

**EVALUASI PENDAHULUAN POTENSI *UNDERGROUND COAL GASIFICATION*  
DI CEKUNGAN SUMATRA SELATAN:  
STUDI KASUS BATUBARA FORMASI MUARA ENIM**

***A PRELIMINARY EVALUATION OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION POTENTIAL  
IN THE SOUTH SUMATRA BASIN:  
A CASE STUDY OF THE MUARA ENIM COAL FORMATION***

**Eska P. Dwitama, M. Rizki Ramdhani dan R. Maria Ulfa**  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi  
eska.dwitama@esdm.go.id

**ABSTRAK**

Salah satu cara memanfaatkan batubara bawah permukaan adalah dengan cara mengonversinya ke dalam bentuk gas yang lebih ramah lingkungan melalui metode *underground coal gasification* (UCG). Cekungan Sumatra Selatan adalah salah satu cekungan batubara produktif di Indonesia. Kegiatan evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui lokasi potensi batubara yang cocok untuk pengembangan UCG. Evaluasi potensi batubara Indonesia untuk pengembangan UCG di cekungan ini, dilakukan dengan cara mengarakterisasi lapisan batubaranya. Batubara cekungan Sumatra Selatan di Daerah Bayung Lencir, Muara Kilis, dan Srijaya Makmur dievaluasi karakteristiknya untuk melihat potensi UCG pada batubara tersebut. Parameter karakteristik yang dievaluasi meliputi peringkat, ketebalan, kemiringan dan kedalaman lapisan batubara, rasio kedalaman dan ketebalan lapisan batubara, batuan pengapit berikut ketebalannya, kondisi hidrogeologis (posisi batubara terhadap akuifer), struktur geologi serta sumber daya batubara. Hasil evaluasi menunjukkan, berdasarkan karakteristik batubaranya, daerah Bayung lencir merupakan daerah yang cocok untuk pengembangan UCG.

**Kata kunci:** karakteristik batubara, *underground coal gasification* (UCG), Cekungan Sumatra Selatan, Formasi Muaraenim

**ABSTRACT**

*The Underground coal gasification (UCG) is one approach to make use of deep-seated coal by converting it to a more environmentally friendly gas. The South Sumatra Basin is one of Indonesia's productive coal basins. The objective of this study is to find a suitable coal deposit for the development of UCG. Characterizing the coal seams is used to evaluate the potential of Indonesian coal for UCG development in this area. Coal from the Bayung Lencir, Muara Kilis, and Srijaya Makmur areas were evaluated to see if there was any possibility for UCG in these coals. Coal rank, coal thickness, slope and depth of coal seams, the ratio of depth and thickness of coal seam, type of floor and roof rocks and their thickness, hydrogeological conditions (position of coal against aquifers), geological structure, and coal resources were among the parameters evaluated. Based on the parameters of the coal, the evaluation results reveal that Bayung Lincir is suitable area for UCG development.*

**Keywords:** coal characteristics, *underground coal gasification* (UCG), South Sumatra Basin, Muaraenim Formation

## PENDAHULUAN

Batubara di Indonesia sebagian besar merupakan batubara peringkat rendah hingga sedang, baik yang dapat ditambang secara terbuka maupun tambang dalam. Berdasarkan data neraca batubara tahun 2020 sumber daya batubara bawah permukaan, yaitu yang berada pada kedalaman 100-500 meter adalah sebesar 43,533 miliar ton dengan total cadangan 173,51 juta ton (PSDMBP, 2020). Batubara-batubara yang berada pada kedalaman lebih dari 100 meter dan tidak dapat ditambang secara terbuka tersebut dapat dimanfaatkan, salah satunya dengan metode *underground coal gasification* (UCG).

UCG merupakan teknologi pemanfaatan batubara yang dilakukan melalui konversi batubara secara *in-situ* dengan cara menyuntikkan udara atau oksigen melalui sumur injeksi untuk membakar lapisan batubara, yang kemudian dihasilkan gas untuk dialirkan melalui sumur produksi, selanjutnya diolah menjadi bahan bakar gas dan bahan penggunaan industri kimia lainnya (Burton *et al.*, 2006). Sampai saat ini penelitian dan pengembangan UCG telah dilakukan di berbagai negara seperti Tiongkok, Uzbekistan, Amerika Serikat, Australia, Polandia, Afrika Selatan dan negara lainnya termasuk Indonesia (Yang *et al.* 2014), seperti terlihat pada Gambar 1. Dari sekian banyak lapangan uji coba UCG di dunia, baru satu lokasi yang terbukti dapat dikembangkan secara komersial dan bertahan hingga saat ini, yaitu di Angren, Uzbekistan.

