliki model endapan material ekonomisnya.

Setelah melakukan kegiatan pemboran maka dilanjutkan tahapan pengambilan sampel batuan. Dalam pelaksanaannya dibutuhkan beberapa titik bor yang telah dilakukan pada area yang bertujuan untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium (Gambar 4.2a). Dalam pengambilan sampel, sampel yang diambil dalam kondisi tidak terganggu/*Undisturbed* dan sampel terganggu/*Disturbed* (4.2b dan 4.2.c). Pada setiap lapisan batubara yang didapat dilakukan *sampling* agar dianalisis laboratorium sehingga mendapatkan informasi batubara tersebut (Gambar 4.2c). Adapun data – data yang diambil seperti litologi, kedalaman, deskripsi batuan, karakteristik batubara (ketebalan, *roof*, *floor*, *interburden*). Sebelum menghimpun data kedalaman bor, ada hal penting lainnya yang perlu kita ketahui yaitu panjang pipa bor (*rods*), panjang *core barrel* termasuk juga mata bor dan tinggi meja bor dimana hal tersebut yang akan digunakan dalam melakukan perhitungan kedalaman bor. Setelah mengetahui hal-hal tersebut maka perhitungan kedalaman bor dapat dilakukan menggunakan rumus:

$$\text{Kedalaman} = \text{Jumlah panjang pipa masuk} + (\text{Panjang Core barel} - \text{Tinggi meja bor})$$



Gambar 4.2 (a) Kegiatan pemboran dengan sudut *vertical*; (b) Panjang dan pencatatan inti pemeriksaan yang diterima oleh ahli geologi di lokasi; (c) Memeriksa panjang dan pencatatan inti yang dipulihkan oleh geologist di lokasi; (d) Pengambilan bukti hasil pemboran pada kotak penyimpanan.

Data-data geologi mencakup litologi batuan, kedalaman, deskripsi batuan yang merupakan hasil dari kegiatan pengeboran kemudian akan diinput ke dalam tabulasi excel sebagai database kegiatan pengeboran. Informasi batubara akan didetailkan sebagai informasi seam lapisan batubara. Penamaan lapisan batubara/*seam* dilakukan dengan

mengamati kenampakan/karakteristik batubara di masing-masing lapisan, namun apabila muncul kesulitan dalam penamaan *seam* maka akan menggunakan hasil geokimia dengan uji proksimat dan ultimat disetiap sampel batubara.

4.2.2 Geometri Batubara

Geometri batubara dan model lapisannya mempengaruhi model pengendapan batubara. Geometri batubara sendiri ialah, dimensi dan atau ukuran suatu lapisan atau endapan batubara yang mencakup kemiringan, ketebalan, kemenerusan, pola sebaran, *roof*, *floor*, *interburden* serta pelapukan (Kuncoro,2000). Kegiatan pengukuran geometri lapisan batubara daerah telitian dilakukan langsung pada singkapan batubara. Pengukuran pada singkapan batubara dilakukan pada *strike* dan *dip* lapisan tersebut. Adapun data-data yang dikumpulkan dari pengukuran geometri batubara yaitu kemiringan, ketebalan, kemenerusan, pola sebaran, *roof*, *floor*, *interburden* (Gambar 4.3)



Gambar 4.3 Pengukuran geometri ketebalan lapisan batubara pada daerah telitian

4.3 Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium pada penelitian yaitu analisis kualitas (analisis proksimat dan analisis ultimat) (Iudhi Oki, 2015). Jumlah sampel yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 56 sampel yang diambil dari masing-masing *seam* titik bor. Teknik pengambilan sampel yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada metode *Join Ore Reserves Committee (JORC)*, dimana pengambilan sampel dilakukan pada tiga segmen yaitu *roof*, *floor* dan *body*.

4.4 Analisis Studio

Data yang dihimpun dari kegiatan pemboran akan direkap dan dianalisis. Dari data tersebut informasi kedalaman, ketebalan, *roof*, *floor* dan *interburden* sudah dapat dilihat,

sedangkan untuk memperoleh informasi kemenerusan, dan bentuk lapisan bisa diamati dari modeling geometri lapisan batubara melalui tahap pemodelan strati dan *seam thickness* lalu analisis geostatistik menggunakan metode *ordinary krigging (Omnidirectional semi variogram)* yang kemudian dilakukan menzonasi area sumberdaya berdasarkan SNI (1998) menjadi Tereka, Tertunjuk, dan Terukur.

4.4.1 Rekapitulasi dan Validasi data

Pada tahap rekapitulasi dan validasi data dilakukan setelah dilakukan pengambilan data pemboran yang kemudian didapatkan database final, kemudian menghasilkan database final berupa tabulasi data yang akan digunakan dalam *modelling* geometri batubara serta perhitungan estimasi sumberdaya batubara. Tingkatan data yang memiliki tingkat keyakinan data tertinggi yaitu data *core* sampel dari kegiatan bor *full coring* atau *touch coring*, serta data *cutting* dari kegiatan pemboran *open hole*. Database final divisualisasikan dalam format microsoft excel (Tabel 4.1)

Tabel 4. 1. Database final yang berisikan data litologi yang didapat dari kegiatan pemboran

<i>Hole_ID</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Thick</i>	<i>Seam</i>	<i>Lth</i>
DHQ01	3,00	3,00	0,00	W	
DHQ02	3,00	3,00	0,00	W	
DHQ02	30,20	32,14	1,94	S5	CO

Tabel 4. 2. Database final yang berisikan data geografis titik bor dari kegiatan pemboran

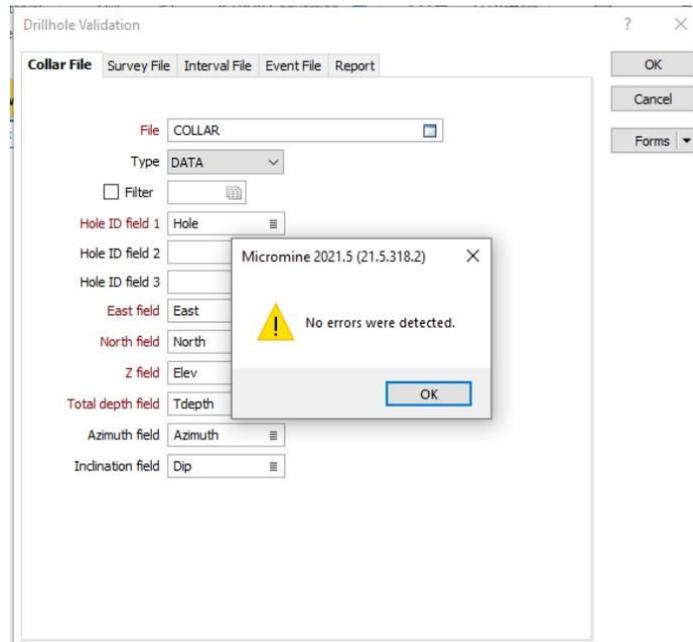
C_COLLAR						
<i>HOLE</i>	<i>NORTH</i>	<i>EAST</i>	<i>ELEVATION</i>	<i>TDEPTH</i>	<i>AZIMUTH</i>	<i>DIP</i>
CH006	290750,20	9725294,03	55,52	34,60	N180° E	10°

Tabel 4.3. Database final yang berisikan data kualitas batubara dari kegiatan pemboran

<i>Hole ID</i>	<i>Seam</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Thick</i>	<i>TM</i>	<i>IM</i>	<i>Ash</i>	<i>VM</i>	<i>FC</i>	<i>TS</i>	<i>Cvad</i>	<i>Cvar</i>	<i>CVDF</i>	<i>RD</i>
CH006	S4	123,3	124	0,2	38	11	9,5	45	35	1	5722	3998	7217	1,4
CH006	S4	123,5	129	5	38,8	12	4,2	44	40	0	5767	4020	6899	1,4

Setelah database final terbentuk, selanjutnya database tersebut harus divalidasi untuk menghindari *error* ketika memodelkan geometri ataupun menghitung sumberdaya batubara. Validasi tersebut dilakukan menggunakan software micromine 2023 yaitu *tool*

validate drillhole (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Validasi final *database* dalam hasil pengeboran dalam upaya menghindari *error* pada data

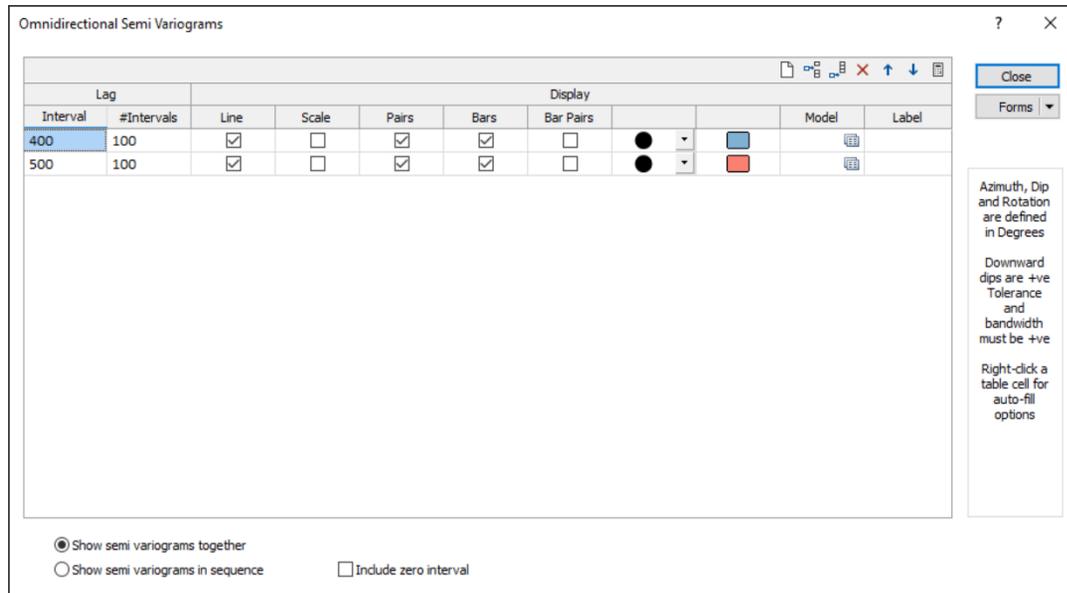
4.4.2 Geostatistik dan Modelling Geometri Batubara

Database yang telah direkapitulasi serta validasi dapat dilanjutkan untuk proses *modelling* geometri lapisan batubara. Tahapan pemodelan terbagi dua tahap yaitu tahap menampilkan visual geometri lapisan batubara yaitu tahap variogram yang berfungsi dalam menentukan statistik data dengan metode krigging untuk memahami pola variasi data dan *modelling* data dalam menampilkan model batubara. Kedua tahap tersebut memiliki akurasi perhitungan yang tinggi sehingga model yang dihasilkan bisa mendekati keadaan yang sebenarnya.

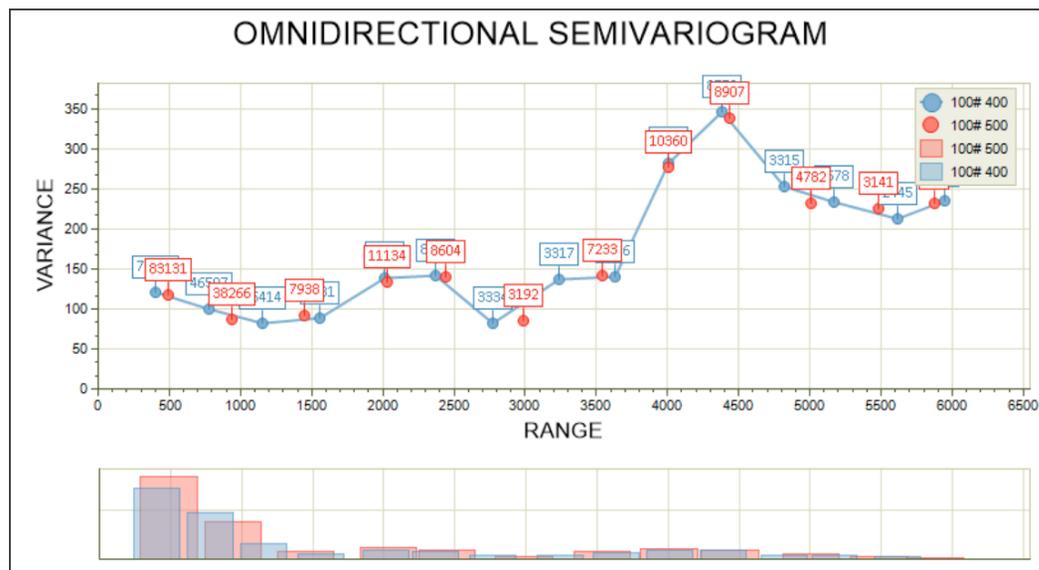
Metode geostatistik yang digunakan pada penelitian adalah metode krigging, dimana krigging dapat menganalisis besar nilai pada titik lokasi yang tidak tersampel dalam penggunaan data titik lokasi yang tersampel dengan penentuan korelasi spasial pada data tersebut (Gusman,dkk. 2020). Adapun metode geostatistik ini dapat menunjukkan data elevasi, ketebalan, jarak serta pengaruh data pada objek penelitian. Dimana, metode ini mengacu pada persamaan matematika yaitu *omnidirectional semi variogram* dalam penentuan analisis statistik dari data. Setelahnya, dilakukan tahap gridding dalam mennetukan pola dan pengaruh dari variabel variasi data yang ada (Bryanco, et al., 2018).

