IDENTIFIKASI POLA SEBARAN SEAM DAN PERHITUNGAN SUMBER DAYA BATUBARA MENGGUNAKAN INTERPRETASI DATA LOG GEOFISIKA PADA LAPANGAN "F" LAHAT, SUMATERA SELATAN

(Skripsi)

Oleh FARID ANSHARI



UNIVERSITAS LAMPUNG FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA 2016

ABSTRACT

IDENTIFICATION DISTRIBUTION OF SEAM PATTERN AND ESTIMATION COAL RESOURCE USING INTERPRETATION GEOPHYSICAL LOG DATA AT FIELD "F" LAHAT, SOUTH SUMATERA

By

Farid Anshari

Potential of coal in Indonesia that has large amount especially in formation of muara enim can be alternative energy due to the decrease of petroleum production. Coal can be use as electric energy to replace petroleum. The length observed area in this research is 1.020.000 m² and it has 22 exploration well. The log data that has been used is log gamma ray, log caliper and log density. Seam is relative easy to recognize because it has different graphic from other sediment rock graphic, coal contains low radioactive substance that showed by log gamma ray graphic with low value. While the value of density is high. In this research we found 3 potential coal seam varied thickness. Seam A has average thickness 13,8 meters that found in 14 exploration well, where the thickest seam is located in well FRD-015 and FRD-017 with 14,72 meters and 14,66 meters. Seam B has average thickness 18,6 meters that found in 14 exploration well, where the thickest seam is located in well FRD-005 and frd-012 with 19,56 meters and 19,94 meters. Seam C has average thickness 8 meters that found in 18 exploration well, where the thickest seam is located in well FRD-011 and FRD-014 with 8.88 meters and 8,62 meters. We use software rockwork 15 to calculate volume of seam A that is 8,755,100 m³ seam B 12,200,800 m³ and seam C 6,730,800 m³. Total amount of coal is 27,686,700 m³ and overburden is 67,080,200 m³. then we obtain stripping ratio value 1:2,4.

Keywords: Coal, Density, Gamma Ray, Logging, Seam, Stripping Ratio, Resource

ABSTRAK

IDENTIFIKASI POLA SEBARAN SEAM DAN PERHITUNGAN SUMBER DAYA BATUBARA MENGGUNAKAN INTERPRETASI DATA LOG GEOFISIKA PADA LAPANGAN "F" LAHAT, SUMATERA SELATAN

Oleh

Farid Anshari

Potensi batubara di Indonesia yang begitu besar khususnya yang berada pada Formasi Muara Enim dapat menjadi alternatif energi seiring dengan terus berkurangnya bahan bakar minyak. Batubara dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik menggantikan minyak bumi. Luas daerah penelitian sebesar 1.020.000 m² dan memiliki 22 sumur. Data log yang digunakan dalam penelitian ini adalah log gamma ray, log calliper dan juga log density. Lapisan batubara sangat mudah untuk dikenali karena memiliki grafik yang berbeda dari batuan sedimen yang lain. Batubara mudah dikenali karena memiliki kandungan radioaktif yang sangat sedikit, itu ditunjukkan dari grafik *log gamma ray* nya yang sangat rendah. Sedangkan untuk densitasnya, batubara memiliki nilai yang besar. Pada penelitian ini ditemukan 3 lapisan batubara yang potensial dengan ketebalan yang bervariasi. Seam A memiliki ketebalan rata-rata 13,8 meter yang ditemukan pada 14 sumur, dimana lapisan yang paling tebal terdapat pada sumur FRD-015 dan FRD-017 yaitu 14,72 meter dan 14,66 meter. Seam B memiliki ketebalan rata-rata 18,6 meter yang ditemukan pada 14 sumur, dimana lapisan yang paling tebal terdapat pada sumur FRD-005 dan FRD-012 yaitu 19,56 meter dan 19,94 meter. Seam C memiliki ketebalan rata-rata 8 meter yang ditemukan pada 19 sumur, dimana lapisan yang paling tebal terdapat pada sumur FRD-011 dan FRD-014 yaitu 8,88 meter dan 8,62 meter. Dengan bantuan software rockwork 15 didapatkan volume seam A sebesar 8,755,100 m³, seam B sebesar 12,200,800 m³ dan seam C sebesar 6,730,800 m³. Total batubara secara keseluruhan adalah 27,686,700 m³ dengan tanah penutup sebesar 67,080,200 m³. Maka didapatkan nilai stripping ratio 1:2,4.

Kata Kunci: Batubara, Density, Gamma ray, Logging, Seam, Stripping ratio, Sumber daya

IDENTIFIKASI POLA SEBARAN SEAM DAN PERHITUNGAN SUMBER DAYA BATUBARA MENGGUNAKAN INTERPRETASI DATA LOG GEOFISIKA PADA LAPANGAN "F" LAHAT, SUMATERA SELATAN

Oleh

FARID ANSHARI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung



UNIVERSITAS LAMPUNG FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA 2016 Judul Skripsi

IDENTIFIKASI POLA SEBARAN SEAM DAN PERHITUNGAN SUMBER DAYA BATUBARA MENGGUNAKAN INTERPRETASI DATA LOG GEOFISIKA PADA LAPANGAN "F" LAHAT, SUMATERA SELATAN

Nama Mahasiswa

: Farid Anshari

Nomor Pokok Mahasiswa: 1115051015

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.

NIP 19661222 199603 1 001

Rustadi S.Si. M.T.

NIP 19720511 199703 1 000

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T. NIP 19700120 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.

Sekretaris

: Rustadi, S.Si., M.T.

Qu

Penguji

Bukan Pembimbing : Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. NIP 19620717 198703 1 002

TONES UNIVERSITA ... WING WHAT

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 21 April 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 25 April 2016

EMPEL 58564ADF650246699 000 am RIBURUPIAH

Farid Anshari

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Krui, Pesisir Barat pada tanggal 7 Juli 1993. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Muhammad Zulfas dan Ibu Naziro. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Pasar Krui, Pesisir Barat pada tahun 2008. Pendidikan Sekolah

Menengah Pertama di SMPN 2 Pesisir Tengah, Pesisir Barat pada tahun 2008. Dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pesisir Tengah, Pesisir Barat pada tahun 2011.

Pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Didalam organisasi jurusan penulis terdaftar sebagai anggota bidang kaderisasi pada periode 2012/2013. Pada periode 2013/2014 penulis menjabat sebagai anggota bidang kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung. Pada periode yang yang sama penulis juga tercatat sebagai anggota pada organisasi American Association Petroleum Geologist (AAPG) Student Chapter of University of Lampung.

Didalam pengaplikasian ilmu di bidang Geofisika penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di PT Dizamatra Powerindo di Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan pada bulan Mei hingga Juni 2015. Pada tahun 2015 penulis melaksanakan Penelitian Tugas Akhir untuk penulisan Skripsi di Jurusan Teknik Geofisika Universitas lampung selama dua bulan. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 21 April 2016 dengan skripsi yang berjudul "Identifikasi Pola Sebaran Seam Dan Perhitungan Sumberdaya Batubara Menggunakan Interpretasi Data Log Geofisika Pada Lapangan "F" Lahat, Sumatera Selatan".

Skripsi ini Saya Persembahkan Untuk:

Ayahanda tercinta Bapak Muhammad Zulfas dan Ibunda tercinta Ibu Naziro

Adekku terkasih Firdha Yossi Chani

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2011

Keluarga Besar Teknik Geofisika UNILA

Almamater Tercinta Universitas Lampung

Serta

Semua Guru yang telah berjasa memberikan ilmu yang bermanfaat dan menginspirasi saya dalam segala hal.

MOTTO

"Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri, dan jika kamu berbuat jahat, maka kejahatan itu untuk dirimu sendiri.."

(QS. AL-Isra: 7)

" man jaddah wajadah, selama kita bersungguh-sungguh,
maka kita akan memetik buah yang manis. Segala
keputusan hanya ditangan kita sendiri, kita mampu untuk
itu "

(Bacharuddin Jusuf Habibie)

Tak ada yang lebih kuat dari kelembutan, tak ada yang lebih lembut dari kekuatan yang tenang"

(Jendral Sudirman)

Bersabar, Berusaha, dan Bersyukur

Bersabar dalam berusaha

Berusaha dengan tekun dan pantang menyerah

Bersyukur atas apa yang telah diperoleh

(Farid Anshari)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan nikmat dan karunia yang telah diberikan sampai dengan saat ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Identifikasi Pola Sebaran Seam dan Perhitungan Sumber Daya Batubara Menggunakan Interpretasi Data Log Geofisika Pada Lapangan "F" Lahat, Sumatera Selatan" ini dapat terselesaikan dengan baik dan sebagai syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik di jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, diperlukan saran dan kritik yang dapat membangun untuk perbaikan kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun pembaca.