Di Indonesia, UCG merupakan salah satu metoda pengembangan dan pemanfaatan batubara yang tercantum dalam UU no 3 2020. Hingga saat ini, kajian yang berhubungan dengan potensi batubara Indonesia untuk pengembangan UCG masih sangat terbatas. Evaluasi awal potensi UCG ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui lokasi potensi batubara yang

cocok untuk pengembangan UCG. Evaluasi dilakukan pada wilayah dengan potensi batubara bawah permukaan (100-500 meter) di beberapa lokasi pada Cekungan Sumatra Selatan. Cekungan Sumatra Selatan dipilih karena merupakan salah satu cekungan penghasil batubara terbesar di Indonesia dengan data batubara bawah permukaan cukup memadai.

Studi evaluasi UCG ini dilakukan dengan menggunakan data hasil eksplorasi batubara bawah permukaan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) di Cekungan Sumatra Selatan, yaitu: data eksplorasi Bayung Lencir, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatra Selatan (Simatupang, dkk., 2012); Muara Kilis, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi (Simatupang, dkk., 2013); dan Srijaya Makmur, Kabupaten Musi Rawas, Provinsi Sumatra Selatan (Tobing, 2014). Kegiatan evaluasi difokuskan pada karakterisasi batubara di tiga daerah tersebut dan tidak mencakup teknologi UCG yang berkembang saat ini dan kemungkinan aplikasinya di Indonesia.

## METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam evaluasi potensi batubara untuk pengembangan UCG adalah studi pustaka, pembuatan parameter evaluasi, serta evaluasi data sesuai parameter yang telah ditentukan. Studi pustaka mencakup pengumpulan data sekunder hasil pengeboran berupa data log bor, data hasil analisis laboratorium, peta sebaran batubara dan laporan hasil kegiatan eksplorasi. Selanjutnya, data-data tersebut diolah dan dihubungkan dengan kriteria dan parameter pemilihan lokasi untuk pengembangan UCG. Hasil akhir berupa karakteristik batubara daerah evaluasi dihubungkan dengan parameter evaluasi serta rekomendasi wilayah prospek untuk pengembangan UCG.



**Gambar 1.** Lokasi-lokasi penelitian dan pengembangan UCG di dunia. Tanda bintang merupakan lokasi UCG yang komersial (dimodifikasi dari Yang *et al.*, 2014)