Analisis geostatistik, melakukan pengolahan data eksplorasi guna mengetahui persebaran, distribusi, normalitas, korelasi dan variasi data. Analisis geostatistik menggunakan media variogram yaitu model *omnidirectional*, dimana mengidentifikasi tidak adanya sifat anistropi pada sebaran data. Adapun parameter antara lain, elevasi, ketebalan. Tahapan-tahapan dalam pengolahan model variogram ialah uji sifat

stasioneritas variabel data, perhitungan eksperimental variogram (Gambar 4.5) dan *fitting* model variogram (Gambar 4.6).



Gambar 4.5 Penentuan *interval lag* dalam langkah variogram eksperimental



Gambar 4.6 Contoh *fitting variogram*.

Perhitungan statistik *omnidirectional semi variogram* kemudian dapat melakukan tahapan selanjutnya yaitu tahap *gridding*. Tahap *gridding* dilakukan untuk mengetahui pola serta besar pengaruh suatu data terhadap data lainnya. Dimana, tahapan ini menghasilkan tampilan dalam bentuk peta kontur struktur lapisan batubara yang mencakup informasi *seam elevation*, *seam thickness* dan lain sebagainya.

4.5. Perhitungan Estimasi Sumberdaya Batubara

Perhitungan estimasi sumberdaya batubara memiliki beberapa macam, yaitu Metode Circulas USGS, Metode Kerucut Terpancung, Metode Penampang, Metode Polygon, Metode Garis Kontur, Metode Segitiga dan Metode Krigging. Namun pada penelitian ini menggunakan metode Krigging.

Metode Krigging digunakan karena daerah penelitian memiliki kerapatan titik sampelnya yang tidak tinggi, bersifat homogen. Sehingga penggunaan metode krigging dianggap lebih efektif (Prasasti et al.2005). metode interpolasi krigging dapat digunakan sebagai prediksi nilai sebaran sedimentasi pada daerah telitian (Pramono,2018)

Mengklasifikasikan sumberdaya batubara menjadi tiga klasifikasi yaitu sumberdaya tereka, tertunjuk dan terukur berdasarkan jarak terhadap titik informasi yang mengacu pada SNI (1998). Perhitungan sumberdaya metode ini menggunakan jarak tertentu dari titik informasi data yang juga mengacu pada SNI, 1998 (Tabel 3.2).

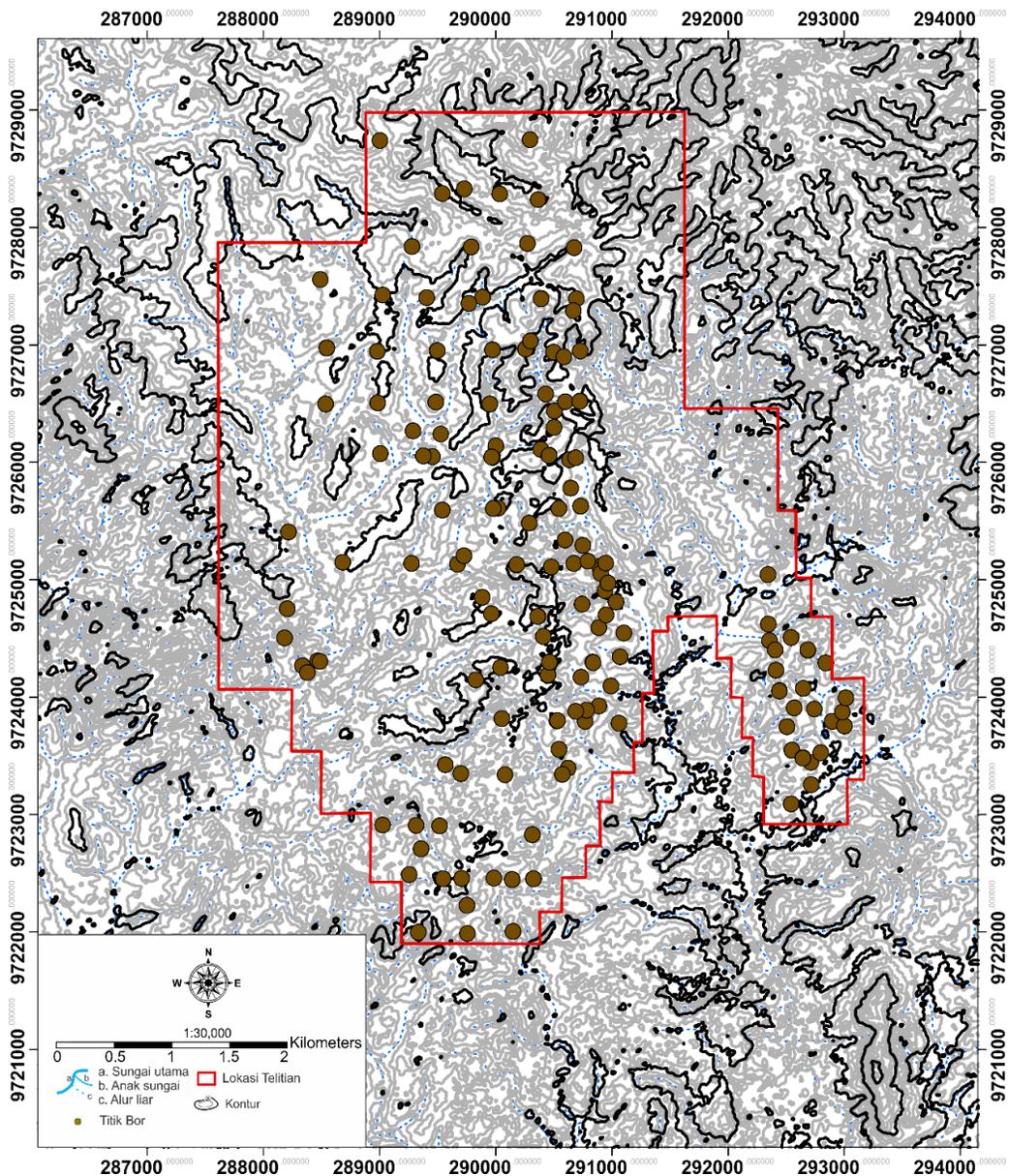
Standarisasi sumberdaya batubara yaitu Sumberdaya tereka, ialah tingkatan klasifikasi sumberdaya lebih akurat, hasil data yang dihitung cukup relevan namun diperlukan kegiatan perhitungan lebih rinci kembali. Sumberdaya tertunjuk, adalah sumberdaya mineral yang tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar, dan kandungan batubaranya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang wajar. Sedangkan, Sumberdaya terukur adalah jumlah batubara di daerah peyelidikan, yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap eksplorasi rinci (SNI, 2011-Perhapi).

4.6 Penyusunan Laporan & Publikasi

Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir penelitian, dimana hasil observasi lapangan, analisa dan sintesa yang sudah diolah kemudian dituliskan menjadi sebuah laporan. Seluruh data yang sudah didapatkan dan dianalisa digunakan untuk merekonstruksi sejarah geologi daerah penelitian berdasarkan interpretasi dan kajian geologi regional, sehingga bisa ditarik sebuah kesimpulan dari penelitian dan bisa menjawab rumusan masalah yang sudah dibuat. Penulisan laporan ini harus sesuai dengan prosedur dan kaidah penulisan yang sudah ditentukan oleh Program Studi Teknik Geologi. Selain itu, informasi yang dituliskan pada laporan bisa dipertanggung jawabkan secara rasional.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi lokal, geometri batubara, dan perkiraan sumber daya batubara tercakup dalam bab hasil dan pembahasan. Data dikumpulkan dari hasil pengeboran dan ditampilkan ke dalam model 2D atau 3D. Urutan stratigrafi, identifikasi, dan rekonstruksi struktur geologi daerah penelitian semuanya dijelaskan oleh geologi lokal. Selanjutnya, bab ini akan menyajikan seluruh data, pemodelan geometri batubara, dan perhitungan sumberdaya batubara.



Gambar 5.1 Peta lokasi titik bor eksplorasi yang digunakan untuk keseluruhan pengambilan data

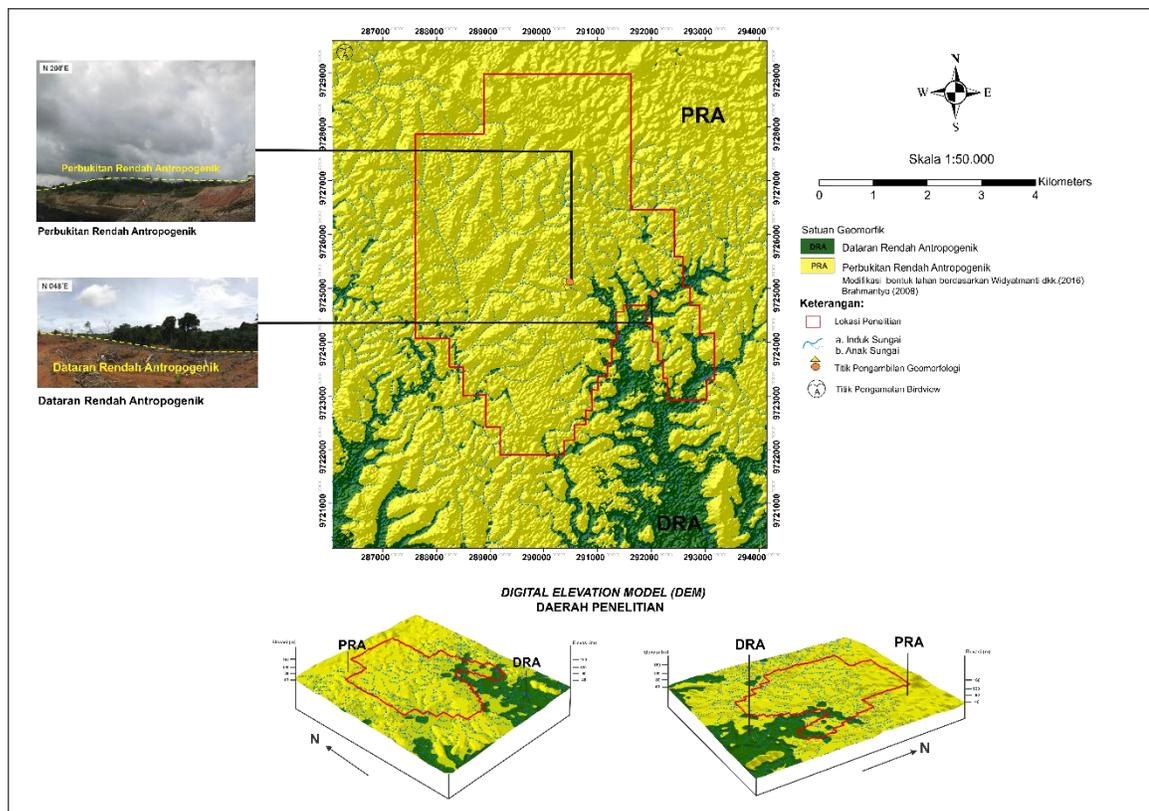
5.1 Data Primer

Pengamatan singkapan batuan, pengukuran kedudukan batuan, pengukuran struktur, pengukuran lintasan stratigrafi terukur, dan percontaan batuan merupakan data yang dikumpulkan langsung di lapangan data yang bersangkutan. Setelah data primer inilah nantinya akan dianalisis guna mengidentifikasi kondisi geologi daerah penelitian meliputi, geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi. Dimana data tersebut didapatkan dari (WIUP) Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Triaryani.

5.1.1 Geologi Lokal

Geologi daerah penelitian berada di (WIUP) Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Triaryani. Geologi lokal dapat disimpulkan dalam beberapa aspek yaitu geomorfologi, stratigrafi dan kontrol struktur hasil dari proses analisis studio dan laboratorium dengan melakukan pemetaan geologi lokal.

5.1.1.1 Pengamatan Geomorfologi



Gambar 5.2 Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Pengamatan bentuk lahan dilakukan untuk dapat menginterpretasikan satuan bentuk lahan dan bentuk asal daerah penelitian dengan mengamati bentuk morfologi daerah penelitian. Geomorfologi daerah penelitian ditentukan berdasarkan beberapa aspek yaitu

aspek morfometri, morfografi, dan morfogenesis. Analisis yang dilakukan mengacu terhadap hasil analisis lapangan dan analisis terhadap data citra satelit berupa data DEM. Aktivitas tektonik serta denudasi yang terjadi di daerah penelitian menjadi faktor pengontrol pembentukan topografi dan morfologi di lokasitersebut. Sekuen tektonik yang terjadi pada cekungan Sumatera Selatan pada kala Pra- tersier hingga kuartar membentuk beberapa struktur geologi yang membentuk morfologi. Proses denudasi yang terjadi dikontrol oleh proses sedimen yaitu pelapukan, erosi, transportasi hingga tersedimentkan. Satuan geomorfologi daerah penelitian ditentukan berdasarkan analisis terhadap aspek morfogenesis, morfometri dan morfografi yang kemudian di simpulkan dengan menggunakan klasifikasi Brahmantyo (2008) dan Widyatmanti et al (2016).