Bandar Lampung, 25 April 2016

Farid Anshari

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala segala limpahan nikmat yang telah diberikan sampai dengan saat ini sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi dengan judul "Identifikasi Pola Sebaran Seam dan Perhitungan Sumber Daya Batubara Menggunakan Interpretasi Data Log Geofisika Pada Lapangan "F" Lahat, Sumatera Selatan". Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta didukung dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat di kemudian hari.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis sadari bahwa banyak pihak yang telah terlibat sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- Kedua orang tuaku tersayang, Bapak Muhammad Zulfas dan Ibu Naziro yang senantiasa mendukung dan tiada henti-hentinya mendoakan serta memberi semangat kepada putranya agar selalu kuat dan bijaksana dalam menjalani kehidupan.
- Bapak Prof. Dr. Suharno, B.Sc., M.S., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

- 3. Bapak **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si** selaku Pembimbing utama yang atas kesediaannya membantu untuk memberikan bimbingan, ilmu, saran, nasihat dan doanya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- 4. Bapak **Rustadi, S.Si., M.T** selaku Pembimbing Kedua yang atas kesediaannya membantu untuk memberikan bimbingan, ilmu saran, nasihat dan doanya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- 5. Bapak **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T** selaku Pembahas pada ujian skripsi, terimakasih atas bimbingan dan semua masukan dan saran–saran pada seminar yang terdahulu.
- 6. Bapak **Dr. Muh Sarkowi S.Si., M.T** selaku dosen pembimbing akademik yang telah mendidik dan memberikan nasehat.
- Dosen-dosen Teknik Geofisika, Bapak Alimudin, M.Si., Bapak Karyanto,
 M.T., Bapak Nandi Haerudin, M.Si., Bapak Syamsurizal Rasimeng, M.Si.,
 Bapak Dr. Ahmad Zaenuddin, M.T., terimakasih telah mendidik dan memberikan ilmunya yang hebat kepada mahasiswa-mahasiswanya.
- 8. Bapak **Farid Martadinata** selaku pembimbing lapangan di PT. Dizamatra Powerindo yang telah bersedia membimbing, memberikan ilmu dan pengetahuannya.
- 9. Sahabat-sahabat yang hebat Alwi, Agung, Bagus, Doni, Hardeka, Lia dan Sari, terima kasih telah menjadi sahabat yang selalu ada disaat suka maupun duka yang selalu mendengarkan semua kisah hidup dan terima kasih atas cinta kasih kalian.

- 10. Terima kasih untuk Pacarku tercinta, Lia Tri Khairum, terima kasih sudah memberikan motivasi dan dorongan morilnya selama melaksanakan tugas akhir ini
- 11. Teman seperjuangan Tugas Akhir, **Sari Putri Zam**, terimakasih atas masukan yang sangat bermafaat.
- 12. Teman-teman TG 2011. Achmadi, arenda, alwi, asri, sibu, dhi, keto, mala, wahyu, guspri, nanda, rika, syamsul, wilyan, yunita, hilda, leo, mezrin, wanda, ami, ticun, rosita, yeni, ucup, ratu, annisa. Kalian luar biasa!!!
- 13. Keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung. Terimaksih untuk semua dukungannya, kasih sayang, dan kebersamaan selama ini.
- 14. Kawan-kawan yang gokil **Beni, Heizlan, Iril, Mimi, Arif, Tomo** terima kasih atas candaan kalian yang sangat menghibur.
- 15. Bapak dan Ibu Staf administrasi Teknik Geofisika, Mbak Dewi dan Bapak Marsono serta Bapak dan Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Unila
- 16. Dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam pembuatan skripsi ini.

DAFTAR ISI

| Halaman |
|--|
| ABSTRACTi |
| ABSTRAK ii |
| HALAMAN JUDUL iii |
| HALAMAN PERSETUJUANiv |
| HALAMAN PENGESAHANv |
| HALAMAN PERNYATAAN vi |
| RIWAYAT HIDUP vii |
| HALAMAN PERSEMBAHANix |
| MOTTO x |
| KATA PENGANTAR xi |
| SANWACANA xii |
| DAFTAR ISIxv |
| DAFTAR TABEL xvii |
| DAFTAR GAMBAR xviii |
| BAB 1 PENDAHULUAN A. Latar belakang penelitian |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA A. Letak dan lokasi penelitian |

| B. Geologi regional Cekungan Sumatera Selatan | |
|--|----|
| C. Struktur geologi daerah penelitian | 7 |
| D. Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan | 9 |
| BAB III TEORI DASAR | |
| A. Batubara | 16 |
| 1. Ganesa batubara | 16 |
| 2. Jenis, sifat dan kelas batubara | 19 |
| 3. Kegunaan dan pemakaian batubara | 20 |
| B. Well Logging | 22 |
| 1. Log Gamma Ray | 23 |
| 2. Log Density | 26 |
| 3. Log Calliper | 30 |
| C. Klasifikasi sumberdaya batubara | |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN | |
| A. Tempat dan waktu penelitian | 34 |
| B. Alat dan bahan | 35 |
| C. Metode penelitian | 35 |
| 1. Interpretasi data log | |
| 2. Korelasi penampang 2D | |
| 3. Pemodelan 3D | 36 |
| 4. Analisis nisbah pengupasan (stripping ratio) | 36 |
| 5. Diagram alir penelitian | |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| A. Sebaran lubang bor daerah penelitian | 38 |
| B. Interpretasi litologi berdasarkan defleksi grafik log | |
| Analisis defleksi garfik log pada batubara | |
| Analisis defleksi grafik log pada batuan sedimen | |
| C. Korelasi penampang 2D | |
| D. Penyebaran kedalaman dan ketebalan lapisan batubara | |
| 1. Sebaran seam A | |
| 2. Sebaran seam B | |
| 3. Sebaran seam C | |
| E. Analisis <i>stripping ratio</i> (nisbah pengupasan) | |
| 1. Volume masing-masing litologi | |
| 2. Volume Overburden, Interburden dan seam batubara | |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | |
| A. Kesimpulan | 76 |
| B. Saran | |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| | |

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| Halaman |
|--|
| Tabel 1. Kegiatan Penelitian |
| Tabel 2. Data lubang bor dan koordinat pada daerah penelitian |
| Tabel 3. Sebaran kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> A pada setian lubang bor 52 |
| Tabel 4. Sebaran kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> B pada setian lubang bor53 |
| Tabel 5. Sebaran kedalaman dan ketebalan Seam C pada setian lubang bor53 |
| Tabel 6. Sampel nilai dari grafik log lubang bor FRD-002 |
| Tabel 7. Sampel nilai dari grafik log lubang bor FRD-006 |
| Tabel 8. Sampel nilai dari grafik log lubang bor FRD-011 |
| Tabel 9. Volume masing-masing litologi daerah penelitian |
| Tabel 10. Hasil perhitungan OB, IB dan seam batubara75 |

DAFTAR GAMBAR

| 1 | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian | 5 |
| Gambar 2. Struktur regional Cekungan Sumatera Selatan | 7 |
| Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian | 8 |
| Gambar 4. Kolom Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan | 15 |
| Gambar 5. Penentuan penarikan Sand Base Line dan Shale Base Line | 25 |
| Gambar 6. Prinsip Pengukuran log densitas | 27 |
| Gambar 7. Beberapa respon yang khas pada log densitas | 28 |
| Gambar 8. Hubungan antara satuan CPS dan gr/cc | 29 |
| Gambar 9. Log calliper yang menggambarkan keadaan diameter borehole | 31 |
| Gambar 10. Diagram alir penelitian | 37 |
| Gambar 11. Peta kontur permukaan | 40 |
| Gambar 12. Interpretasi grafik log untuk litologi batubara seam A | 42 |
| Gambar 13. Interpretasi grafik log untuk litologi batubara seam B | 43 |
| Gambar 14. Interpretasi grafik log untuk litologi batubara seam C | 44 |
| Gambar 15. Interpretasi grafik log untuk litologi Batupasir | 45 |
| Gambar 16. Interpretasi grafik log untuk litologi Batulumpur | 46 |
| Gambar 17. Peta korelasi penambang lubang bor | 48 |

| Gambar 18. Korelasi penampang 1 | 49 |
|--|----|
| Gambar 19. Korelasi Penampang 4 | 50 |
| Gambar 20. Korelasi Penampang 8 | 51 |
| Gambar 21. Sebaran litologi pada masing masing lubang bor | 54 |
| Gambar 22. Model 3D sebaran litologi pada daerah penelitian | 55 |
| Gambar 23. Model 3 dimensi pola sebaran batubara daerah penelitian | 56 |
| Gambar 24. Peta isopach sebaran ketebalan batubara seam A | 58 |
| Gambar 25. Model 3 Dimensi sebaran seam A | 59 |
| Gambar 26. Sampel defleksi grafik log sumur FRD-002 | 60 |
| Gambar 27. Sampel defleksi grafik log sumur FRD-007 | 60 |
| Gambar 28. Sampel defleksi grafik log sumur FRD-019 | 61 |
| Gambar 29. Peta isopach sebaran ketebalan batubara seam B | 63 |
| Gambar 30. Model 3 Dimensi sebaran seam B | 64 |
| Gambar 31. Sampel grafik log FRD-005 | 65 |
| Gambar 32. Sampel grafik log FRD-013 | 65 |
| Gambar 33. Sampel grafik log FRD-019 | 66 |
| Gambar 34. Peta isopach sebaran ketebalan batubara seam C | 68 |
| Gambar 35. Model 3 Dimensi sebaran seam C | 69 |
| Gambar 36. Sampel grafik log sumur FRD-004 | 70 |
| Gambar 37. Sampel grafik log sumur FRD-011 | 70 |
| Gambar 38. Sampel grafik log sumur FRD-015 | 70 |
| Gambar 39. Pemodelan overburden, interburden dan seam | 74 |

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Batubara adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utama pembentuk batubara adalah terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara juga merupakan batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

Potensi batubara di Indonesia yang begitu besar dapat menjadi alternatif energi seiring dengan terus berberkurangnya bahan bakar minyak. Dimana pada masa mendatang penggunaan batubara tentunya akan meningkat dan untuk memenuhinya diperlukan upaya eksplorasi guna untuk menemukan sumberdaya baru yang potensial untuk dilakukan penambangan. Tingginya sumberdaya batubara memungkinkan pemanfaatannya untuk dijadikan energi listrik menggantikan minyak bumi. Sebagai sumberdaya energi, batubara memiliki nilai yang strategis dan potensial untuk memenuhi sebagian besar energi dalam negeri. Sumberdaya batubara di Indonesia diperkirakan sebesar 36 milyar ton dan tersebar di Sumatera, Kalimantan dan sisanya di Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Potensi Batubara yang di miliki Provinsi Sumatera Selatan diketahui mencapai

sekitar 85% dari total cadangan yang terkandung dalam bumi Sumatera, atau sekitar 22,24 milyar ton.