**GEOLOGI REGIONAL**

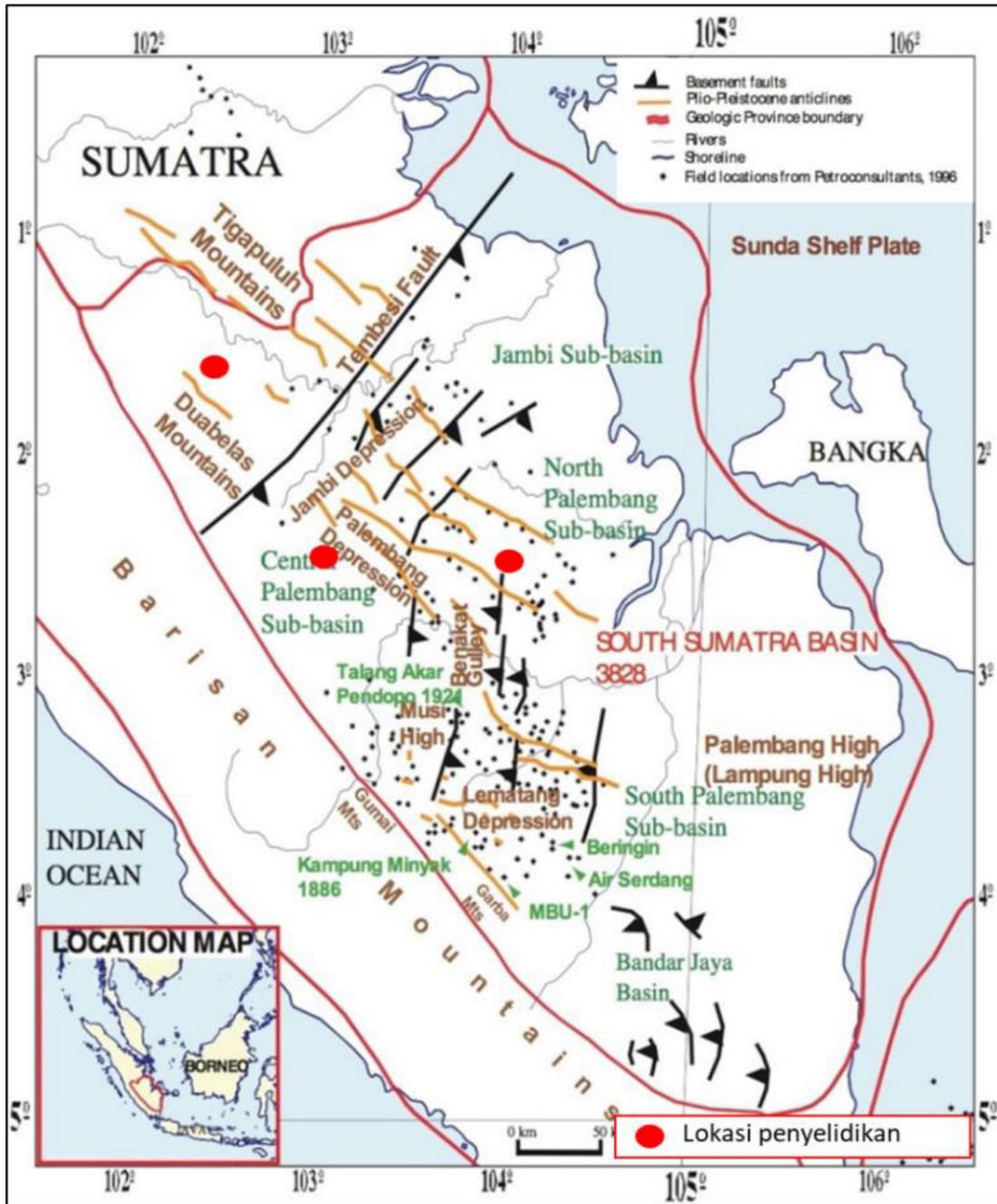
Pulau Sumatra terletak di sebelah barat daya Kontinen *Sundaland* dan merupakan jalur konvergensi antara Lempeng Hindia-Australia yang menyusup di sebelah barat Lempeng *Sundaland* atau Lempeng Eurasia. Konvergensi lempeng menghasilkan subduksi sepanjang Palung Sunda dan pergerakan lateral manganan dari Sistem Sesar Sumatra (Darman dan Sidi, 2000). Secara regional, daerah evaluasi termasuk dalam Cekungan Sumatra Selatan (Gambar 2). Cekungan ini terletak di sebelah timur Bukit Barisan dan menerus hingga ke timur laut hingga bagian lepas pantai. Cekungan ini merupakan cekungan belakang busur (Darman dan Sidi, 2000). Cekungan ini dibatasi oleh Tinggian Palembang dan Lampung di sebelah selatan. Tinggian ini juga memisahkan cekungan ini dengan Cekungan Sunda dan membatasi penyebaran batuan sedimen dari sumbernya pada saat Mesozoikum hingga

Tersier. Pada bagian utara, cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Tigapuluh yang juga memisahkannya dari Cekungan Sumatra Tengah. Pada bagian barat, cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Barisan berumur Plio- Plistosen (Bishop, 2001).