Pengelompokan bentuk lahan yaitu pembagian jenis bentang alam dengan nilai elevasi, kemiringan lereng. Kemudian bentukan morfologi dengan acuan Brahmantyo (2008) mengenai kenampakan bentang lahan akibat proses antropogenik.

Untuk membuat peta geomorfik, peta geologi, pola aliran, elevasi, dan kelerengan terlebih dahulu di-overlay pada peta kemudian dikaitkan dengan kenampakan geomorfik daerah penelitian. Diketahui bahwa wilayah kajian memiliki dua bentuklahan, yaitu dataran rendah antropogenik (DRA) dan perbukitan rendah antropogenik (PRA), berdasarkan temuan analisis dan identifikasi yang berpengaruh (Gambar 5.2).

5.1.1.1 Dataran Rendah Antropogenik

Satuan bentukan dataran rendah (DRA) antropogenik tersebar di wilayah tenggara dan barat daya dengan ketinggian 40–50 meter di atas permukaan laut pada daerah penelitian (Widyatmanti, 2016). Satuan bentuk lahan yang tersusun atas litologi batulempung, batupasir, dan batubara ini memiliki ciri morfologi yang cenderung datar hingga landai.



Gambar 5.3 Kenampakan dataran rendah antropogenik

Adapun kenampakan antropogenik pada daerah telitian berupa areal perkebunan dan aktivitas pertambangan, sehingga mempengaruhi bentukan morfologi dataran rendah

daerah penelitian (Gambar 5.3).

5.1.1.1.2 Perbukitan Rendah Antropogenik

Perbukitan rendah antropogenik (PRA) memiliki luasan sebaran 90% terletak pada ketinggian 50-100 mdpl, berdasarkan klasifikasi widyaatmanti,2016 tergolong kedalam satuan bentuk lahan perbukitan rendah. Satuan bentuk lahan ini tersusun oleh litologi, khususnya batulempung, batupasir, dan batubara, serta memiliki ciri morfologi yang cenderung bergelombang dengan kemiringan lereng yang curam.



Gambar 5.4 Kenampakan perbukitan rendah antropogenik

Proses antropogenik pada daerah telitian yaitu adanya aktifitas penambangan, erosi serta perubahan morfologi juga dikontrol yang berasal dari litologi batuan penyusunnya yaitu batulempung, batupasir dan batubara (Gambar 5.4).

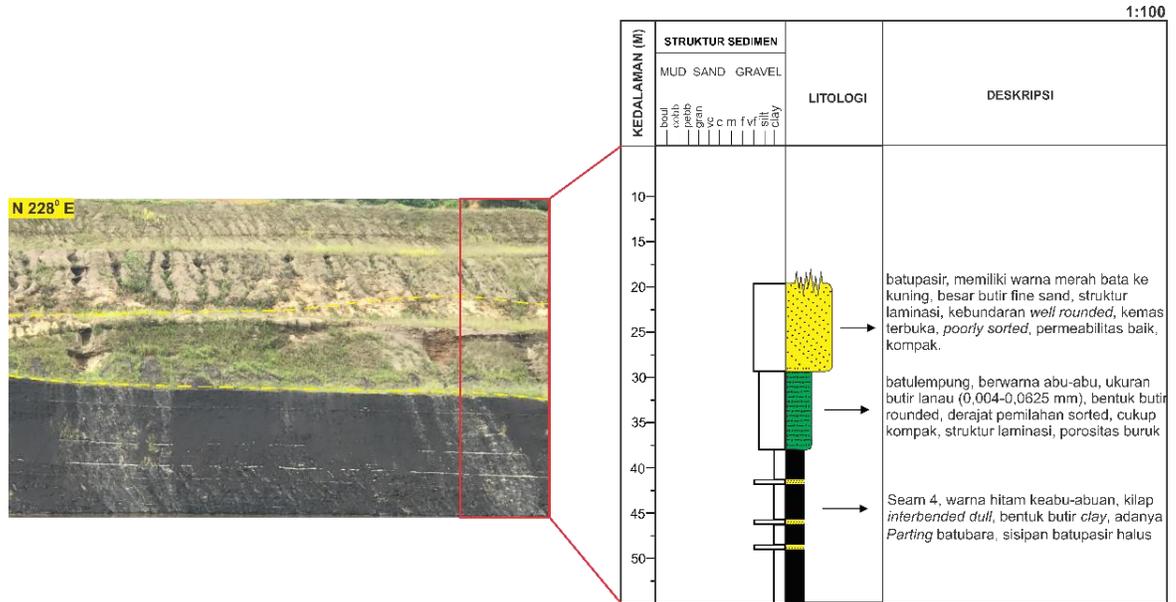
5.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Litologi, struktur sedimen, hubungan antar kelompok batuan, dan data pemboran membentuk stratigrafi daerah penelitian. Peta lokasi pengamatan bor akan dibuat dengan memplot data tersebut pada peta dasar. Untuk menentukan susunan satuan stratigrafi pada daerah penelitian akan dibuat penampang geologi dengan menggunakan peta lokasi pengamatan bor sebagai dasar.

5.1.2.1 Satuan Batulempung Formasi Muaraenim

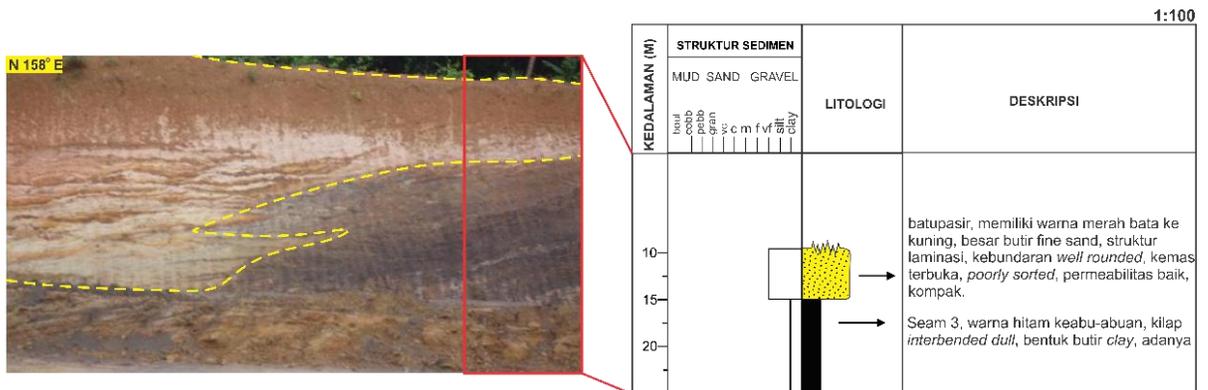
Satuan Batulempung dengan persebaran luasan 50% lokasi penelitian, memiliki kenampakan megaskopis batulempung, berwarna abu-abu, ukuran butir lanau (0,004-0,0625 mm), bentuk butir *rounded*, derajat pemilahan *sorted*, cukup kompak, struktur laminasi, porositas buruk. Batulempung diinterpretasikan terbentuk di lingkungan fluvialtil-deltaic (Ginger & Fielding, 2005). Sedangkan karakteristik batubara memiliki ciri

batubara, warna hitam keabu-abuan, kilap *interbended dull*, adanya sisipan batupasir halus (Gambar 5.5). Pada daerah pengamatan singkapan terdiri dari Seam 4, batulempung dan batupasir. Lapisan batubara memiliki ketebalan 3 m dengan peringkat batubara yaitu Sub-bituminus, batulempung dan batupasir sebagai *overburden* (OB).



Gambar 5.5 Singkapan Satuan Batulempung Formasi Muaraenim

5.1.2.2 Satuan Batupasir Formasi Muaraenim



Gambar 5.6 Satuan Batupasir Formasi Muaraenim

Satuan Batupasir Formasi Muaraenim tersebar dengan luasan 50% lokasi penelitian. Secara megaskopis memiliki ciri warna merah bata, besar butir *fine sand*, struktur laminasi, kebundaran *well rounded*, kemas terbuka, *poorly sorted*, permeabilitas baik, kompak (Gambar 5.6). Terdapat perselingan batupasir dan sisipan batubara yang tidak merata, hanya ditemukan di beberapa tempat saja. Proses fluviatil, yang mengakibatkan perubahan energi transpor, merupakan penyebab fluktuasi ukuran butir pasir halus-sedang (Ginger & Fielding, 2005)(Gambar 5.6).

5.1.2.3 Hubungan Antar Satuan Batuan Formasi Muaraenim

Satuan batulempung Formasi Muaraenim dan satuan batupasir Formasi Muaraenim merupakan dua satuan batuan yang terdapat di lokasi penelitian. Satuan batulempung Formasi Muaraenim berbeda dengan satuan batupasir dalam hal warnanya abu-abu, menampilkan formasi sedimen menyerpih, ukuran butir lanau (0,004-0,0625 mm), bentuk butir *rounded*, derajat pemilahan *sorted*, cukup kompak, struktur laminasi, porositas buruk serta pembawa lapisan batubara dengan ketebalan 1-20 m. Sedangkan, satuan batupasir Formasi Muaraenim memiliki ciri warna merah bata, besarbutir *fine sand*, struktur laminasi, kebundaran *well rounded*, kemas terbuka, *poorly sorted*, permeabilitas baik, kompak dan adanya sisipan tipis lapisan batubara 3-20 cm.

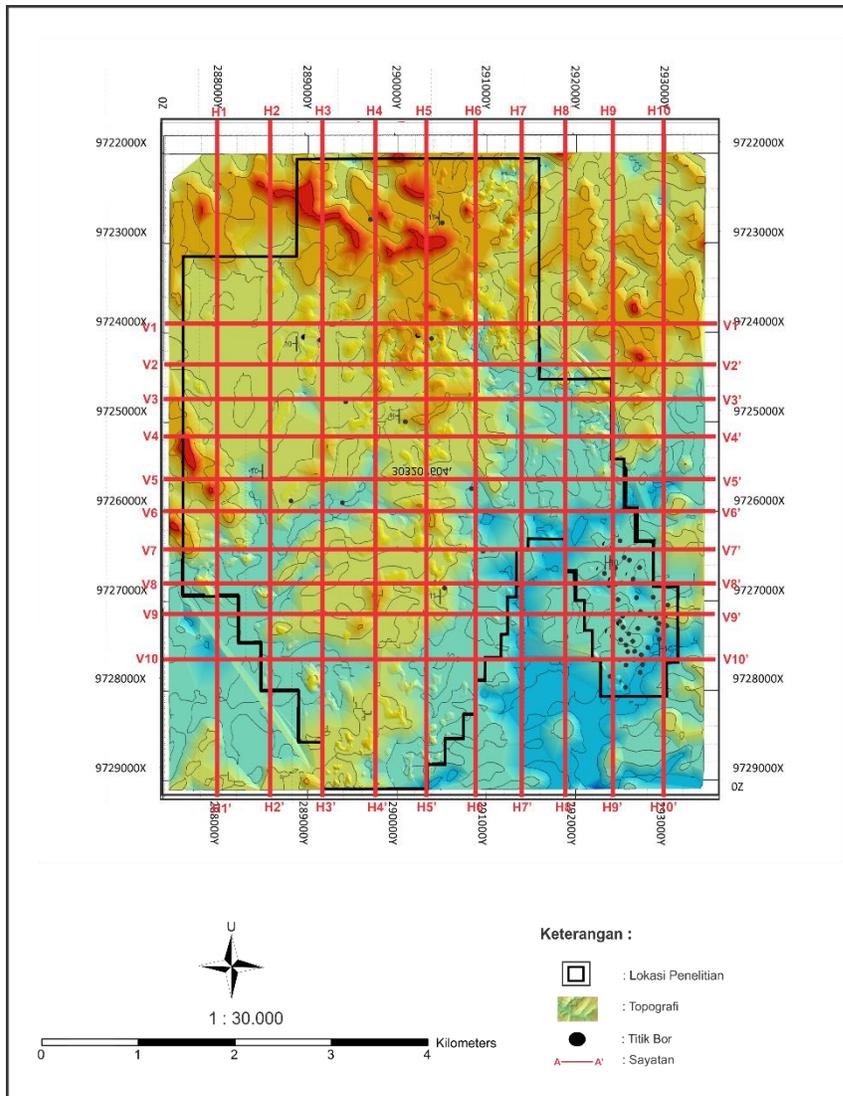
UMUR			LITOSTRATIGRAFI		SATUAN BATUAN	
ZAMAN		KALA		LITOLOGI		FORMASI
TERSIER	NEOGEN	PLIOSEN		•••••		MUARAENIM
		MIOSEN	AKHIR			
			TENGAH	— — — — —		

Gambar 5.7 Stratigrafi Regional Daerah Telitian

Formasi Muaraenim berumur Miosen Tengah-Pliosen dengan lingkungan pengendapan fluvial (Gafoer, et al, 1986). Pembentukan formasi ini diawali oleh fase transgresi mengakibatkan terendapkannya satuan batulempung. Kemudian, kehadiran lapisan batubara pada satuan batulempung berada di daerah rawa (*swamp*) lalu terjadi regresi sehingga satuan batupasir terbentuk secara selaras. Dipengaruhi oleh aktivitas tektonik setelah diendapkan sebagai akibat dari gaya kompresi Miosen. Formasi ini mengalami deformasi tektonik yang menyebabkannya muncul ke permukaan dengan beberapa struktur geologi seperti lipatan dan patahan (Gambar 5.7).