Eksplorasi batubara dapat dilakukan melalui eksplorasi geofisika, khususnya Well logging. Sebagai salah satu metode dalam geofisika, metode Well Logging dapat digunakan baik dalam eksplorasi pada tahap pendahuluan sebelum dilakukan produksi. Well Logging dapat dilakukan dengan openhole logging dan casedhole logging. Keunggulan dari metode ini adalah mampu menggambarkan keadaan bawah permukaan secara vertikal, sehingga litologi masing-masing lapisan dapat tergambar dengan jelas. Untuk dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan secara lateral, maka dilakukan korelasi antar lubang bor.

Loging sumur (well logging) juga dikenal dengan borehole logging adalah cara untuk mendapatkan rekaman log yang detail mengenai formasi geologi yang terpenetrasi dalam lubang bor. Prosedur logging terdiri dari menurunkan "logging tool" pada wireline kedalam sumur minyak atau lubang, untuk mengukur properti batuan dan fluida pada formasi. Log dapat berupa pengamatan visual sampel yang diambil dari lubang bor (geological log), atau dalam pengukuran fisika yang diperoleh dari respon piranti instrumen yang dipasang didalam sumur (geophysical log).

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Mengetahui litologi dan pola sebaran seam batubara pada daerah penelitian.

- 2. Mengetahui jumlah *overbuden* dan dapat menentukan daerah paling prospek untuk dilakukan penambangan terlebih dahulu.
- 3. Mengetahui sumberdaya batubara pada daerah penelitian.

C. Batasan Masalah Penelitian

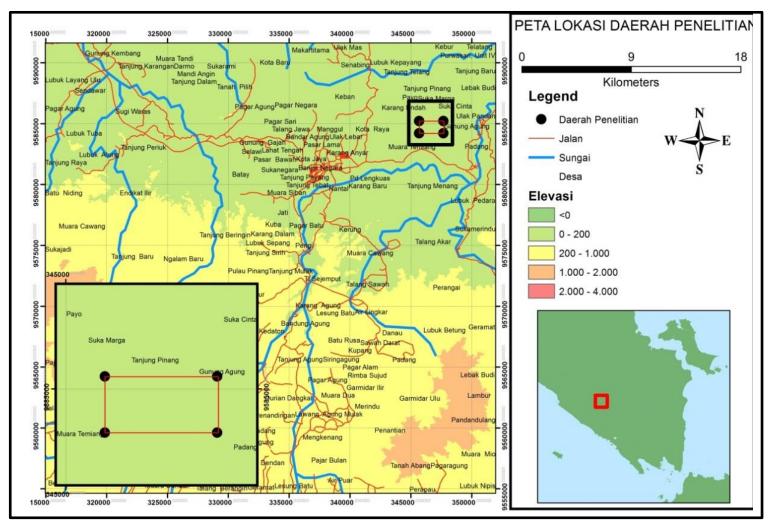
Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- Penelitian ini menggunakan data sekunder well logging pada 22 sumur eksplorasi.
- Data log yang digunakan adalah data log gamma ray, caliper dan density.
- Pengolahan data log digunakan perangkat lunak, yaitu Well CAD,
 Starter 4, Global Mapper 15, ArcGis, RockWorks 15.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini berada diwilayah izin usaha pertambangan (IUP) PT. Dizamatra Powerindo yang terletak Keban Agung, Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Letak koordinatnya berada pada 103⁰ 61' 18" - 103⁰ 62' 67" BT dan 3⁰ 75' 70" - 3⁰ 75' 16" LS. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1

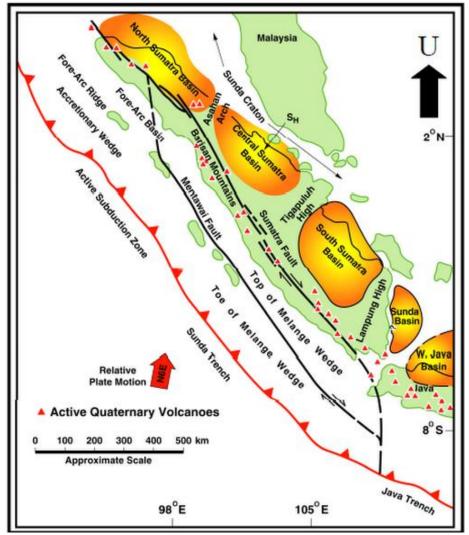


Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (SRTM 90)

Blok yang berwarna merah pada Gambar 1 menunjukkan lokasi daerah penelitian. Perusahaan ini bergerak pada bidang pertambangan, pengeboran dan perdagangan batubara dengan luas wilayah IUP eksploitasi sebesar ± 971 Ha.

B. Geologi Regional Cekungan Sumatera Selatan

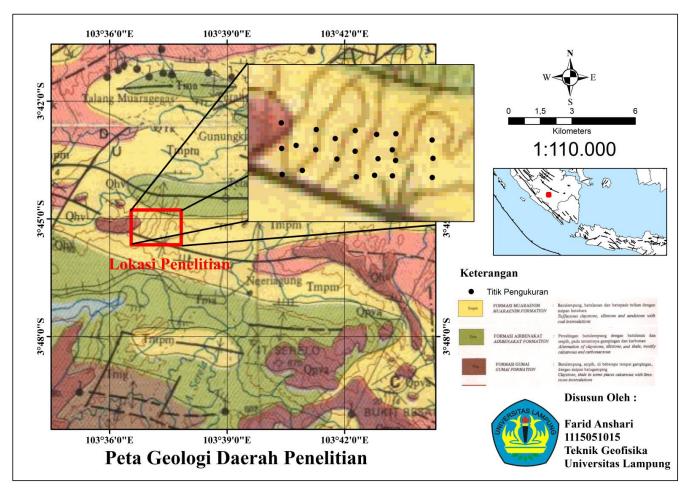
Secara umum, Pulau Sumatra terdiri atas tiga buah cekungan besar. Ketiga buah cekungan itu adalah *North Sumatra Basin*, *Central Sumatra Basin* dan *South Sumatra Basin*. Wilayah penelitian berada di *South Sumatra Basin* atau Cekungan Sumatra Selatan. Cekungan Sumatera Selatan merupakan cekungan belakang busur yang dibatasi oleh Paparan Sunda di sebelah timur laut, Tinggian Lampung di sebelah tenggara, Bukit Barisan di sebelah barat daya, sebelah barat laut di batasi oleh pegunungan Duabelas dan Pegunungan Tigapuluh. Cekungan Sumatera Selatan terbentuk pada periode tektonik ektensional Pra-Tersier sampai Tersier awal. Struktur regional Cekungan Sumatera Selatan dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Struktur regional Cekungan Sumatera Selatan (Heidrick dan Aulia, 1993).

C. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Endapan batubara PT. Dizamatra Powerindo ditemukan pada Formasi Muara Enim. Formasi Muara Enim diendapkan selaras di atas Formasi Air Benakat. Formasi ini memiliki ketebalan antara 450 sampai 1200 meter dengan umur Miosen Atas-Pliosen. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal, dataran delta dan *non-marine*. Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Gafoer, dkk, yang telah dimodifikasi, 1986)

Formasi Muara Enim dicirikan oleh batuan yang berupa batupasir, batulanau, batulempung, dan batubara. Pada bagian atas formasi ini sering terdapat tuff atau lempung tufaan. Blok yang berwarna hitam merupakan daerah penelitian

D. Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan

Stratigrafi daerah cekungan Sumatra Selatan secara umum dapat dikenal satu *megacycle* (daur besar) yang terdiri dari suatu transgresi dan diikuti regresi. Formasi yang terbentuk selama fase transgresi dikelompokkan menjadi Kelompok Telisa (Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, dan Formasi Gumai). Kelompok Palembang diendapkan selama fase regresi (Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim, dan Formasi Kasai), sedangkan Formasi Lemat dan *older* Lemat diendapkan sebelum fase transgresi utama. Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan menurut *De Coster* 1974 adalah sebagai berikut:

1. Kelompok Pra Tersier. Formasi ini merupakan batuan dasar (basement rock) dari Cekungan Sumatra Selatan. Tersusun atas batuan beku Mesozoikum, batuan metamorf Paleozoikum Mesozoikum, dan batuan karbonat yang termetamorfosa. Hasil dating di beberapa tempat menunjukkan bahwa beberapa batuan berumur Kapur Akhir sampai Eosen Awal. Batuan metamorf Paleozoikum-Mesozoikum dan batuan sedimen mengalami perlipatan dan pensesaran akibat intrusi batuan beku selama episode orogenesa Mesozoikum Tengah (Mid-Mesozoikum).