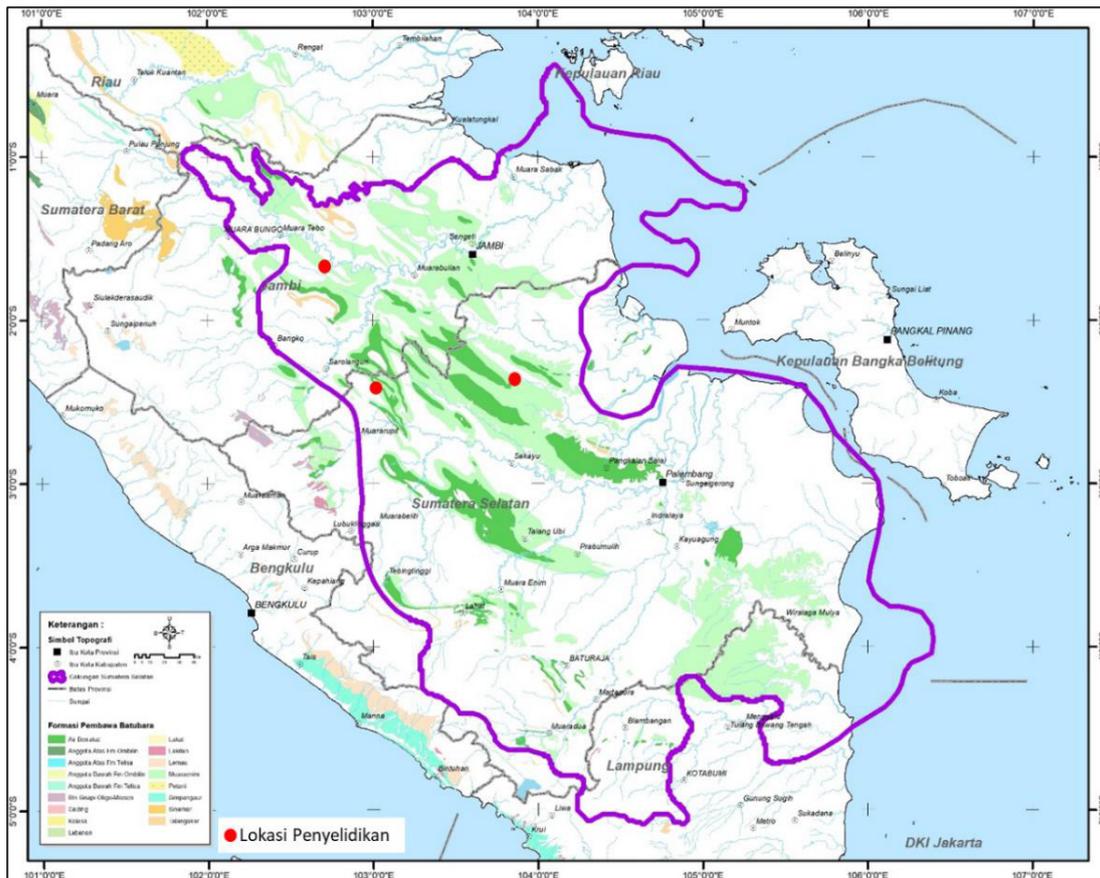
Stratigrafi daerah evaluasi merujuk pada Bishop (2001), peta geologi skala 1:250.000 Lembar Palembang oleh Gafoer dkk. (1995), Lembar Sarolangun oleh Suwarna dkk. (1994) dan Lembar Muarabungo oleh (Simanjuntak dkk., 1994). Kegiatan evaluasi difokuskan pada Formasi Muaraenim. Formasi ini merupakan formasi pembawa batubara utama di Cekungan Sumatra Selatan. Penyebaran Formasi Muaraenim (berwarna hijau muda pada Gambar 3) cukup luas pada Cekungan Sumatra Selatan, mencakup Provinsi Jambi di utara, hingga Provinsi Sumatra Selatan dan Provinsi Lampung di Selatan. Shell Mijnbouw (1978) membagi Formasi

Muaraenim atas empat anggota, yaitu: M1, M2, M3 dan M4. Pembagian tersebut didasarkan atas keberadaan lapisan-lapisan batubara tertentu pada masing-masing anggota tersebut. Menurut Shell Mijnbouw (1978), Merapi dan Keladi merupakan lapisan batubara utama pada