5.1.3 Struktur Geologi

Analisis yang dilakukan terhadap data observasi model geometri lapisan batubara 3D dan 2d, interpretasi pola aliran, pola kontur dan data DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*). Aktivitas tektonik yang terjadi pada bagian barat Pulau Sumatera menjadi faktor pengontrol deformasi batuan yang terjadi. Struktur geologi lokasi sedang ditentukan meliputi gambar 2D penampang geologi menggunakan sistem grid pada jarak 1000 meter, model geometri 3D menggunakan model blok untuk mengamati gejala struktur geologi. Struktur gkekar tidak dilakukan analisis perhitungan mengingat kondisi singkapan tidak ideal pada daerah penelitian, seperti kondisi batuan yang bersifat mudah lunak serta ditemukan banyaknya kondisi singkapan yang lapuk. Kemudian data tersebut dikorelasikan dengan struktur geologi regional (Gambar 5.8).

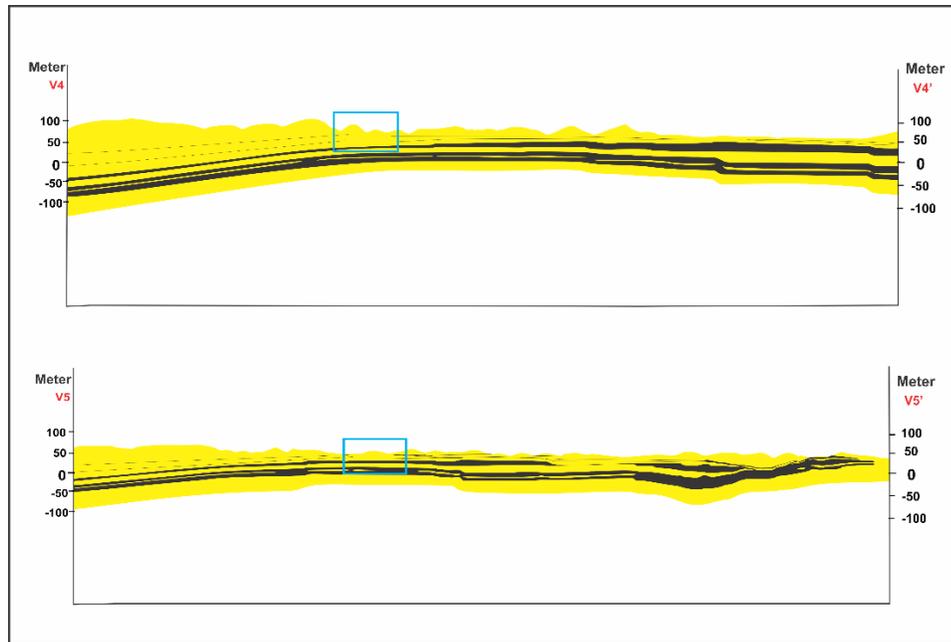


Gambar 5.8 Peta garis sayatan sistem grid dengan jarak 1000 meter dalam identifikasi struktur geologi daerah penelitian.

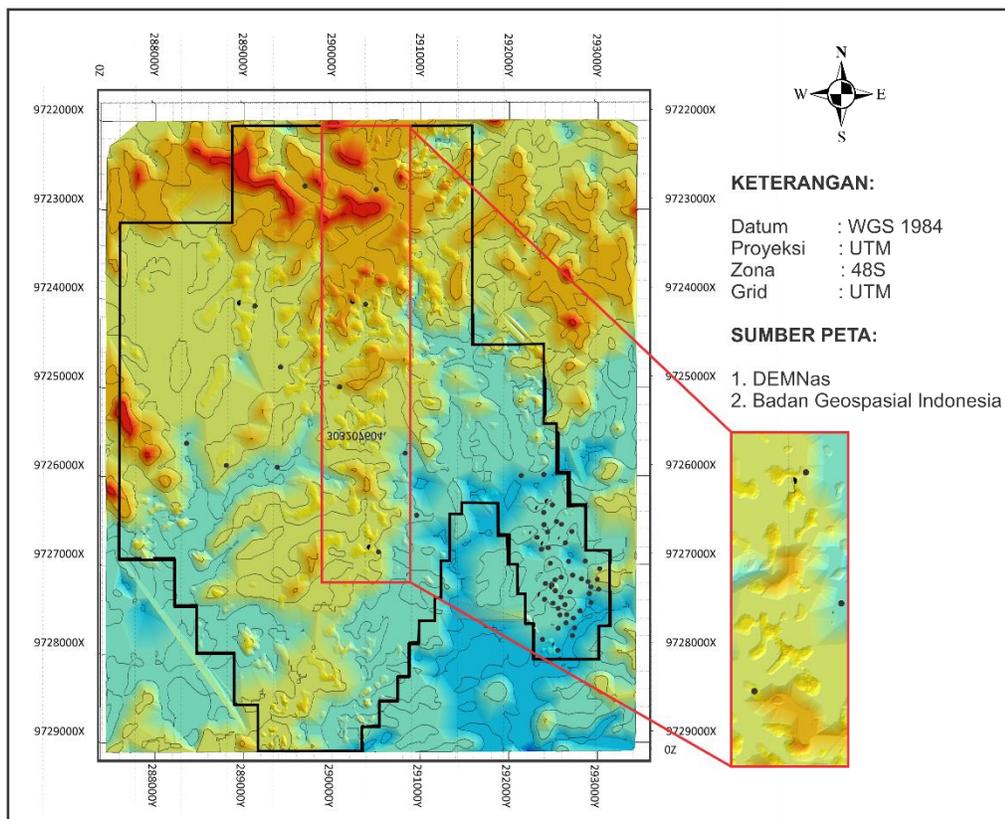
5.1.3.1 Antiklin Dusun Lima

Antiklin Dusun Lima terbentuk memanjang dari bagian barat-tenggara pada daerah penelitian. Struktur lipatan teridentifikasi pada penampang D-D' dan E-E' (Gambar 5.9). kemudian dilihat dari hasil sayatan bawah permukaan yang diinterpretasikan sebagai lipatan dengan orientasi barat-tenggara (Gambar 5.10)

Struktur geologi lipatan diinterpretasikan terbentuk pada fase ketiga tektonik Cekungan Sumatera Selatan di kala Miosen Tengah-Akhir berupa gaya kompresi (Pulunggono, et al., 1992). Struktur geologi ini terbentuk setelah terjadinya pengendapan dengan kontrol geologi *post depositional* di daerah penelitian.



Gambar 5.9 Penampang geologi V4-V4' dan V5-V5' yang mengidentifikasi struktur lipatan(kotak biru).



Gambar 5.10 Posisi struktur geologi diinterpretasikan lipatan.

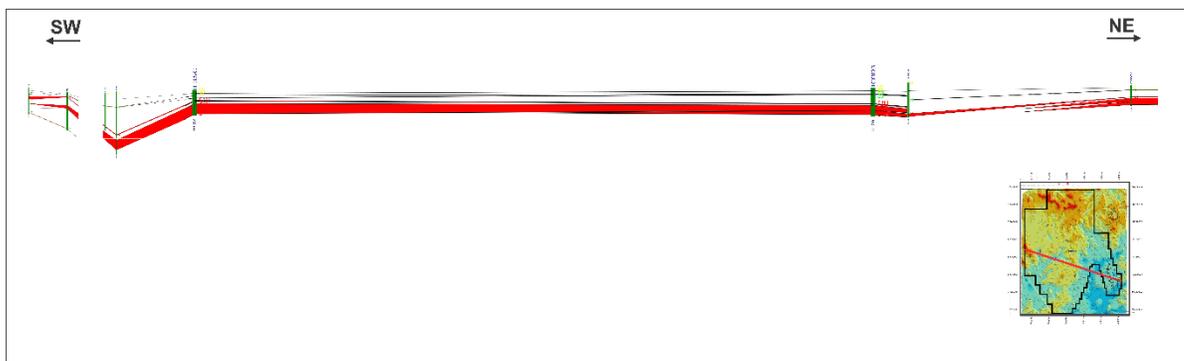
5.2 Geometri Lapisan Batubara

Pada daerah penelitian dilakukan akuisisi data sebanyak 64 titik lokasi pengeboran yang tersebar pada Timurlaut-Baratdaya. Hasil pengeboran diketahui dua *seam* utama yang diurutkan mulai dari *seam* termuda hingga tua yaitu *seam* 3 dan *seam* 4. Tiap *seam* memiliki kedalaman bor yang bervariasi mulai dari *seam* 3 12,40-54,80 meter dan *seam* 4 dengan kedalaman 13,11-208,00 meter serta variasi ketebalan lapisan batubara dimulai dari 4-5 meter. adapun metode yang digunakan yaitu *open hole*, kemudian didapatkan sampel *coring* (Gambar 5.11)

Karakteristik lapisan batubara daerah penelitian pada umumnya memiliki karakteristik warna hitam keabuan, gores hitam, kilap kusam, berat jenis batubara 1,3g/cm³ (sub-bituminus), pelapukan segar, ketebalan lapisan batubara daerah penelitian setiap *seam* berbeda secara vertikal. Pada *Seam* 3, ketebalan vertikal rata-rata 3 m dengan lapisan batupasir berada di *top* dan *bottom* memiliki *parting* batulempung. *Seam* 4, memiliki ketebalan lapisan secara vertikal rata-rata 2 m, adanya *splitting*/percabangan serta dikontrol *parting* batupasir.

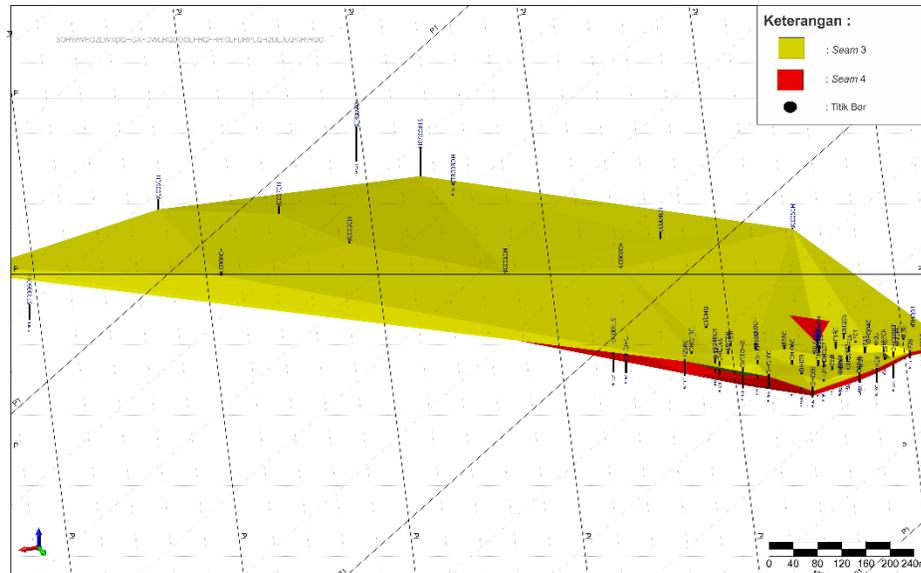


Gambar 5.11 Karakteristik megaskopis batuan di desa Beringin Makmur pada titik bor DH14 (A) lapisan batubara *Seam* 4; (B) *Overburden* *Seam* 4A dan *Seam* 4B ; (C) *Seam* stratigrafi daerah penelitian



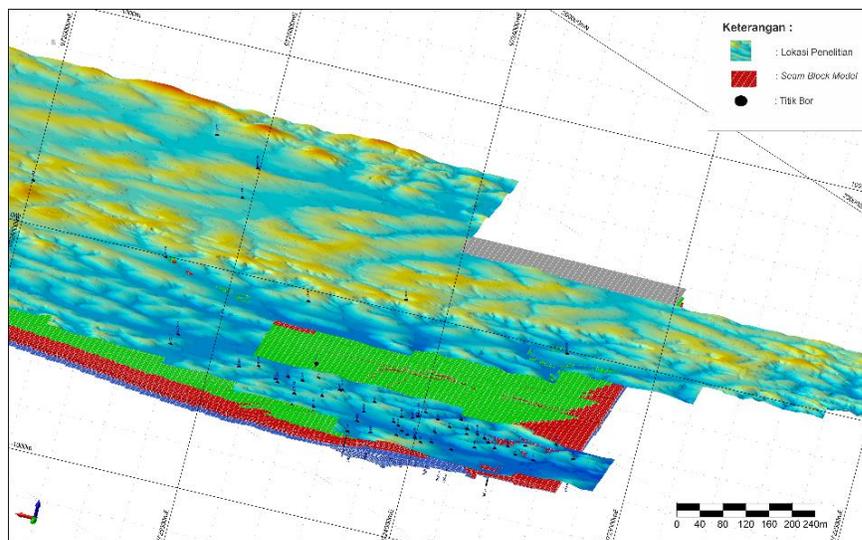
Gambar 5.12 Korelasi 2D daerah Penelitian

Pembuatan model *seam* stratigrafi dilakukan setelah mengetahui karakteristik lapisan batubara dan *overburden*, selanjutnya dapat mengetahui urutan *seam* stratigrafi mulai dari yang termuda hingga yang paling tua ialah *overburden* berupa batupasir halus, *seam* 3, batulempung dan *seam* 4 (Gambar 5.12).