- 2. Formasi Kikim Tuff dan older Lemat atau Lahat. Batuan tertua yang ditemukan pada Cekungan Sumatera Selatan adalah batuan yang berumur akhir Mesozoik. Batuan yang ada pada Formasi ini terdiri dari batupasir tuffan, konglomerat, breksi, dan lempung. Batuan-batuan tersebut kemungkinan merupakan bagian dari siklus sedimentasi yang berasal dari Continental, akibat aktivitas vulkanik, dan proses erosi dan disertai aktivitas tektonik pada akhir Kapur-awal Tersier di Cekungan Sumatera Selatan.
- Formasi Lemat Muda atau Lahat Muda. Formasi Lemat tersusun atas 3. klastika kasar berupa batupasir, batulempung, fragmen batuan, breksi, "Granit Wash", terdapat lapisan tipis batubara, dan tuf. Semuanya diendapkan pada lingkungan kontinen. Sedangkan Anggota Benakat dari Formasi Lemat terbentuk pada bagian tengah cekungan dan tersusun atas serpih berwarna coklat abu-abu berlapis yang dengan serpih tuffaan (tuffaceous shales), batulanau, batupsir, terdapat lapisan tipis batubara dan batugamping (stringer), Glauconit; diendapkan pada lingkungan freshdibatasi brackish. Formasi Lemat secara normal oleh bidang ketidakselarasan (unconformity) pada bagian atas dan bawah formasi. Kontak antara Formasi Lemat dengan Formasi Talang Akar yang diintepretasikan sebagai paraconformable. Formasi Lemat berumur Paleosen-Oligosen, dan Anggota Benakat berumur Eosen Akhir-Oligosen, yang ditentukan dari spora dan pollen, juga dengan dating K-Ar. Ketebalan formasi ini bervariasi, lebih dari 2500 kaki (760m). Pada Cekungan Sumatra Selatan dan lebih dari 3500

kaki (1070m) pada zona depresi sesar di bagian tengah cekungan (didapat dari data seismik).

- Formasi Talang Akar. Formasi Talang Akar terdapat di Cekungan Sumatra 4. Selatan, formasi ini terletak di atas Formasi Lemat dan di bawah Formasi Telisa atau Anggota Basal Batugamping Telisa. Formasi Talang Akar terdiri dari batupasir yang berasal dari delta plain, serpih, lanau, batupasir kuarsa, dengan sisipan batulempung karbonan, batubara dan di beberapa tempat konglomerat. Kontak antara Formasi Talang Akar dengan Formasi Lemat tidak selaras pada bagian tengah dan pada bagian pinggir dari cekungan kemungkinan paraconformable, sedangkan kontak antara Formasi Talang Akar dengan Telisa Anggota Basal Batugamping Telisa adalah conformable. Kontak antara Talang Akar dan Telisa sulit di pick dari sumur di daerah palung disebabkan litologi dari dua formasi ini secara umum sama. Ketebalan dari Formasi Talang Akar bervariasi 1500-2000 feet (sekitar 460-610m). Umur dari Formasi Talang Akar ini adalah Oligosen Atas-Miosen Bawah dan kemungkinan meliputi N 3 (P22), N7 dan bagian N5 berdasarkan zona Foraminifera plangtonik yang ada pada sumur yang dibor pada formasi ini berhubungan dengan delta plain dan daerah shelf.
- 5. Formasi Baturaja. Anggota ini dikenal dengan Formasi Baturaja. Diendapkan pada bagian *intermediate-shelfal* dari Cekungan Sumatera Selatan, di atas dan di sekitar platform dan tinggian. Kontak pada bagian bawah dengan Formasi Talang Akar atau dengan batuan Pra Tersier.

Komposisi dari Formasi Baturaja ini terdiri dari Batugamping Bank (*Bank Limestone*) atau platform dan reefal. Ketebalan bagian bawah dari formasi ini bervariasi, namun rata-ratta 200-250 feet (sekitar 60-75m). Singkapan dari Formasi Baturaja di Pegunungan Garba tebalnya sekitar 1700 *feet* (sekitar 520m). Formasi ini sangat *fossiliferous* dan dari analisis umur anggota ini berumur Miosen. Fauna yang ada pada Formasi Baturaja umurnya N6-N7.

Formasi Telisa (Gumai). Formasi Gumai tersebar secara luas dan terjadi 6. pada zaman Tersier, formasi ini terendapkan selama fase transgresif laut maksimum, (maximum marine transgressive) ke dalam 2 cekungan. Batuan ada diformasi ini terdiri dari napal mempunyai yang yang karakteristik fossiliferous, banyak mengandung foram plankton. Sisipan batugamping dijumpai pada bagian bawah. Formasi Gumai beda fasies dengan Formasi Talang Akar dan sebagian berada di atas Formasi Baturaja. Ketebalan dari formasi ini bervariasi tergantung pada posisi dari cekungan, namun variasi ketebalan untuk Formasi Gumai ini berkisar dari 6000 - 9000 feet (1800-2700m). Penentuan umur Formasi Gumai dapat ditentukan dari dating dengan menggunakan foraminifera planktonik. Pemeriksaan mikropaleontologi terhadap contoh batuan dari beberapa sumur menunjukkan bahwa fosil foraminifera planktonik yang dijumpai dapat digolongkan ke dalam zona Globigerinoides sicanus, Globogerinotella insueta, dan bagian bawah zona Orbulina Satiralis Globorotalia peripheroranda, umurnya disimpulkan Miosen Awal-Miosen Tengah. Lingkungan pengendapan Laut Terbuka, Neritik.

- Formasi Lower Palembang (Air Benakat). Formasi Lower Palembang diendapkan selama awal fase siklus regresi. Komposisi dari formasi ini terdiri batupasir glaukonitan, batulempung, batulanau, dan batupasir dari yangmengandung unsur karbonat. Pada bagian bawah dari Formasi Lower Palembang kontak dengan Formasi Telisa. Ketebalan dari formasi ini bervariasi dari 3300 – 5000 kaki (sekitar 1000 – 1500m). Faunafauna yang dijumpai pada Formasi Lower Palembang ini antara lain Orbulina Universa d'Orbigny, Orbulina Suturalis Bronimann, Globigerinoides Subquadratus Bronimann, Globigerina Venezuelana Hedberg, Globorotalia Peripronda Blow dan Banner, Globorotalia yang menunjukkan umur Miosen Tengah N12-N13. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal.
- 8. Formasi *Middle* Palembang (Muara Enim). Batuan penyusun yang ada pada formasi ini berupa batupasir, batulempung, dan lapisan batubara. Batas bawah dari Formasi *Middle* Palembnag di bagian selatan cekungan berupa lapisan batubara yang biasanya digunakan sebgai marker. Jumlah serta ketebalan lapisan-lapisan batubara menurun dari selatan ke utara pada cekungan ini. Ketebalan formasi berkisar antara 1500 2500 kaki (sekitar 450-750m). De Coster (1974) menafsirkan formasi ini berumur Miosen Akhir sampai Pliosen, berdasarkan kedudukan stratigrafinya. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal sampai *brackist* (pada bagian dasar), *delta plain* dan lingkungan *non marine*.

9. Formasi Upper Palembang (Kasai). Formasi ini merupakan formasi yang paling muda di Cekungan Sumatra Selatan. Formasi ini diendapkan selama orogenesa pada Plio-Pleistosen dan dihasilkan dari proses erosi Pegunungan Barisan dan Tigapuluh. Komposisi dari formasi ini terdiri dari batupasir tuffan, lempung, dan kerakal dan lapisan tipis batubara. Umur dari formasi ini tidak dapat dipastikan, tetapi diduga Plio-Pleistosen. Lingkungan pengendapannya darat.

Kolom Startigrafi secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4

| U | UMUR K E L O M P O K K FORMASI | | ORMASI | TEBAL (m) | LITOLOGI | |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---|-----------|---|
| Kwarter | | | | | | Pasir, lanau Lempung, Aluvial |
| Plistosen | | P A | KASAI | `A''A''A''A''A''A''A''A''A''A'''A'''A'' | | Kerikil, Pasir tuffan, lempung , Konkresi vulkanik, tuf batuapung |
| PLIOSEN | | L E M B | Muara Enim | | 150 - 750 | Lempung, Lempung pasiran, pasir dan lapisan tebal batubara |
| M I O S E N | ATAS | A N G | Air Benakat | | | Lempung pasiran dan napalan, banyak pasir dengan glaukonit, kadang gampingan |
| | TENGAH | T E L | Gumai | | 2200 | Napal,Lempung, serpih, serpih lanauan,kadang- kadang gamping dan pasir tipis, Globigerina biasa terdapat |
| | BAWAH | I S A | Batu Raja | | 0-160 | Napal, gamping terumbu dan gamping lempungan |
| | Atas | | Talang akar | | 0 - 1100 | Pasir, pasir gampingan, lempung, lempung pasiransedikit batubara, pasir kasar pada dasar penampang dibanyak tempat |
| | Tengah | | | מרער מושרמים מוער מושרער | | |
| | Bawah | | | V.V.V. | 00:00 | Tuff ungu, hujau, merah, coklat, lempung |
| Eosin | Atas Tengah Bawah | | LAF | | .0 | tuffan, breksi dan konglongmerat |
| PALEOSEN | | | | ערער פרער פרער פרער ערער | | |
| Mesozoikum Paleozoikum | | | Pre- tersier | | | Batuan beku aneka warna dan batuan sedimen yang bermetamorfosir tingkat rendah |

Gambar 4. Kolom stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan (Koesoemadinata,1980)

BAB III TEORI DASAR

A. Batubara

1. Genesa Batubara

Batubara adalah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan yang terhumifikasi, berwarna coklat sampai hitam yang selanjutnya terkena proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun sehingga mengakibatkan pengkayaan kandungan karbonnya (Wolf, 1984 dalam Anggayana, 2002).