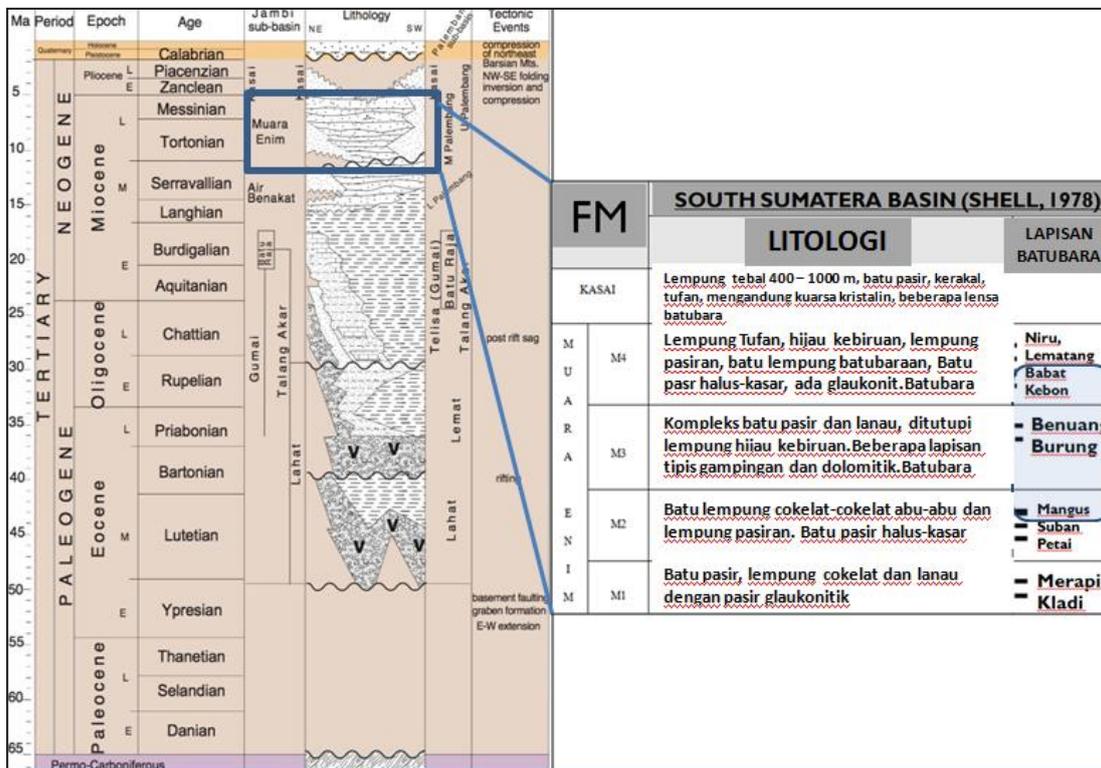
Anggota M1. Anggota M2 memiliki tiga lapisan utama batubara, yaitu Mangus, Suban dan Petai. Sementara lapisan batubara utama anggota M3 adalah Benuang dan Burung serta lapisan batubara anggota M4 adalah Niru, Lematang, Babat dan Kebon (Gambar 4).



**Gambar 2.** Tektonik Cekungan Sumatra Selatan (Bishop, 2001)



Gambar 3. Peta Sebaran Formasi Pembawa Batubara Cekungan Sumatra Selatan



Gambar 4. Kolom stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan (Bishop, 2001) dan Anggota Formasi Muara Enim (Shell Mijnbouw, 1978)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter kriteria Evaluasi UCG

Untuk penyediaan data awal dan pemilihan lokasi untuk pengembangan UCG terdapat beberapa kriteria atau parameter yang perlu diperhatikan (Tabel 1).

Berikut penjelasan untuk masing-masing parameter:

### Peringkat Batubara

Berdasarkan karakteristik struktur organik, batubara peringkat rendah lebih reaktif dibandingkan batubara peringkat tinggi, sehingga menjadi material yang baik bagi konversi kimia, seperti gasifikasi (Odeh, 2017). Berdasarkan hal tersebut peringkat batubara yang dianggap baik untuk UCG adalah batubara peringkat rendah, lignit

hingga subbituminus. Batubara peringkat tinggi seperti bituminus dapat dimanfaatkan untuk UCG, asalkan tidak memiliki sifat *coking/caking*. Dengan demikian peringkat batubara yang dapat dimanfaatkan untuk UCG adalah batubara lignit-bituminus *non-coking*. Dalam klasifikasi batubara Indonesia berdasarkan nilai kalori (Tabel 1), jenis batubara tersebut termasuk pada kategori batubara kalori rendah-tinggi. Untuk memilih jenis batubara dengan peringkat tersebut diatas, pemilahan awal dilakukan dengan cara mendata batubara dengan nilai kalori kurang dari 6.100 kal/gr (<6.100 kal/gr, adb). Untuk batubara dengan kalori lebih dari 6.100 kal/gr (>6.100 kal/gr, adb) perlu dilakukan analisis tambahan untuk melihat apakah batubara tersebut bersifat *coking/caking* atau tidak.