Gambar 5.13 Geometri *Seam* Batubara S3 dan S4.

Lapisan batubara pada daerah telitian meliputi *seam 3* dan *seam 4* bersifat menerus dengan orientasi arah utara hingga selatan, namun di beberapa lokasi bersifat tidak menerus dikontrol proses fluvial. Lapisan batubara yang menerus baik *strike* atau *dip* memiliki kaitan erat terhadap proses geologi yang ada (Gambar 5.13). Struktur geologi yang sedikit menghasilkan pembentukan batubara secara baik dan minim tidak mengalami gangguan.



Gambar 5.14 Kenampakan *Seam Block Model* Geometri Lapisan Batubara.

Pengamatan model geometri lapisan batubara dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian memiliki berbagai bentuk lapisan yang berbeda, antara lain *horse back*, *fold*, dan *pinch*. Lapisan batubara memiliki kecenderungan untuk memiliki kurva dan lipatan ke atas, serta memiliki beberapa variasi ketebalan yang berbeda secara lateral. Lapisan non-sedimen memasuki lapisan batubara di bawah pengaruh proses fluvial, menyebabkan

batubara split dan memunculkan adanya diskontinuitas (Gambar 5.14)..

5.3 Statistik Deskriptif

Mendapatkan normalitas, variasi serta penyebaran data sebelum melanjutkan prinsip statistik univariat dan bivariat dalam geostatistik.

5.3.1 Statistik Univariat

Umumnya statistik univariat digunakan dalam mengetahui anisotropi data pada penyebarannya. Analisis ini menggunakan *standart deviasi* dan *coefficient of variation* dalam bentuk histogram serta probability log. *Standart deviasi* adalah nilai statistik dari suatu varian untuk mengetahui *mean* data. Dimana semakin besar nilai SD maka persebaran atau tingkat variasi data banyak sedangkan semakin kecil nilai SD maka tingkat variasi data sedikit. Standar deviasi ini juga digunakan agar dapat mengurangi nilai *confident level* dari sifat penyebaran yang acak. Apabila nilai standar deviasi nya 0 diketahui bahwa data bersifat seragam atau homogen

Coefficient of Variation merupakan nilai distribusi probabilitas hasil karakteristik ukuran dispersi normal. Nilai *coefficient of variation* digunakan untuk mengetahui persebaran data secara normal atau tidak. Besaran *Coefficient of Variation* >0.5 data maka data tersebut memiliki distribusi tidak normal sedangkan besaran *Coefficient of Variation* >0.5 data maka distribusinya normal.

Tabel 5.1 Hasil analisis statistik deskriptif univariat.

Seam	Parameter	Min	Max	Count	Sum	Mean	Med.	Variance	St.Dev	Co.Var
S3	Thickness	0.1	1.67	36	8.09	0.74	0.69	0.28	0.53	2.6
	Moisture	35.89	45.29	36	439.75	39.98	40.07	5.67	2.38	-0.6
	Ash	2.62	38.53	36	185.31	16.85	16.82	117.41	10.83	1.4
	Vm	29.78	44.84	36	415.83	37.78	38.29	22.15	4.7	-0.3
	Cv	21.65	40.36	36	35550	3231	3200	230967	480	-45.4
	RD	0.67	1.58	36	14.93	1.36	1.38	0.05	0.23	-0.04
S4	Thickness	1	0.15	38	906.34	1.81	1	6.81	2.61	8.3
	Moisture	44.13	25	38	19647	39.29	39.74	11.68	3.41	1.1
	Ash	0.93	75.42	38	2884.89	5.76	3.42	56.9	7.54	-1.8
	Vm	4.52	46.84	38	20806.87	41.613	42.23	11.98	3.46	0.8
	Cv	362	3995	38	1931745	3863.49	3904	123431	351.328	16.4
	RD	2.2	1.3	38	681.02	1.36	1.35	0.006	0.07	-0.01

Analisis statistik univariat yang dilakukan pada pengujian seam 3 dan seam 4 dengan uji parameter *thickness*, *moisture*, *ash*, *Vm* (*Volatile Matter*), *Cv* (*Calorific Value*), *RD* (*Relative Density*) didaerah penelitian. Diketahui pada standar deviasi dari parameter

Thickness yaitu 0.53 – 2.61 dengan data tebal yang tidak seragam. Tampilan skewness pada seam 3 dan 4 memiliki sifat positif, sehingga dapat disimpulkan nilai ketebalan rata-rata batubara berada diatas ketebalan rata-rata.

Parameter *ash* dengan standar deviasi memiliki rentang nilai 7.54–10.53 diperkirakan data bersifat tidak seragam. Selanjutnya, parameter *Volatile Matter* dengan nilai standar deviasi yaitu 3.46–4.7 yang mencirikan data beragam. Sedangkan, parameter *moisture* memiliki standar deviasi 2.38–3.41 sedangkan *calorific value* dan *relative density* mencirikan data yang beragam dengan skewness positif. Nilai *Coefficient of Variation* terhadap parameter *Thickness* dan *Quality* diketahui dari keseluruhan data memiliki nilai > 0.5. Namun, hasil data tersebut diinterpretasikan memiliki tingkat variasi yang tinggi dengan penyebaran datanya. Sehingga, dari hasil analisis statistik deskriptif dengan parameter standar deviasi, *skewness* dan *coefficient of variation*, dapat digunakan seam 4 sebagai seam utama sebagai acuan dalam pembuatan model geometri. Berdasarkan tingkat variabilitas, normalitas dan ketersediaan data yang ada. Adapun hasil analisis statistik deskriptif berada pada tabel 5.1.

5.3.2 Statistik Bivariat

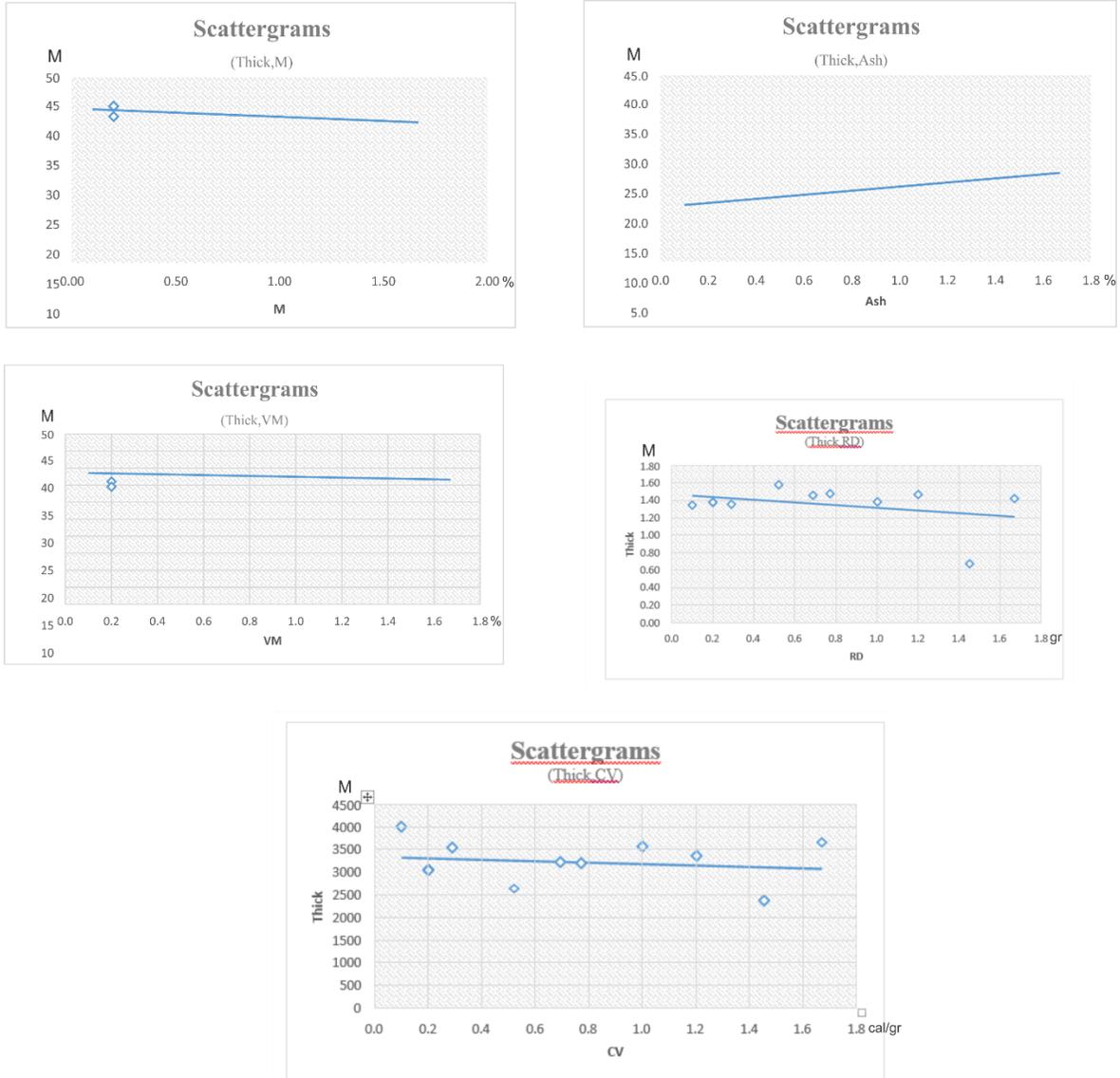
Dua variabel memiliki hubungan linier untuk menilai kualitas korelasi menggunakan analisis bivariat. Menghitung koefisien korelasi dalam kisaran -1 (negatif) hingga 1 (positif) diperlukan untuk melakukan analisis korelasi dua variabel. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan arah hubungan korelasi. Ketebalan setiap lapisan dan kualitas batubara (kelembaban, abu, zat terbang, nilai kalor, dan densitas relatif) adalah variabel yang digunakan dalam statistik bivariat.

Tabel 5.2 Hasil analisis statistik bivariat.

X	Y	Seam	Coefficient of correlation
Thickness	Moisture	S3	-0.5
	Ash		0.24
	Vm		-0.14
	CV		-0.17
	RD		-0.34
	Moisture	S4	0.12
	Ash		-0.09
	Vm		0.04
	CV		0.01
	RD		-0.04

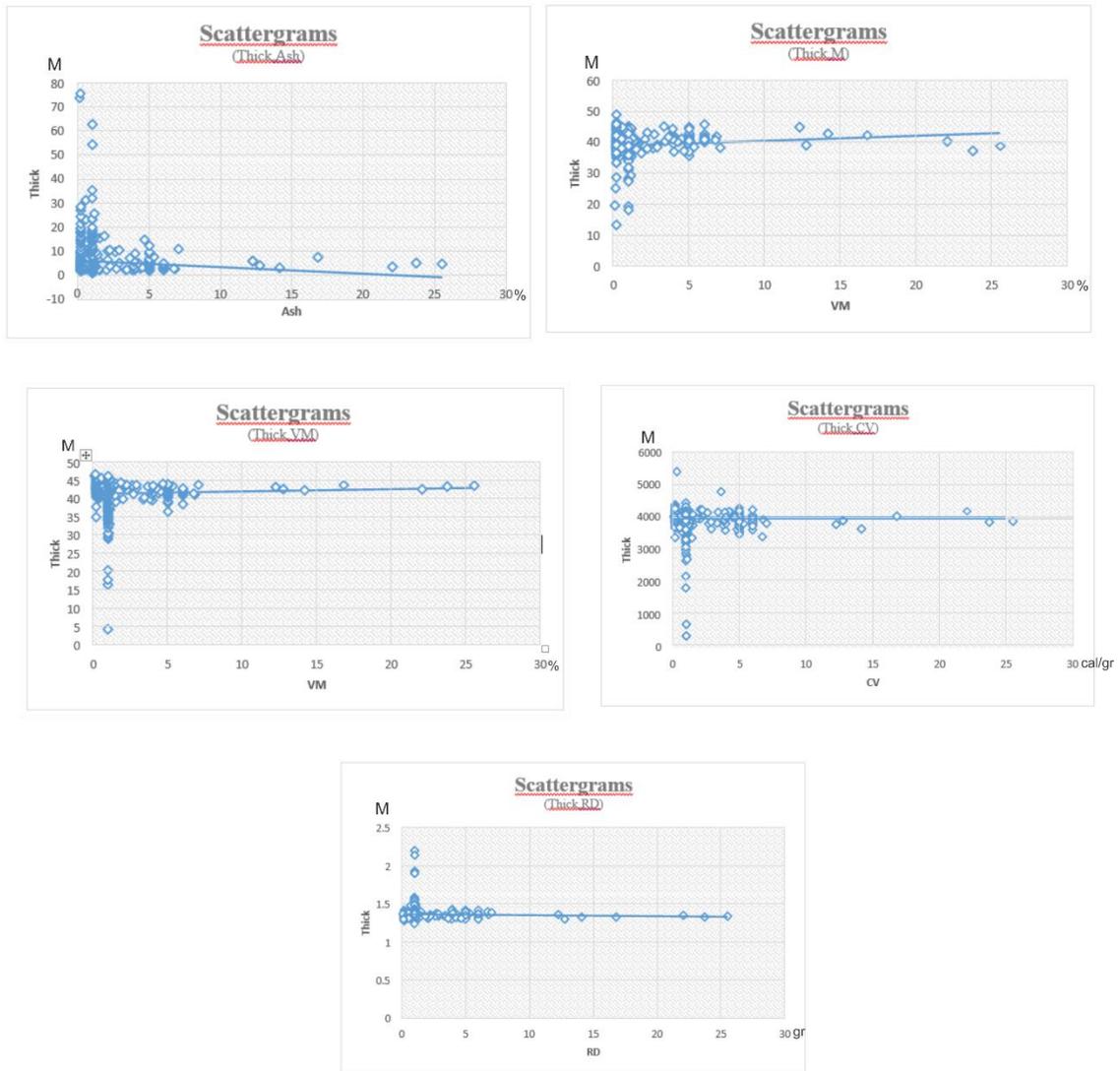
Hasil analisis bivariat dengan menggunakan diagram *scatter plot*, dimana korelasi analisis statistik *seam 3* (Gambar 5.15) yang paling kuat yaitu *Ash* pada *seam 3* dengan nilai 0.24 sedangkan *seam 4* memiliki kandungan *Ash* -0.09 . Selanjutnya, *Moisture* pada *seam 4* yaitu 0.12 sedangkan *seam 3* yaitu -0.5. Serta, *Volatile Matter* pada *seam* adapun nilai

koefisien korelasi dapat dilihat pada (Tabel 5.6).