Untuk menjadi batubara, ada beberapa tahapan penting yang harus dilewati oleh batuan dasar pembentuknya (tumbuhan). Tahapan penting tersebut yaitu: tahap pertama adalah terbentuknya gambut (peatification) yang merupakan proses mikrobial dan perubahan kimia (biochemical coalification). Serta tahap berikutnya adalah proses-proses yang terdiri dari perubahan struktur kimia dan fisika pada endapan pembentuk batubara (geochemical coalification) karena pengaruh suhu, tekanan dan waktu.

a. Penggambutan (Peatification)

Gambut merupakan batuan sedimen organik (tidak padat) yang dapat terbakar dan berasal dari sisa-sisa hancuran atau bagian tumbuhan yang tumbang dan mati dipermukaan tanah, pada umumnya akan mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga setelah beberapa waktu kemudian tidak terlihat lagi bentuk asalnya. Pembusukan dan penghancuran tersebut pada dasarnya merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktivitas bakteri atau jasad renik lainnya. Jika tumbuhan tumbang disuatu rawa, yang dicirikan dengan kandungan oksigen yang sangat rendah sehingga tidak membuktikan bakteri anerob (bakteri yang memerlukan oksigen) hidup, maka sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga tidak akan terjadi proses oksidasi yang sempurna.

Pada kondisi tersebut hanya bakteri-bakteri anaerob saja yang berfungsi melakukan proses dekomposisi yang kemudian membentuk gambut (*peat*). Daerah yang ideal untuk pembentukan gambut misalnya rawa, delta sungai, danau dangkal atau daerah dalam kondisi tertutup udara. Gambut bersifat porous, tidak padat dan umumnya masih memperlihatnya struktur tumbuhan asli, kandungan airnya lebih besar dari 75% (berat) dan komposisi mineralnya kurang dari 50% (dalam keadaan kering).

Beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya gambut adalah:

- 1) Evolusi tumbuhan.
- 2) Iklim.
- 3) Geografi dan tektonik daerah.

Syarat terbentuknya formasi batubara antara lain adalah kenaikan muka air tanah yang lambat, perlindungan rawa terhadap pantai atau sungai dan energi relief rendah. Jika muka air tanah terlalu cepat naik (atau penurunan dasar rawa cepat) maka kondisi akan menjadi *limnic* atau bahkan akan terjadi endapan marin. Sebaliknya jika terlalu lambat, maka sisa tumbuhan yang terendapkan akan teroksidasi dan tererosi. Terjadinya kesetimbangan antara penurunan cekungan / *land-subsidence* dan kecepatan penumpukan sisa tumbuhan (kesetimbangan bioteknik) yang stabil akan menghasilkan gambut yang tebal (Diessel, C.F.K, 1992).

Lingkungan tempat terbentuknya rawa gambut umumnya merupakan tempat yang mengalami depresi lambat dengan sedikit sekali atau bahkan tidak ada penambahan material dari luar. Pada kondisi tersebut muka air tanah terus mengikuti perkembangan akumulasi gambut dan mempertahankan tingkat kejenuhannya. Kejenuhan tersebut dapat mencapai 90% dan kandungan air menurun drastis hingga 60% pada saat terbentuknya *brown-coal*. Sebagian besar lingkungan yang memenuhi kondisi tersebut merupakan *topogenic low moor*. Hanya pada beberapa tempat yang mempunyai curah hujan sangat tinggi dapat terbentuk rawa gambut ombrogenik (*high moor*) (Diessel, C.F.K, 1992).

b. Pembatubaraan (Coalification)

Proses pembatubaraa adalah perkembangan gambut menjadi lignit, subbitumous, bituminous, antrasit sampai meta-antrasit. Proses pembentukan gambut dapat berhenti karena beberapa proses alam seperti misalnya karena penurunan dasar cekungan dalam waktu yang singkat. Jika lapisan gambut yang telah terbentuk kemudian ditutupi oleh lapisan sedimen, maka tidak ada lagi bahan anaerob, atau oksigen yang dapat mengoksidasi, maka lapisan gambut akan mengalami tekanan dari lapisan sedimen. Tekanan terhadap lapisan gambut akan meningkat dengan bertambah tebalnya lapisan sedimen. Tekanan yang bertambah besar pada proses pembatubaraan akan mengakibatkan menurunnya porositas dan meningkatnya anisotropi. Porositas dapat dilihat dari kandungan airnya yang menurun secara cepat selama proses perubahan gambut menjadi *brown coal*. Hal ini memberi indikasi bahwa masih terjadi kompaksi (Diessel, C.F.K, 1992).

Proses pembatubaraan terutama dikontrol oleh kenaikan temperatur, tekanan dan waktu. Pengaruh temperatur dan tekana dipercayai sebagai faktor yang sangat dominan, karena sering ditemukan lapisan batubara *high-rank* (antrasit) yang berdekatan dengan intrusi batuan beku sehingga terjadi kontak metamorfisme. Kenaikan pringkat batubara juga dapat disebabkan karena bertambahnya kedalaman. Sementara bila tekanan makin tinggi, maka proses pembatubaraan semakin cepat, terutama didaerah lipatan dan patahan (Diessel, C.F.K, 1992).

2. Jenis, Sifat dan Kelas Batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

a. Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

- b. Bituminus mengandung 68 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8 10% dari beratnya. Kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.
- c. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
- d. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
- e. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah, (Sari, 2009).

3. Kegunaan dan Pemakaian Batubara

Berbagai macam kegunaan dan pemakaian batubara sebagai energi alternatif yang dapat menggantikan sebagian besar peranan yang diambil oleh minyak. Batubara merupakan bahan bakar murah bahkan kemungkinan besar yang termurah dihitung persatuan energi. Batubara ini memiliki nilai yang strategis dan potensial untuk memenuhi sebagian besar energi dalam negeri. Batubara sebagai bahan bakar digunakan pada industri kereta api, kapal laut, pembangkit tenaga listrik, dan industri semen (Sukandarrumidi, 1995).

Penggunaan batubara dalam bentuk briket untuk keperluan rumah tangga dan industri kecil. Batubara dalam bentuk briket ini merupakan bahan yang sangat potensial untuk menggantikan minyak tanah maupun kayu bakar yang masih banyak digunakan didaerah pedesaan. Dengan beralihnya kebiasaan membakar

kayu bakar ke briket batubara masalah ekologi air tanah akan mendapat bantuan yang tak terhingga (Fadarina, 1997).

Pemanfaaan teknologi batubara bersih yang terus dikembangkan, antara lain adalah:

a. UBC (Upgrading Brown Coal)

UBC adalah proses peningkatan batubara berkalori rendah. Peningkatan mutu batubara dilakukan untuk batu bara mutu rendah (< 5.000 kcal/kg) menjadi batubara mutu menengah sampai tinggi (>6.000 kcal/kg) dengan cara pengurangan kandungan total air (total moisture reduction).

Pengoperasian penggunaan fasilitas pilot *plant UBC* diresmikan pada tahun 2003 di Palimanan Cirebon. Kemudian dilanjutkan dengan pembangunan *Demonstration Plant UBC* berkapasitas di Kalimantan yang diresmikan pada tahun 2008 dengan menjalin kerjasama dengan Jepang.

b. Pencairan Batubara (Coal Liquefaction)

Coal Liquefaction merupakan proses yang dilakukan pada jenis batubara peringkat rendah yang dibuat dalam bentuk batubara cair yang disebut minyak mentah sintetis.

Minyak sintetis ini diproses lebih lanjut untuk mendapatkan jenis bahan bakar yang siap pakai, seperti minyak bensin, solar, dan minyak tanah.

Program pencairan batubara menjadi sangat penting, sehubungan dengan kebijakan energi yang dituangkan dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang didasarkan pada Perpres No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, dan Inpres No. 2 Tahun 2006 tentang Penyediaan Batubara yang dicairkan sebagai bahan bakar lain, yang salah satu sasarannya adalah

batubara cair harus dapat memenuhi kebutuhan akan bahan bakar sekitar dua persen dari jumlah kebutuhan nasional pada tahun 2025 mendatang.

c. Gasifikasi Batubara (Coal Gasification)

Seiring dengan program pencairan batubara, program gasifikasi batubara juga terus dilaksanakan. Proses gasifikasi batubara adalah proses yang mengubah batubara dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas.

Dengan mengubah batubara menjadi gas, maka material yang tidak diinginkan yang terkandung dalam batu bara seperti senyawa sulfur dan abu, dapat dihilangkan dari gas dengan menggunakan metode tertentu sehingga dapat dihasilkan gas bersih dan dapat dialirkan sebagai sumber energi.

Teknologi gasifikasi batu bara ini juga telah diterapkan sebagai campuran bahan bakar mesin diesel untuk keperluan PLTD dengan kapasitas 250 kV (Ginting, 2010).

B. Well Logging

Logging merupakan metode pengukuran besaran-besaran fisik batuan terhadap kedalaman lubang bor. Sesuai dengan tujuan logging yaitu menentukan besaran-besaran fisik batuan maka dasar dari logging itu sendiri adalah sifat-sifat fisik atau petrofisik dari batuan. (Harsono, 1997). Well logging dapat dilakukan dengan dua cara dan bertahap yaitu:

1. Openhole Logging

Openhole Logging ini merupakan kegiatan logging yang dilakukan pada sumur/lubang bor yang belum dilakukan pemasangan casing. Pada umumnya pada tahap ini semua jenis log dapat dilakukan.

2. Casedhole Logging

Casedhole Logging merupakan kegiatan logging yang dilakukan pada sumur/ lubang bor yang sudah dilakukan pemasangan casing. Pada tahapan ini hanya log tertentu yang dapat dilakukan antara lain adalah log Gamma Ray, Caliper, NMR dan CBL.

Parameter-parameter sifat batuan utama yang diukur meliputi temperatur, tahanan jenis, densitas, porositas, permeabilitas dan sebagainya yang tergambar dalam bentuk kurva-kurva log. Sifat-sifat dasar batuan yang tergambar dalam kurva log diperlukan untuk menghitung (Harsono, 1997):

- 1. Kapasitas/kemampuan batuan untuk menampung fluida;
- 2. Jumlah fluida dalam batuan tersebut:
- 3. Kemampuan fluida mengalir dari batuan ke lobang sumur bor.

1. Log Gamma Ray

Prinsip pengukuran *log gamma ray* adalah perekaman radioaktivitas alami bumi. Radioaktivitas *gamma ray* (*GR*) berasal dari unsur-unsur radioaktif yang ada dalam batuan yaitu Uranium – U, Thorium – Th, dan Potasium – K, yang secara *continue* memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa – pulsa energi radiasi tinggi. Sinar Gamma ini mampu menembus batuan dan dideteksi oleh sensor sinar gamma yang umumnya berupa detektor sintilasi. Setiap *GR* yang terdeteksi akan menimbulkan pulsa listrik pada detektor. Parameter yang direkam adalah jumlah dari pulsa yang tercatat per satuan waktu (Harsono, 1993).

Karena Uranium, Thorium dan Potasium terkonsentrasi secara besar didalam mineral lempung maka *log gamma ray* digunakan secara luas dalam

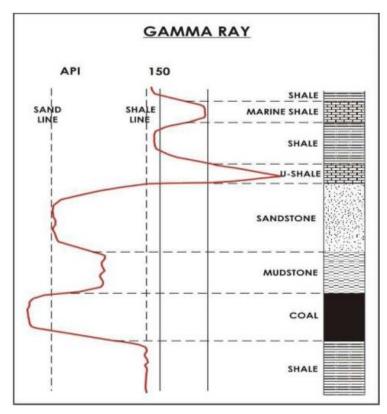
interpretasi batuanpasir dan lempung. *Log gamma ray* dapat digunakan untuk mendeteksi mineral-mineral radioaktif, seperti biji potasium atau uranium. *Log gamma ray* juga dapat digunakan untuk mendeteksi mineral-mineral yang tidak radioaktif, termasuk lapisan batubara.

Log gamma ray digunakan secara luas untuk korelasi pada sumur-sumur. Korelasi dari sumur ke sumur sering dilakukan dengan menggunakan log gamma ray, dimana sejumlah tanda-tanda perubahan litologi hanya terlihat pada log gamma ray.

Ringkasan dari kegunaan *log gamma ray* adalah:

- 1. Evaluasi kandungan serpih/shale(Vsh);
- 2. Evaluasi bijih mineral radioaktif;
- 3. Evaluasi lapisan mineral yang bukan radioaktif;
- 4. Korelasi log pada sumur berselubung;

Dalam eksplorasi batubara, untuk penafsiran litologi dengan menggunakan log gamma ray, BPB (1981) membuat sebuah model sand base line dan shale base line yang dapat dilihat pada Gambar 5 langkah awal dalam penafsirannya adalah dengan membuat sand base line dan shale base line untuk membantu dalam menginterpretasikan batuan pengapit dari seam yang dianalisa. Sand base line adalah garis lurus yang ditarik pada log gamma ray yang menunjukkan batas penginterpretasian litologi pasir. Sedangkan shale base line adalah garis lurus yang ditarik pada log gamma ray yang digunakan sebagai batas penarikan litologi lempung. Pada Gambar 5 merupakan ilustrasi penentuan shale base line dan sand base line.



Gambar 5. Penentuan penarikan *Sand Base Line* dan *Shale Base Line* (BPB,1981 dalam eksplorasi batubara oleh Kuncoro, 1996).

Litologi batupasir menunjukkan pola *gamma ray* yang cenderung lurus, bernilai kecil, yang berada atau lebih kecil dari *sand base line* begitu pula lapisan batubara memiliki pola *gamma ray* yang lebih kecil dibandingkan dengan batupasir.

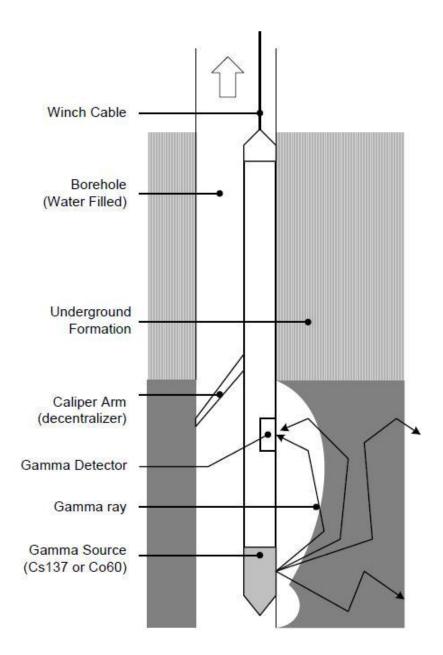
Batulumpur menunjukkan pola *gamma ray* yang relatif lurus, bernilai besar, yang berada di sekitar atau lebih besar dari *shale base line*. Batulumpur adalah batuan yang tidak dapat di interpretasikan secara pasti apakah memiliki ukuran butir lanau atau lempung dimana pola lognya berada diantara *sand base line* dan *shale base line*. Nilai ekstrim curam dan besar yang ditunjukkan oleh pola *gamma ray* menunjukkan litologi yang sangat halus atau *marine shale* (Harsono,1993).

2. Log Density

Prinsip kerja log densitas (Harsono, 1993), yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur dipancarkan sinar gamma dengan intensitas energi tertentu menembus formasi/batuan. Batuan terbentuk dari butiran mineral, mineral tersusun dari atom-atom yang terdiri dari proton dan elektron. Partikel sinar gamma membentur elektron-elektron dalam batuan. Akibat benturan ini sinar gamma akan mengalami pengurangan energi (*loose energy*). Energi yang kembali sesudah mengalami benturan akan diterima oleh detektor yang berjarak tertentu dengan sumbernya. Makin lemahnya energi yang kembali menunjukkan makin banyaknya elektron-elektron dalam batuan, yang berarti makin banyak/padat butiran/mineral penyusun batuan persatuan volume. Besar kecilnya energi yang diterima oleh detektor tergantung dari:

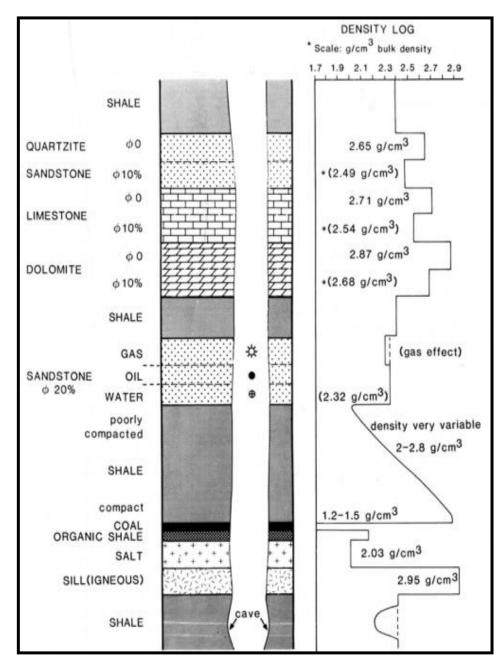
- 1. Besarnya densitas matriks batuan.
- 2. Besarnya porositas batuan.
- 3. Besarnya densitas kandungan yang ada dalam pori-pori batuan.

Prinsip dari pengukuran log densitas diilustrasikan pada Gambar 6,



Gambar 6. Prinsip Pengukuran log densitas.

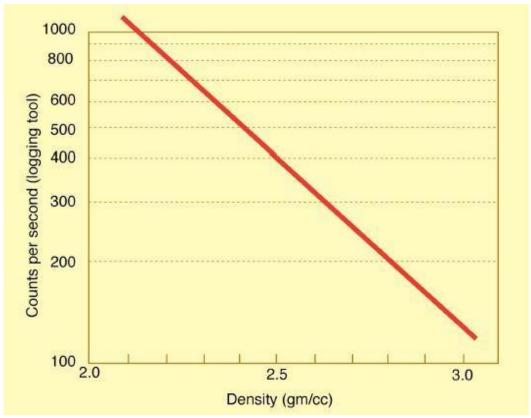
Dalam densitas log kurva dinyatakan dalam satuan gr/cc, karena energi yang diterima untuk deflektor dipengaruhi oleh matrik batuan ditambah kandungan yang ada dalam pori batuan, maka satuan gr/cc merupakan besaran *bulk density* (ρb). Gambar 7 merupakan beberapa respon yang khas pada log densitas dalam satuan gr/cc.