Gambar 5.15 Korelasi statistik seam 3.

Karena hubungan antara ketebalan dan abu bersifat dua arah, maka ditentukan bahwa korelasi linier pada temuan analisis statistik bivariat seam 4 (Gambar 5.16) pada parameter abu seam 4 memiliki korelasi negatif. dimana nilai abu menurun dengan meningkatnya ketebalan. Ditentukan bahwa korelasi linear positif parameter nilai kalor seam 4 memiliki hubungan searah, artinya nilai kalor meningkat dengan ketebalan. (Gambar 5.21).



Gambar 5.16 Korelasi statistik bivariat *seam 4*

5.4 Geostatistik

Geostatistik ialah analisis kuantitatif dalam memperlihatkan hubungan spasial antar data secara geometri atau kualitas, hal ini digunakan agar dapat mengetahui hubungan variabilitas terhadap persebaran data atau arah tertentu. Sehingga analisis geostatistik ini dilakukan agar hubungan statistik dan kontrol geologi saling berhubungan.

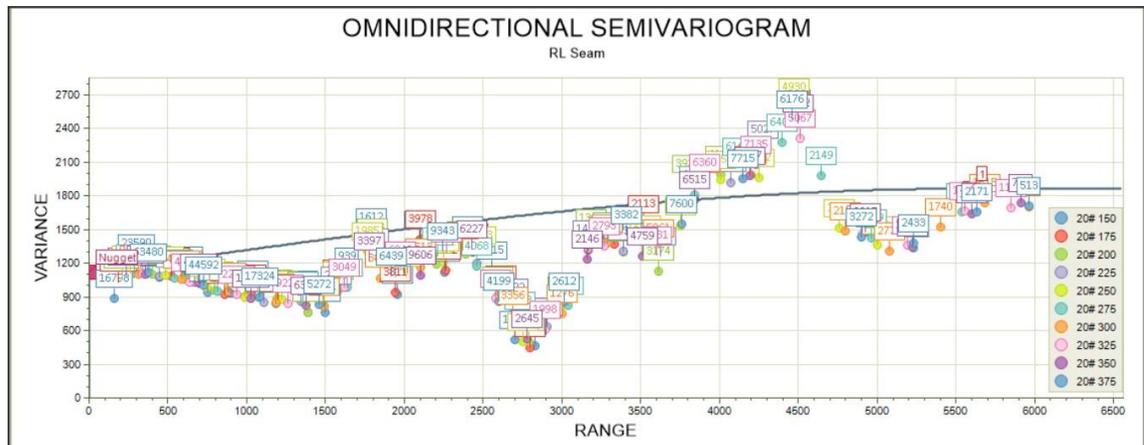
5.4.1 Model Variogram

Salah satu analisis dalam geostatistika adalah tahapan model variogram. Karena sifat lateral pola pengendapan dan arah azimuth semi-variogram omnidirectional $N 0^0$ dan toleransi sudut 90^0 digunakan dalam proses *fitting variogram*. Penyesuaian juga dilakukan terhadap model teoritis variogram pada penelitian ini karena parameter *nugget*, *sills*, *range*, dan *trend* (arah sebaran data) telah diketahui dalam prosedur fitting variogram.

Model spherical adalah model kerangka teoritis yang paling umum. Ini didasarkan

pada penggunaan model teoritis matematis, yang sering diterapkan pada analisis statistik mineral dan menghasilkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya (David, 1977). Analisis data yang memperhitungkan variabilitas data atau kapasitas struktur mikro untuk mempengaruhi bias dalam data menghasilkan nilai *nugget*. Dimana, tingkat keragaman data meningkat seiring dengan peningkatan nilai. Ukuran nugget ditentukan dengan membandingkan dimensi besar dan kecilnya, yang akan memiliki nilai yang sama pada jarak yang sama tetapi berbeda pada jarak yang lain.

Gambar 5.17 *Fitting* semi-variogram pada parameter elevasi



Ketika tidak ada korelasi dalam data tetap merupakan nilai konstan pada jarak tertentu dari tak terhingga disebut *sill*. *Range* adalah jarak terjauh sebelum tidak ada korelasi pada data. Prinsip-prinsip geostatistik terintegrasi dengan gagasan geologi kualitatif untuk menentukan ambang dan rentang. Semakin besar dan kecil variasi data, semakin jauh atau dekat variasi data yang ditentukan saat menghitung nilai ambang dan jarak ke variasi data (Gambar 5.17).

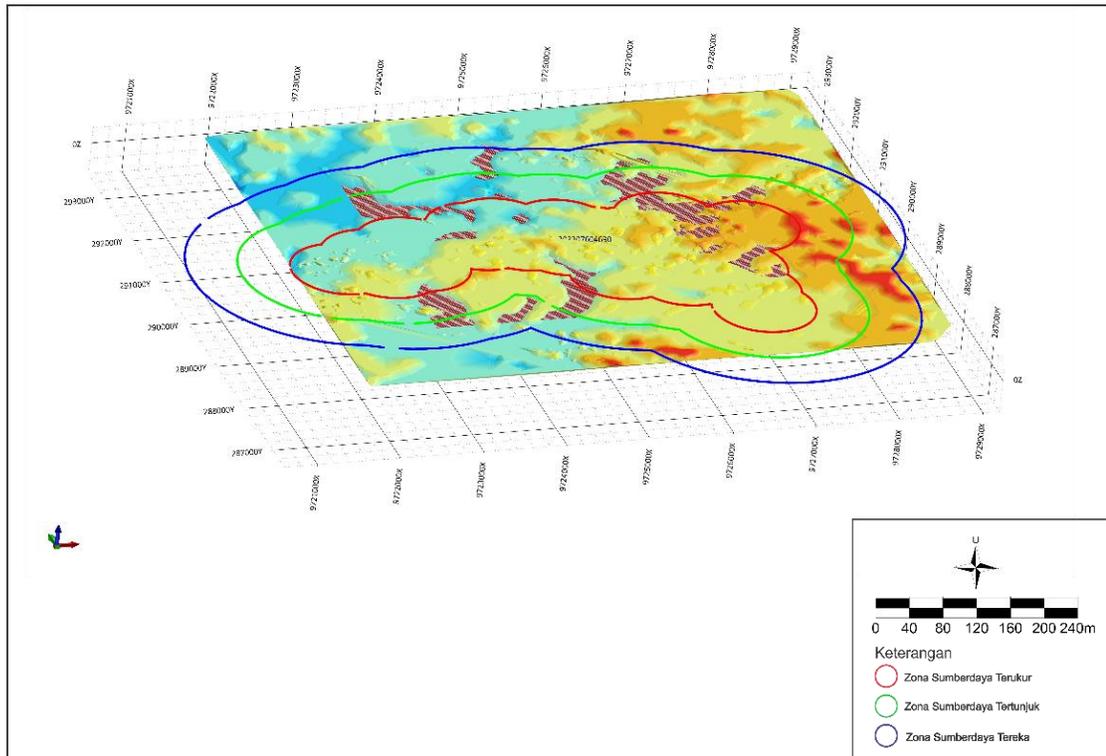
5.5 Estimasi Sumberdaya Batubara

Hasil perhitungan sumber daya batubara di wilayah penelitian diinterpretasikan dari segi densitas titik informasi, tonase batubara, dan kebenaran data. Diketahui dengan jarak tiap klasifikasi sumberdaya batubarayaitu tereka (*inferred*) dengan jarak titik infomasi 300 m, tertunjuk (*indicated*) 200 m dan terukur (*measured*) 100 meter. Seperti contoh pada seam 3, dengan jumlah tonase batubara terukur (*measured*) 68.498 Jt/ton lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah tonase batubaratertunjuk (*indicated*) 69.072 Jt/ton, dan tereka (*inferred*) 71.273 Jt/ton (Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Hasil perhitungan sumberdaya batubara

Sumberdaya		Tebal (m)	luas (m ²)	Sumberdaya (Mmt)
Seam3	<i>Inferred</i>	5.88	2.835	71.273
	<i>Indicated</i>	4.94	2.803	69.072
	<i>Measured</i>	3.30	2.785	68.498
Seam4	<i>Inferred</i>	5.42	2.021	14.265

<i>Indicated</i>	4.98	2.016	13.072
<i>Measured</i>	5.06	1.976	12.997



Gambar 5.18 Kenampakan zona pengaruh sumber daya terukur dan tertunjuk menggunakan SNI 5015.

Namun, pada tabel 5.3 menjelaskan bahwa semakin dekat dengan jarak titik informasi, nilai yang didapatkan akan semakin kecil tidak terjadi pada tebal lapisan batubara. Seperti contoh nilai tebal seam batubara pada seam 3. Tebal batubara terukur (*measured*) 3.03 m lebih tebal dibandingkan batubara tertunjuk (*indicated*). Sehingga, diinterpretasikan pada area ini dengan radius 200 m terjadi penipisan lapisan batubara, selain itu pula dapat diakibatkan oleh adanya *splitting* (percabangan) lapisan batubara yang dimana terdapat batuan sedimen lain yang mengisinya. Maka, dapat disimpulkan bahwa yang mendasari kenapa terjadi perbedaan ketebalan pada seam batubara.

Perhitungan estimasi sumberdaya batubara daerah penelitian menggunakan teknik statistik yaitu *kriging* dengan SNI klasifikasi geologi moderat yang menghasilkan estimasi sumberdaya batubara pada seam 3 dan 4, yaitu sebesar sumberdaya tereka 85.538.000 Jt/ton sumberdaya tertunjuk 82.144.000 Jt/ton sumberdaya terukur sebesar 81.495.000 Jt/ton sehingga diketahui keseluruhan estimasi lapisan batubara 249.177.000 jt/ton (Gambar 5.18).

5.6 Diskusi

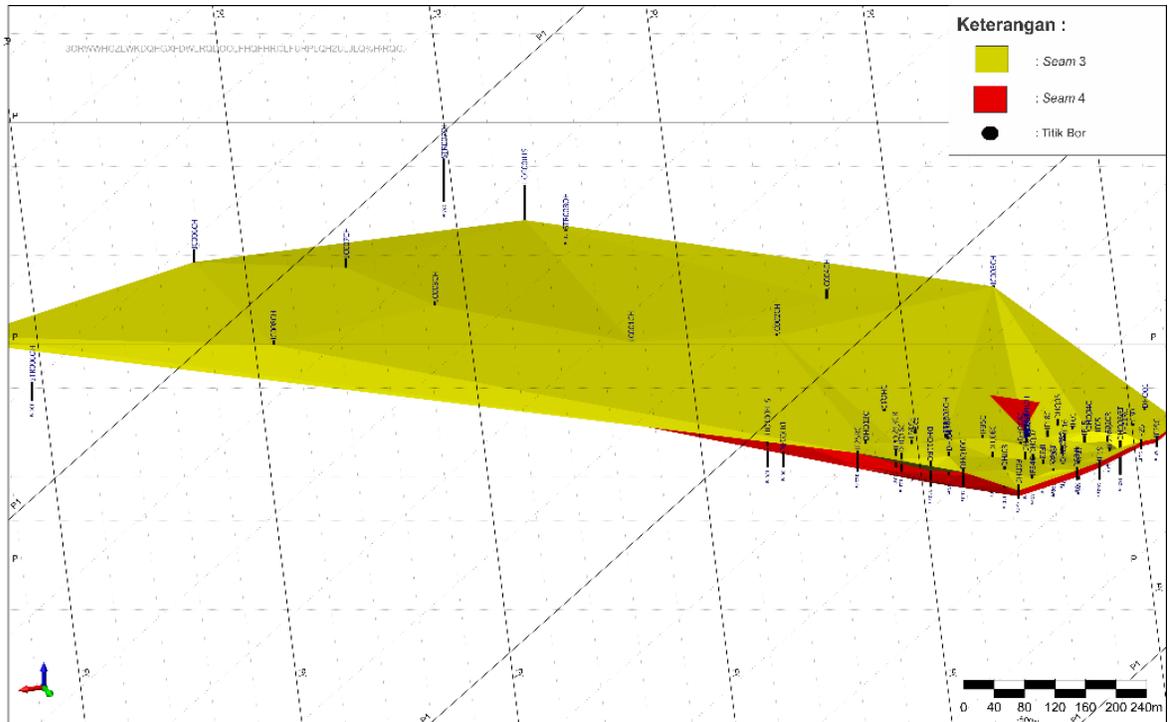
Lokasi penelitian terdiri dari geologi lokal, geometri batubara yang kemudian dilakukan perhitungan estimasi sumberdaya batubara dengan akuisisi data hasil pengeboran

yang akan di plot menjadi model 2D dan 3D. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui serta menguraikan hasil analisis, model geometri hingga estimasi sumberdaya batubara. Geomorfologi adalah bagian dari geologi lokal, dan mereka menunjukkan bagaimana wilayah penelitian dipisahkan menjadi dataran rendah antropogenik dan perbukitan rendah antropogenik. Sedangkan secara stratigrafi merupakan bagian dari Formasi Muaraenim bersama satuan batulempung dan batupasir Formasi Muaraenim. Struktur geologi daerah penelitian ditemukan Antiklin Dusun Lima.

Analisis data dilakukan sebanyak 64 titik lokasi pengeboran dengan arah timurlaut-baratdaya. Dimana, ditemukan dua *seam* utama yang diurutkan mulai dari *seam* termuda hingga tua yaitu *seam* 3 dan *seam* 4. Setiap *seam* memiliki kedalaman bor yang berbeda-beda, mulai dari *seam* 3 kedalaman 3,30 hingga 5,88 meter hingga *seam* 4 kedalaman 4,98 hingga 5,92 meter, dengan perbedaan ketebalan lapisan batubara mulai 2-3 meter. Proses pemodelan geometri lapisan batubara dapat dilanjutkan dengan menggunakan database yang telah direkapitulasi dan divalidasi. Adapun parameter yang digunakan yaitu ketebalan, kemenerusan, bentuk lapisan, *roof* dan *floor*. Lapisan batubara pada daerah telitian meliputi *seam* 3 dan *seam* 4 bersifat menerus dengan orientasi arah utara hingga selatan, namun di beberapa lokasi bersifat tidak menerus dikontrol proses fluvial. Lapisan batubara yang menerus baik *strike* atau *dip* memiliki kaitan erat terhadap proses geologi yang ada. Struktur geologi yang sedikit menghasilkan pembentukan batubara secara baik dan minim tidak mengalami gangguan (Gambar 5.19). Pengamatan bentuk lapisan batubara pada model-model geometri lapisan batubara, serta ketebalan lapisan batubara dapat disimpulkan daerah penelitian memiliki beberapa bentuk lapisan yaitu *horse back*, *fold*, *pinch* (Sukandarrumidi, 1995)

Tahap pemodelan dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap menampilkan visualisasi geometri lapisan batubara, dan tahap pemodelan data dalam menampilkan model batubara. Tahapan variogram digunakan untuk menentukan statistik data menggunakan metode Krigging untuk memahami pola variasi data. Agar model yang sudah selesai mendekati keadaan sebenarnya, kedua tahap memiliki akurasi perhitungan yang bagus.

Menghitung jarak antar titik informasi, analisis geostatistika (Kriging) akan digunakan dalam penelitian ini untuk melakukan analisis spasial dengan konstruksi variogram pada kepadatan data eksplorasi (data litologi, data pemboran (koordinat, elevasi, dan log bor). , dan data kualitas batubara). optimal, untuk memperoleh klasifikasi sumber daya yang benar. Selanjutnya seluruh data dan informasi endapan batubara diolah dan dianalisis menggunakan pendekatan geostatistik. Adapun metode statistik yang digunakan yaitu statistik deskriptif mendapatkan normalitas, variasi serta penyebaran data sebelum melanjutkan prinsip statistik univariat dan bivariat dalam geostatistik. Umumnya statistik univariat digunakan dalam mengetahui anisotropi data pada penyebarannya. Analisis ini menggunakan *standart deviasidan coefficient of variation* dalam bentuk histogram serta probability log.



Gambar 5.19 Geometri Seam Batubara S3 dan S4.

Hasil analisis statistik univariat yang dilakukan pada pengujian seam 3 dan seam 4 dengan uji parameter *thickness*, *moisture*, *ash*, *Vm (Volatile Matter)*, *Cv (Calorific Value)*, *RD (Relative Density)* didaerah penelitian. Diketahui pada standar deviasi dari parameter *Thickness* yaitu 0.53 – 2.61 dengan data tebal yang tidak seragam. Tampilan skewness pada seam 3 dan 4 memiliki sifat positif, sehingga dapat disimpulkan nilai ketebalan rata-rata batubara berada diatas ketebalan rata-rata.

Parameter *ash* dengan standar deviasi memiliki rentang nilai 7.54 – 10.53 diperkirakan data bersifat tidak seragam. Selanjutnya, parameter *Volatile Matter* dengan nilai standar deviasi yaitu 3.46 – 4.7 yang mencirikan data beragam. Sedangkan, parameter *moisture* memiliki standar deviasi 2.38 – 3.41 sedangkan *calorific value* dan *relative density* mencirikan data yang beragam dengan skewness positif. Nilai *Coefficient of Variation* terhadap parameter *Thickness* dan *Quality* diketahui dari keseluruhan data memiliki nilai > 0.5. Namun, hasil data tersebut diinterpretasikan memiliki tingkat variasi yang tinggi dengan penyebaran datanya. Sehingga, dari hasil analisis statistik deskriptif dengan parameter standar deviasi, *skewness* dan *coefficient of variation*, dapat digunakan seam 4 sebagai seam utama sebagai acuan dalam pembuatan model geometri. Berdasarkan tingkat variabilitas, normalitas dan ketersediaan data yang ada (Tabel 5.5).

Tabel 5.5 Hasil analisis statistik deskriptif univariat.

Seam	Parameter	Min	Max	Count	Sum	Mean	Med.	Variance	St.Dev	Co.Var
	<i>Thickness</i>	0.1	1.67	36	8.09	0.74	0.69	0.28	0.53	2.6

S3	<i>Moisture</i>	35.89	45.29	36	439.75	39.98	40.07	5.67	2.38	-0.6
	<i>Ash</i>	2.62	38.53	36	185.31	16.85	16.82	117.41	10.83	1.4
	<i>Vm</i>	29.78	44.84	36	415.83	37.78	38.29	22.15	4.7	-0.3
	<i>Cv</i>	21.65	40.36	36	35550	3231	3200	230967	480	-45.4
	<i>RD</i>	0.67	1.58	36	14.93	1.36	1.38	0.05	0.23	-0.04
S4	<i>Thickness</i>	1	0.15	38	906.34	1.81	1	6.81	2.61	8.3
	<i>Moisture</i>	44.13	25	38	19647	39.29	39.74	11.68	3.41	1.1
	<i>Ash</i>	0.93	75.42	38	2884.89	5.76	3.42	56.9	7.54	-1.8
	<i>Vm</i>	4.52	46.84	38	20806.87	41.613	42.23	11.98	3.46	0.8
	<i>Cv</i>	362	3995	38	1931745	3863.49	3904	123431	351.328	16.4
	<i>RD</i>	2.2	1.3	38	681.02	1.36	1.35	0.006	0.07	-0.01

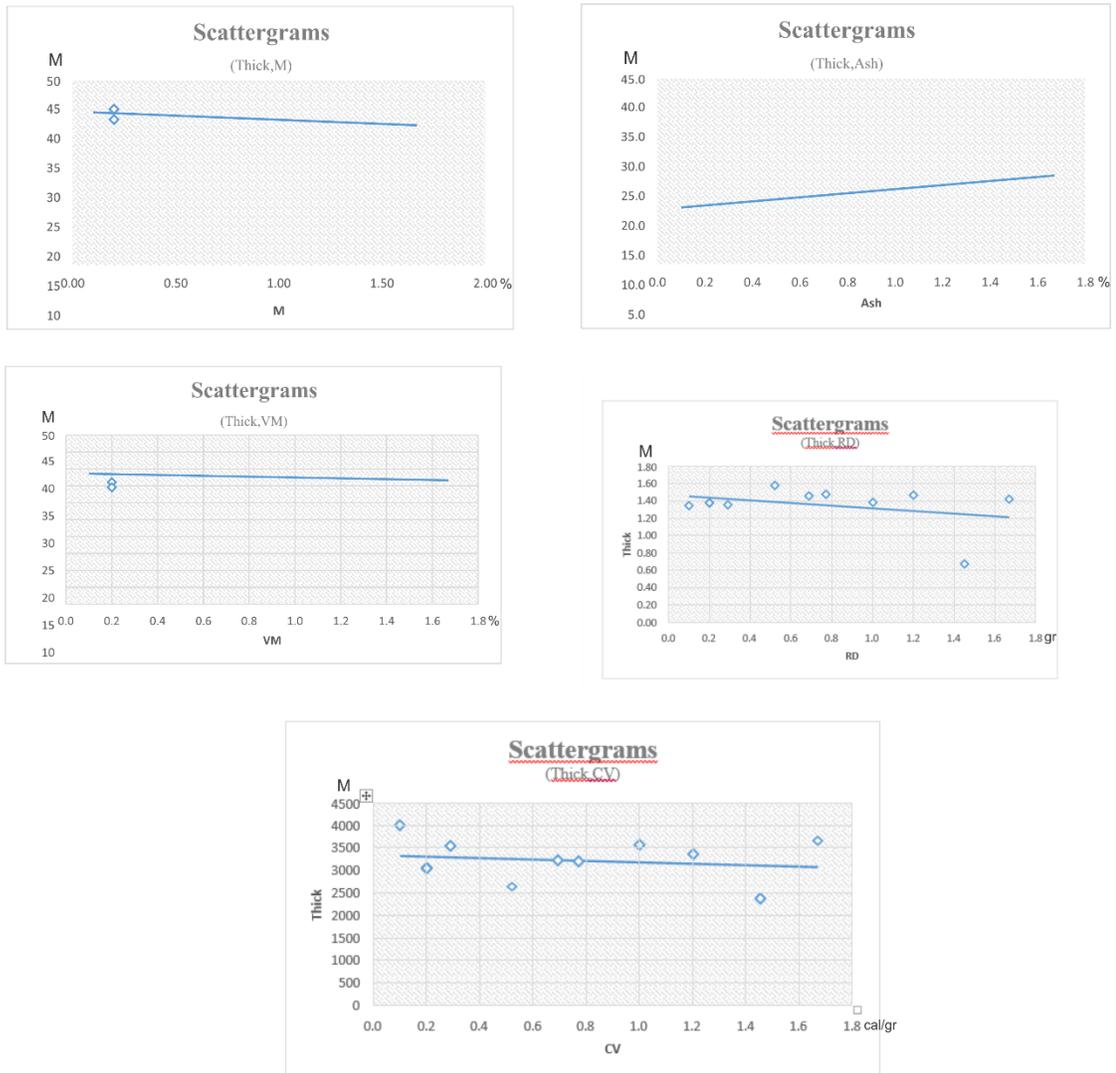
Tabel 5.6 Hasil analisis statistik bivariat.