Gambar 7. Beberapa respon yang khas pada log densitas.

Pada penelitian yang dilakukan, satuan dari log densitas adalah *counts per second (CPS)* untuk memudahkan perhitungan maka dilakukan kalibrasi satuan dari *CPS* ke gr/cc. Nilai satuan *CPS* berbanding terbalik dengan nilai satuan gr/cc. Apabila defleksi log dalam satuan *CPS* menunjukkan nilai yang tinggi, maka akan menunjukkan nilai yang rendah dalam satuan gr/cc.

Pemanahan adalah apabila nilai dalam *CPS* tinggi berarti sinyal radioaktif yang ditangkap kembali oleh sensor juga tinggi, hal ini disebabkan sinyal radioaktif yang mengukur kerapatan elektron batuan hanya sedikit, karena kerapatan elektron batuan hanya sedikit atau rendah maka nilai kerapatan massa batuan dalam gr/cc juga rendah, sebaliknya apabila nilai dalam *CPS* rendah berarti sinyal radioaktif yang mengukur kerapatan elektron batuan lebih banyak atau tinggi sehingga rapat massa batuan dalam gr/cc juga lebih tinggi.



Gambar 8. Hubungan antara satuan CPS dan gr/cc (Warren, 2002).

Berdasarkan Gambar 8 dapat diperoleh dengan persamaan (1), sebagai berikut:

$$Y = 177598 e^{-2.4325^{x}} (1)$$

Keterangan:

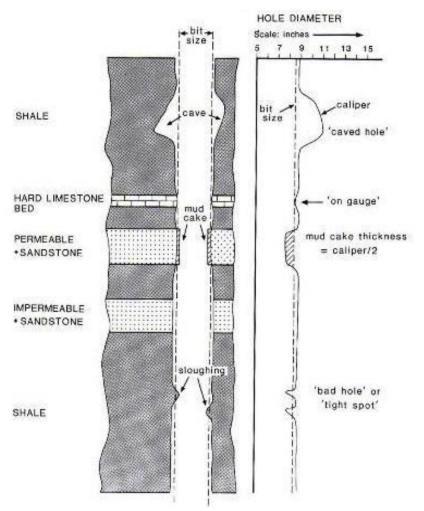
Y: nilai densitas dalam satuan CPS.

X: nilai densitas dalam satuan gr/cc.

3. Log Calliper

Log Calliper adalah alat untuk mengukur diameter dan bentuk suatu lubang bor. Alat ini memiliki 2,4 atau lebih lengan yang dapat membuka di dalam lubang bor. Pergerakan lengan-lengan ini pada lubang akan diubah menjadi signal elektrik oleh potentiometer. Dalam sebuah lubang bor, diameter bersifat heterogen dari atas hingga dasar karena adanya efek tekanan dari lapisan batuan yang berbeda-beda akibat gaya tektonik. Kondisi ini yang menjadikan perbedaan dalam jumlah lengan calliper. Pada lubang yang lebih oval, dua lengan calliper akan saling mengunci pada sumbu terpanjang dari oval, sehingga akan memberikan hasil diameter yang lebih besar dibandingkan seharusnya. Akibatnya, diperlukan calliper dengan lengan yang lebih banyak.

Hasil *logging calliper* diplot pada suatu trek yang menggunakan ukuran *drilling bit* sebagai perbandingan atau dengan menggambarkan selisih hasil pembacaan *calliper* terhadap ukuran *bit* diameter. Pada grafik *logging*, dapat ditemukan titik tertentu yang mengindikasikan volume dari lubang bor. Informasi ini berguna dalam mengestimasi jumlah lumpur pemboran di dalam lubang bor dan jumlah semen yang dibutuhkan untuk *casing* lubang. Dalam memenuhi kebutuhan ini, terdapat perhitungan matematis untuk memperolehnya. Gambar 9 dibawah ini merupakan contoh interpretasi pada log calliper



Gambar 9. *Log calliper* yang menggambarkan keadaan diameter *borehole* (Martono, 2004).

Secara umum, *log calliper* dapat digunakan untuk kebutuhan sebagai berikut:

- 1. Membantu interpretasi litologi bawah permukaan,
- 2. Indikator zona permeabilitas dan porositas akibat adanya *mudcake*,
- 3. Menghitung tebal mudcake,
- 4. Menghitung volume lubang bor,
- 5. Menghitung kebutuhan semen untuk *casing*,
- 6. Indikasi kualitas lubang bor;

7. Membantu menentukan formasi terkonsolidasi dan kedalaman pemasangan *casing* dan lain sebagainya.

C. Klasifikasi Sumberdaya Batubara

Keberadaan bahan galian di dalam perut bumi dapat diketahui dari sejumlah indikasi adanya bahan galian tersebut di permukaan bumi. Keadaan seperti demikian memberikan kesempatan kepada para ahli untuk melakukan penyelidikan lebih lanjut, baik secara geologi, geofisika, pemboran maupun lainnya. Penyelidikan secara geologi pada dasarnya belum dapat menentukan secara teliti dan kuantitatif informasi mengenai bahan galian tersebut, akan tetapi sudah dapat dikategorikan adanya sumberdaya (resource). Bila penyelidikan dilakukan secara lebih teliti, yaitu dengan menggunakan berbagai macam metode (geofisika, geokimia, pemboran dan lainnya), maka bahan galian tersebut sudah dapat diketahui dengan lebih pasti, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Dengan demikian bahan galian dapat dikategorikan sebagai cadangan (reserve).

Sumberdaya batubara adalah bagian dari endapan batubara yang diharapkan dapat dimanfaatkan dan diolah lebih lanjut secara ekonomis. Sumberdaya ini dapat meningkat menjadi cadangan setelah dilakukan kajian kelayakan dan dinyatakan layak untuk ditambang secara ekonomis dan sesuai dengan teknologi yang ada.

Klasifikasi Sumberdaya (resource) batubara dikategorikan sebagai berikut:

1. Sumberdaya Batubara Hipotetik (Hypothetical Coal Resource) adalah jumlah batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah

- penyelidikan, yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap penyelidikan survei tinjau.
- 2. Sumberdaya Batubara Tereka (*Inferred Coal Resource*) adalah jumlah batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan, yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap penyelidikan prospeksi.
- 3. Sumberdaya Batubara Tertunjuk (*Indicated Coal Resource*) adalah jumlah batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan, yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap eksplorasi pendahuluan.
- 4. Sumberdaya Batubara Terukur (*Measured Coal Resource*) adalah jumlah batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan, yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap eksplorasi rinci.
- 5. Sumberdaya Batubara Kelayakan (Feasibility Coal Resource) adalah sumberdaya batubara yang dinyatakan berpotensi ekonomis dari hasil Studi Kelayakan atau suatu kegiatan penambangan yang sebelumnya yang biasanya dilaksanakan di daerah Ekplorasi Rinci.
- 6. Sumberdaya Batubara Pra Kelayakan (*Prefeasibility Coal Resource*) adalah sumberdaya batubara yang dinyatakan berpotensi ekonomis dari hasil Studi Pra Kelayakan yang biasanya dilaksanakan di daerah Eksplorasi Rinci dan Eksplorasi Umum. Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara adalah upaya pengelompokan sumberdaya dan cadangan batubara berdasarkan keyakinan geologi dan kelayakan ekonomi.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung pada bulan Desember-Januari 2015 dengan tema "Identifikasi pola sebaran *seam* dan perhitungan sumberdaya batubara menggunakan interpretasi data log geofisika pada lapangan "F" Lahat, Sumatera Selatan". Berikut adalah tabel kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kegiatan Penelitian

| | Kegiatan | Bulan ke-1 | | | | Bulan ke-2 | | | |
|-----|-----------------------|------------|---|---|---|------------|---|---|---|
| No. | | Minggu ke- | | | | Minggu ke- | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Studi Literatur | | | | | | | | |
| 2. | Pengumpulan Data | | | | | | | | |
| 3. | Interpretasi Data | | | | | | | | |
| 4. | Pengolahan Data | | | | | | | | |
| 5. | Penyusunan Laporan | | | | | | | | |

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data log sumur, peta sebaran drill hole, peta geologi daerah penelitian, data topografi daerah penelitian, Software Strater 4, Software WellCad, Software Rockworks 15, Software Global Mapper, Software Surfer, Software ArcGis, Personal Computer (PC), literatur pustaka, alat tulis dan alat pendukung lainnya.

C. Metode Penelitian

1. Interpretasi data log

Data log sumur yang dimiliki berupa .LAS file, yang selanjutnya dilakukan interpretasi dan diolah dengan menggunakan *Software WellCAD* untuk dapat mendapatkan tampilan grafik log sumur yang terdiri dari *log gamma ray, log calliper* dan *log density*. Grafik log diinterpretasi litologi bantuannya berdasarkan besar kecilnya nilai *log gamma ray, log calliper* dan *log density*.

2. Korelasi penampang 2D

Setelah Mengetahui litologi pada masing-masing *drill hole*, langkah selanjutnya adalah melakukan korelasi penampang untuk melihat kondisi bawah permukaan dan melihat penyebaran lapisan batubara.