X	Y	Seam	Coefficient of correlation
<i>Thickness</i>	<i>Moisture</i>	S3	-0.5
	<i>Ash</i>		0.24
	<i>Vm</i>		-0.14
	<i>CV</i>		-0.17
	<i>RD</i>		-0.34
	<i>Moisture</i>	S4	0.12
	<i>Ash</i>		-0.09
	<i>Vm</i>		0.04
	<i>CV</i>		0.01
	<i>RD</i>		-0.04

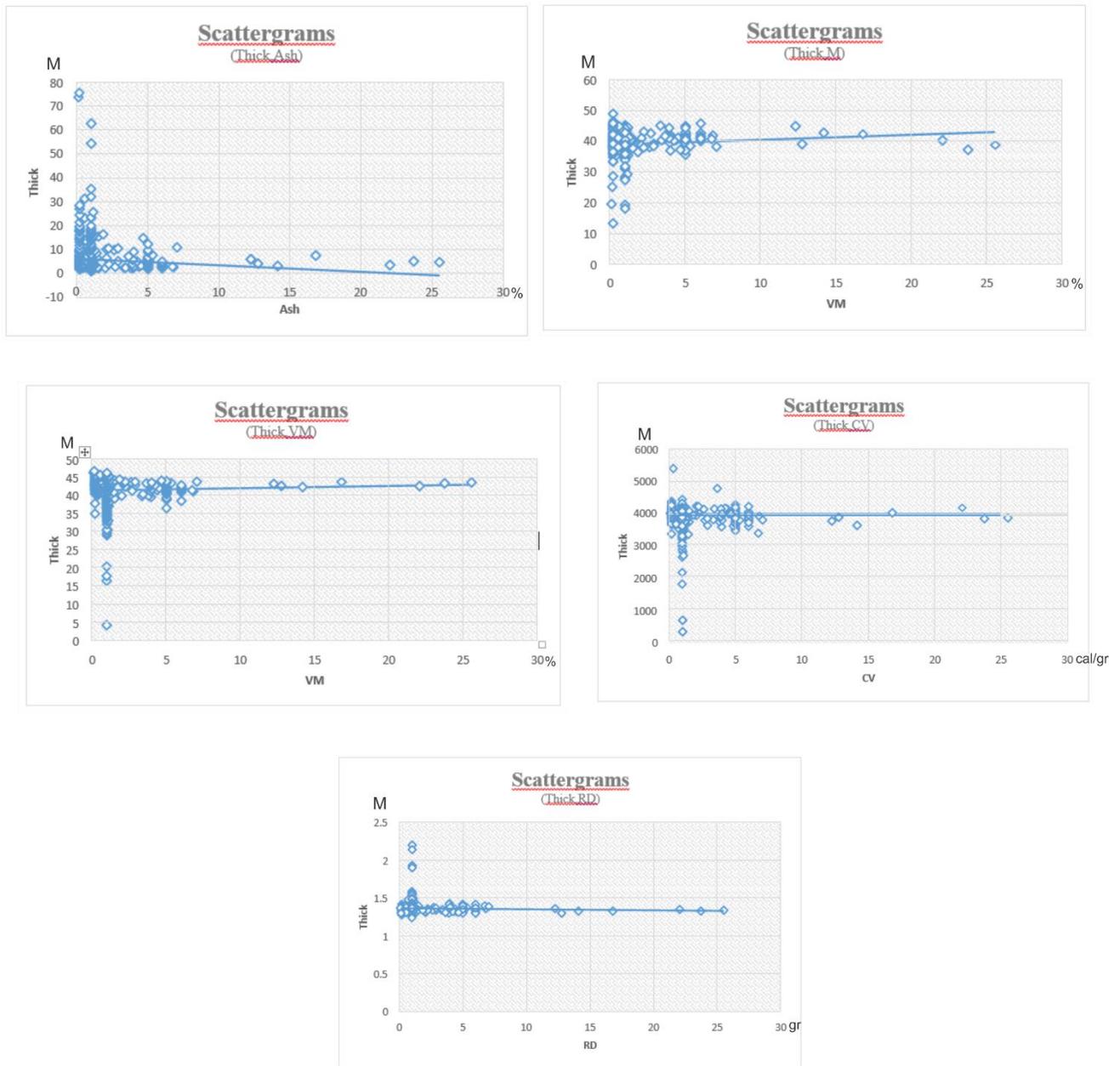
Hasil analisis bivariat dengan menggunakan diagram *scatter plot*, dimana korelasi analisis statistik *seam* 3 (Gambar 5.20) yang paling kuat yaitu *Ash* pada *seam* 3 dengan nilai 0.24 sedangkan *seam* 4 memiliki kandungan *Ash* -0.09 . Selanjutnya, *Moisture* pada *seam* 4 yaitu 0.12 sedangkan *seam* 3 yaitu -0.5. Serta, *Volatile Matter* pada *seam* adapun nilai koefisien korelasi (Tabel 5.6).

Hubungan antara ketebalan dan abu bersifat dua arah, maka ditentukan bahwa korelasi linier pada temuan analisis statistik bivariat *seam* 4 (Gambar 5.21) pada parameter abu *seam* 4 memiliki korelasi negatif. dimana nilai *ash* menurun dengan meningkatnya ketebalan. Adapun korelasi linear positif pada parameter *calorific value seam* 4, disimpulkan memiliki hubungan yang searah diartikan karena dengan pertambahan jumlah ketebalan

maka nilai *calorific value* semakin tinggi (Gambar 5.21).



Gambar 5.20 Korelasi statistik bivariat *seam 3*.



Gambar 5.21 Korelasi statistik bivariat seam 4.

Tabel 5.7 Hasil perhitungan sumberdaya batubara

Sumberdaya		Tebal (m)	luas (m ²)	Sumberdaya (Mmt)
Seam3	<i>Inferred</i>	5.88	2.835	71.273
	<i>Indicated</i>	4.94	2.803	69.072
	<i>Measured</i>	3.30	2.785	68.498
Seam4	<i>Inferred</i>	5.429	2.021	14.265
	<i>Indicated</i>	4.988	2.016	13.072
	<i>Measured</i>	5.060	1.976	12.997

Hasil perhitungan sumberdaya batubara daerah penelitian, diinterpretasikan semakin rapat suatu titik informasi maka jumlah tonase batubara akan sedikit serta tingkat akurasi data yang baik. Diketahui dengan jarak tiap klasifikasi sumberdaya batubara yaitu teraka (*inferred*) dengan jarak titik informasi 300 m, tertunjuk (*indicated*) 200 m dan terukur (*measured*) 100 meter. Seperti contoh pada seam 3, dengan jumlah tonase batubara terukur (*measured*) 68.498 MmT lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah tonase batubara tertunjuk (*indicated*) 69.072 MmT, dan teraka (*inferred*) 71.273 MmT (Tabel 5.7).

Namun, pola di atas yang menyebutkan bahwa semakin dekat dengan jarak titik informasi, nilai yang didapatkan akan semakin kecil tidak terjadi pada tebal lapisan batubara. Seperti contoh nilai tebal *seam* batubara pada *seam* 3 memiliki ketebalan batubara terukur (*measured*) 3.30 m lebih tebal dibandingkan batubara tertunjuk (*indicated*). Sehingga, diinterpretasikan pada area ini dengan radius 200 m terjadi penipisan lapisan batubara, selain itu pula dapat diakibatkan oleh adanya *splitting* (percabangan) lapisan batubara yang dimana terdapat batuan sedimen lain yang mengisinya. Maka, dapat disimpulkan bahwa yang mendasari adanya perbedaan ketebalan pada *seam* batubara yaitu kondisi *splitting*.

Perhitungan estimasi sumberdaya batubara daerah penelitian menggunakan teknik statistik yaitu *kriging* dengan SNI klasifikasi geologi moderat yang menghasilkan estimasi sumberdaya batubara pada seam 3 dan 4, yaitu sebesar sumberdaya teraka 85.538.000 Jt/ton sumberdaya tertunjuk 82.144.000 Jt/ton sumberdaya terukur sebesar 81.495.000 Jt/ton sehingga diketahui keseluruhan estimasi lapisan batubara 249.177.000 jt/ton. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan memiliki banyak perbedaan terhadap peneliti sebelumnya Menurut Adit, 2018 untuk memperkirakan jumlah batubara yang ada di wilayah studi, digunakan metode circular USGS, pengukuran endapan dengan ketebalan dan kemiringan yang cukup konstan. Karena perkiraan sumber daya untuk wilayah penelitian dihitung senilai 5.777.690 juta/ton, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan metode menghasilkan hasil perhitungan yang lebih rinci dan detail.

BAB VI

KESIMPULAN

Hasil setelah melakukan tahapan-tahapan yaitu observasi data, analisis laboratorium hingga analisis studio di daerah penelitian, sehingga dapat ditarik beberapa kesimpulan yang mencakup keseluruhan data dalam topik penelitian.

1. Berdasarkan geomorfologi, yang meliputi unsur-unsur morfometri, morfogenetik, dan morfologi. Ada dua bentang alam yang dikenal di daerah penelitian antara lain, Perbukitan rendah antropogenik (PRA) dan dataran rendah antropogenik.
2. Berdasarkan stratigrafi regional daerah penelitian yang terendapkan selaras, lalu diurutkan mulai dari lapisan muda hingga tua yaitu satuan batupasir kemudian terendapkan diatas satuan batulempung. Berdasarkan penelitian terdahulu serta hasil pemetaan lapangan diketahui daerah penelitian berada di Formasi Muaraenim (Miosen Akhir-Pliosen) terendapkan pada lingkungan fluvial.
3. Ditemukan lapisan batubara pada daerah penelitian terdiri dari 2 *seam* antara lain, *seam 3* m 3.30-5.88 meter dan *seam 4* dengan kedalaman 4.98-5.92 m. Pada bagian utara mengalami *splitting* menjadi *seam 4A* dengan ketebalan 2.22m-3.52 m dan *seam 4B* 3.36 m–5.178 m. Secara umum lapisan batubara daerah penelitian bersifat menerus, namun di beberapa lokasi penelitian tidak adanya ketidak menerus batubara akibat adanya kontrol tektonik yaitu antiklin dusun lima. Sedangkan, lapisan batubara bagian *Roof, floor* terdiri dari *sandy coal* dan *muddy coal* dengan *overburden* berupa batupasir dan batulempung. Bentuk Geometri lapisan batubara termasuk kedalam klasifikasi *horse back, pinch, clay vein* (Sukandarrumidi, 1995).
4. Perhitungan sumberdaya batubara terdiri dari sumberdaya tereka 85.538.000 jt/ton sumberdaya tertunjuk 82.144.000 jt/ton sumberdaya terukur sebesar 81.495.000 jt/ton sehingga diketahui keseluruhan estimasi lapisan batubara 249.177.000 jt/ton yang merupakan total kalkulasi dari dari 2 *seam* antara lain *seam 3* dan *seam 4*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, D, dkk. 2018. Identifikasi dan Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Poligon Berdasarkan Interpretasi Data Logging Pada Lapangan “ADA” Sumatera Selatan. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*
- Barber, A. J., Crow, M. J. & Milsom, J. S., 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London: Geological Society.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 1998. *Pedoman Pelaporan Sumberdaya dan Cadangan Batubara*. Jakarta.
- Balfas, Muhammad, dkk. 2018. Estimasi Sumberdaya Batubara Seam 4 PT. Yuf Kalimantan Kec. Kenohan, Kab. Kutai Kartanegera Prov. Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Geologi: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*
- Bryanco, B., Yulhendra, D. & Octova, A., 2018. *Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Penampang dan Geostatistik Pada Area Timur Site Sungai Cukai, Kec. Kintap, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan*. *Jurnal Bina Tambang*.
- Cressendo, H. & Gusman, M., 2020. *Pemodelan dan Perhitungan Volume Akuifer Dengan Menggunakan Metode Indikator Krigging di Kecamatan Koto Tengah dan Pauh Kota, Sumatera Barat*. *Jurnal Bina Tambang*.
- Ditania, A. Analisis Geometri Lapisan Batubara Menggunakan Data Log Sumur Untuk Rencana Arah Penambangan PT. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau. *Jurnal Geomine*
- Gafoer, S., Amin, T. C. & Pardede, R., 1992. *Peta Geologi Lembar Bengkulu, Sumatera*: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Gafoer, S., Cobrie, T. & Purnomo, J., 1986. *Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatera Selatan*: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Ginger, D. & Fielding, K., 2005. *The Petroleum System and The Future Potential of The South Sumatra Basin*. Indonesian Petroleum Association.
- Harding, T. P., 1973. *Newport-Inglewood Trend, California An Example of Wrench Style Deformation*. *American Association Petroleum Geologist Bulletin*, Volume 57, pp. 97-116.
- Husna, D, dkk. 2020. Pemodelan dan Perhitungan Cadangan Batubara Menggunakan Metode Krigging dan Poligon Berdasarkan Data Well Log Daerah Penelitian Distrik Isim, Manokwari Selatan, Papua Barat. *Padjajaran Geoscience Journal*.
- Kurnianto, D. & Purwanto, T., 2014. Analisis Fasies Lapisan Batupasir G-4, I-20 dan I-15 Berdasarkan Data Wireline Logging dan Data Seismik Pada Lapangan "DK", Cekungan Kutei, Kalimantan Timur. *MINDAGI*, Vol. 2, pp. 61-74.
- Laksono, Agung, dkk. 2018. Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Batubara. *Prosiding Teknik Pertambangan*
- Maharza, C. & Octova, A., 2018. *Estimasi Sumberdaya Batubara Dengan Menggunakan Metode Cross Section di PIT 2 PT. Tambang Bukit Tambi Site Padang Kelapo, Kec. Muaro Sebo Ulu, Kab. Batanghari, Jambi*. *Jurnal Bina Tambang*.

- Megasari, N. M. Y., 2012. *Perhitungan Sumberdaya Batubara Berdasarkan Data Logging dan Pemboran Di Kecamatan Lawang Kidul, Sumatera Selatan*. Bandar Lampung, Universitas Lampung.
- Micromine. 2013. *Stratigraphic Modelling Module*. Micromine Ltd.: Australia. Pettijohn, F. J., 1975. *Sedimentary Rocks*. 3rd ed. New York: Harper & Row Publishing.
- Prasongko, B. K., 2000. *Geometri Lapisan Batubara*. Yogyakarta, Proseding Seminar Tambang UPN.
- Pulunggono, A., S, A. H. & Kosuma, C. G., 1992. *Pre-Tertiary and Tertiary Fault System As a Framework of The South Sumatra Basin; A Study of SAR Map*. Indonesian Petroleum Association.
- Shell, M., 1978. *Geological Map of The South Sumatra Coal Province*. Sukandarrumidi, 1995. *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta, Universitas Gajah Mada. Thomas, L., 2013. *Coal Geology*. In: John Whitem and Sons.
- USGS, 1983. *Coal Resource Classification System of The United State Burau of Mines and United State Geological Survey*. Bulletin 1450B.
- Yulhendra, D. & Anaperta, Y. M., 2013. *Estimasi Sumberdaya Batubara Dengan Menggunakan Geostatistik Krigging*. Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan, Volume 6.