3. Pemodelan 3D

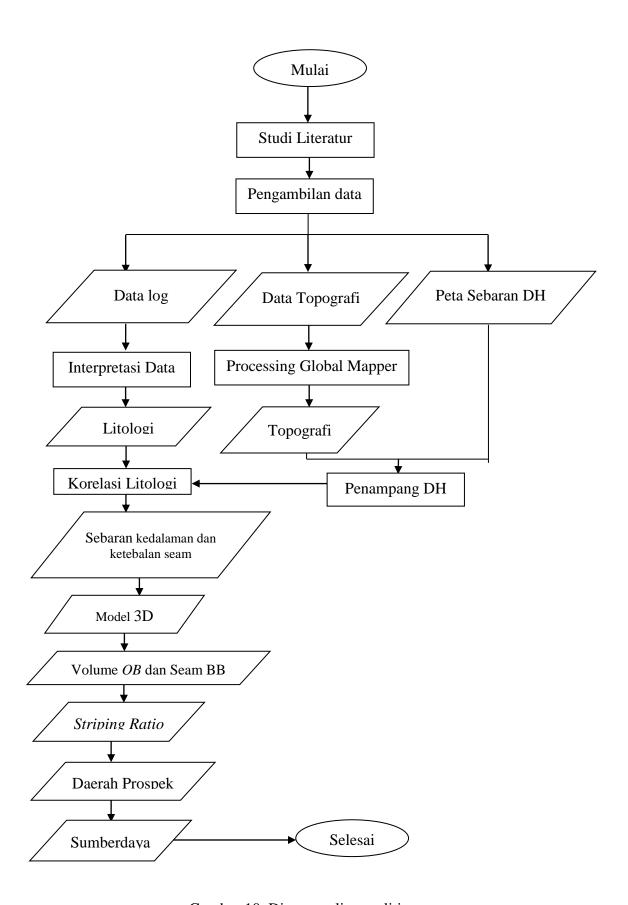
Setelah mengetahui sebararan kedalaman dan juga ketebalan lapisan, maka dilakukan pemodelan secara 3D untuk menghitung volume batubara dan juga volume litologi lainnya. Untuk pemodelan digunakan bantuan *software Rockworks 15* dengan mengimport data sebaran *drill hole*, elevasi dan litologi masing-masing *drill hole* yang sudah diinterpretasi sebelumnya dengan *software WellCAD*.

4. Analisis Nisbah Pengupasan (Striping Ratio)

Setelah mendapatkan volume pada masing-masing litologi, selanjutnya dilakukan analisis nisbah pengupasan. Analisis dilakukan untuk melihat seberapa banyak tanah penutup yang akan disingkirkan untuk mendapatkan batubara. Analisis dilakukan pada masing-masing *seam*. Selanjutnya menghitung sumberdaya batubara pada daerah penelitian dengan cara menjumlahkan volume dari 3 *seam* yang ditemukan.

5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 10,



Gambar 10. Diagram alir penelitian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah

- Litologi penyusun daerah penelitian adalah Batupasir, Batulumpur dan batubara. Pola sebaran Seam batubara pada daerah penelitian memiliki pola sebaran dari Utara ke Selatan.
- 2. Penyebaran *seam* batubara terbanyak terdapat pada *seam* C yang ditemukan pada 19 lubang bor dari 22 lubang bor yang diteliti. *Seam* A dan *Seam* B memiliki penyebaran yang sama yang ditemukan pada 14 lubang bor. *Seam* yang paling tebal adalah *seam* B dan seam yang paling tipis adalah *seam* C.
- 3. Nilai *Stripping Ratio (SR)* pada daerah penelitian adalah 1:2,4. *Seam* B merupakan *seam* yang paling potensial karena memiliki volume batubara paling tebal yaitu sebesar 12,200,800 m³ dan tebal overburden sebesar 7,333,500 m³ dengan nilai *stripping ratio* paling kecil yaitu 1:0,6. *Seam* A merupakan seam yang paling atas memiliki sumberdaya batubara sebesar 8,755,100 m³ dan overburden sebesar 24,625,600 m³ dengan nilai *stripping ratio sebesar 1:2,8. Seam* C memiliki volume 6,730,800 m³ dengan tanah

penutup sebesar 35,121,100 m³ dan perbandingan *stripping ratio* sebesar 1:2,4.

4. Total sumberdaya Batubara pada daerah penelitian adalah sebesar 27,686,700 m³ dan total tanah penutupnya sebesar 67,080,200 m³ dengan luas area penelitian 1.020.000 m².

B. Saran

Adapun saran saran dari penulis untuk penelitian yang lebih baik adalah

- Dalam menghitung sumberdaya batubara diperlukan sumur eksplorasi yang lebih banyak lagi dan juga memiliki kerapatan antar sumur yang tidak jauh supaya mendapatkan volume yang mendekati nilai sebenarnya.
- Untuk mengetahui litologi bawah permukaan secara pasti diperlukan data hasil pengeboran yang berupa sampel batuan, sehingga dapat dilihat dengan jelas jenis apakah batuan penyusunnya.
- Diperlukan data batubara hasil dari analisis laboratorium untuk mengetahui kualitas batubara. Untuk menentukan nilai ekonomis diperlukan nilai dari kualis batubara.
- 4. Diperlukan data geokimia batubara untuk meningkatkan potensi batubara dari sumberdaya menjadi cadangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggayana, K. 2002. *Genesa Batubara*. Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Ilmu Kebumian dan teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung. Bandung. Indonesia.
- De Coster, G.L. 1974. *The Geology of the Central and South Sumatera Basin*. Indonesia Petroleum Association (IPA), 3 rd Ann. Conv, Proceeding.
- Diessel, C.F.K. 1992. *Coal Bearing Depositional Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Fadarina. 1997. Pengaruh Temperatur Proses dan Kadar Tembaga Terhadap Penurunan Leges dan Kenaikan Kalor Batubara Kalsel. Institut Teknologi Bandung.
- Gafoer, S., Cobrie, T., dan Purnomo, J. 1986. *Geologi Lembar Lahat, Sumatera*. Puslitbang Geologi: Bandung.
- Ginting, D. 2010. *Kebijakan Dan Prospek Pengelolaan Batubara Di Indonesia*. Buletin Sumber Daya Geologi Volume 5 Nomor 1.
- Harsono, A. 1993. Pengantar Evaluasi Log, Schlumberger Data Services. Jakarta.
- Harsono, A. 1997. Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log, Schulberger oilfield service, Kuningan, Jakarta.
- Heidrick dan Aulia., 1993. A Structural and Tectonic Model of The Coastal Plains Block, Cental Sumatra Basin. Jakarta: IPA.
- Heryanto, R. 2007. *Karakteristik Batubara di Cekungan Bengkulu*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 4 Desember 2007.
- Iswati, Y. 2012. Analisis Core dan Defleksi Log Untuk Mengetahui Lingkungan Pengendapan dan Menentukan Cadangan Batubara Di Banko Barat Pit 1, Sumatera Selatan

- Kusnama., dan Panggabean, H. 2009. *Karakteristik Batubara dan Batuan Sedimen Pembawanya, Formasi Talang Akar, di Daerah Lampung Tengah.* Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No. 2 juni 2009: 133-144
- Martono, H.S. 2004. Prinsip Pengukuran Logging (Dokumen RecsaLOG). Bandung.
- Kuncoro. 1996. *Penarikan sand base line dan shale base line (BPB)*, 1981 dalam Eksplorasi Batubara.
- Koesoemadinata. 1978. *Geologi Minyak Bumi dan Gas Bumi. Edisi Kedua Jilid I.* Bandung: Penerbit ITB.
- Sari, N.L. 2009. Potensi Batubara Indonesia, Jurnal Lingkungan, Agustus, 2009
- Sasmito, K. 2014. Geologi dan Pola Sebaran Batubara Daerah Separi Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Ilmiah MTG, Vol. 7, No. 1, Januari 2014.
- SNI. SNI 13-5014-1998. *Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Batubara*. Tersedia pada http://www.dim.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/SNI_13-5104-1998.pdf. Diakses pada 1 December 2015.
- Suardi, U. 2012. Identifikasi Penyebaran dan Analisis Stripping Ratio (Sr) Seam Batubara dengan Menggunakan Data Geofisika Logging Pada Area Pit-3 Konsesi Tambang Batubara Di Kohong – Kalimantan Tengah
- Sukandarrumidi. 1995. *Batubara dan Gambut*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Pratiwi, R. 2013. Pengaruh Struktur dan Tektonik Dalam Prediksi Potensi Coal Bed Methane Seam Pangadang-A, Di Lapangan "DIPA", Cekungan Sumatera Selatan, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Prodi Teknik Geologi, Universitas Dipononegoro.
- Putro, S.D., Santoso, A., dan Hidayat, W. 2000. Analisa Log Densitas Dan Volume Shale Terhadap Kalori, Ash Content Dan Total Moisture Pada Lapisan Batubara Berdasarkan Data Well Logging Daerah Banko Pit 1 Barat, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Prodi Teknik Geofisika, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Warren, J. 2002. Well Logging,
- Yulhendra, D., dan Anaperta, Y.M. 2013. *Estimasi Sumberdaya Batubara Dengan Menggunakan Geostatistik (Krigging)*. Jurnal teknologi informasi & pendidikan issn: 2086 4981 vol. 6 no. 2 september 2013