**Tabel 1.** Kriteria batubara untuk UCG (disarikan dari berbagai sumber: Sury *et al.* (2004), Shafirovich *et al.* (2008), Shafirovich dan Varma (2009), Couch (2009), Imran *et al.* (2012), Zulfahmi (2014), Madiutomo (2014), Huda (2014), Bielowicz dan Kasinski, (2015) dan komunikasi personal dengan Huda dan Andrey Chernisov (2019))

| No. | Kriteria   | Kondisi Minimum  |
|-----|--|--|
| 1.  | Peringkat batubara dan parameternya                      | Lignit-bituminus <i>non-coking</i>   |
|     | Nilai kalori   | <6.100 kal/gr (kalori rendah-sedang) dan jika >6.100 kal/gr perlu dilakukan analisis <i>coking</i>                             |
| 2.  | Ketebalan batubara                                       | >2 meter, untuk lignit (nilai kalori <5.100 kal/gr) tebalnya >3,5 meter  |
| 3.  | Posisi kedalaman   | >120 meter   |
| 4.  | Rasio kedalaman dan ketebalan batubara                   | Kedalaman 120-200 meter rasio 22, kedalaman 200-300 meter rasio 18, kedalaman 300-400 meter rasio 15, kedalaman >400 rasio 15. |
| 5.  | Kemiringan lapisan                                       | Baiknya <20°, batasnya <65°  |
| 6.  | Batuan pengapit ( <i>roof</i> dan <i>underburden</i> )   | Impermeabel (batulempung dan batulanau)  |
| 7.  | Ketebalan batuan pengapit                                | <i>Roof</i> 2 kali tebal batubaranya, <i>floor</i> 1 kali tebal batubaranya  |
| 8.  | Kondisi hidrogeologis (posisi batubara terhadap akuifer) | >30 meter/25 kali tebal batubaranya (tergantung tebal <i>roof</i> yang impermeabel)  |
| 9.  | Struktur geologi   | Kondisi struktur sederhana, tidak ada rekahan atau sesar yang memengaruhi. Direkomendasikan terletak pada lipatan sinklin      |
| 10. | Sumber batubara daya                                     | Minimum 2,5 juta ton pada area 1 km <sup>2</sup>   |
| 11. | Jarak dari bukaan tambang                                | 300 meter mengikuti arah kemiringan lapisan  |

**Ketebalan Batubara**

Beberapa ahli memiliki pendapat yang berbeda mengenai ketebalan minimum batubara untuk pengembangan UCG. Gastech (dalam Shafirovich dan Varma, 2009), mengindikasikan bahwa ketebalan optimal untuk UCG adalah lebih dari 10 meter, Ergo Exergy (dalam Shafirovich dan Varma, 2009) berpendapat bahwa UCG dapat diaplikasikan pada batubara berketebalan minimum 0,50 meter. Sementara *Former Soviet Union Project* memperlihatkan terjadi penurunan nilai panas yang menghasilkan gas pada ketebalan batubara di bawah 2 meter (Shafirovich dan Varma, 2009). Beberapa pendapat lain, mensyaratkan ketebalan batubara minimum 2 meter (diutamakan 5-10 m, Couch, 2009; Sury *et al.*, 2004), dengan ketebalan optimal dinilai sekitar 2-4 meter (Bielowicz dan Kasinski, 2015). Dalam menentukan ketebalan lapisan, hal lain yang perlu diperhatikan adalah peringkat batubaranya. Jika menggunakan batubara peringkat lignit (diasumsikan memiliki nilai kalori kurang dari 5.100 kal/gr) ketebalan minimum batubara yang dinilai baik untuk pengembangan UCG adalah 3,5 meter (komunikasi personal dengan Huda dan Andrey Chernisov, 2019).

**Posisi Kedalaman Batubara**

Kedalaman lapisan batubara beberapa proyek UCG dunia cukup bervariasi, mulai dari 12 meter hingga 1.200 meter (Burton *et al.*, 2006; Shafirovich & Varma, 2009). Di Indonesia, saat ini batubara mulai permukaan hingga kedalaman 100 meter dimanfaatkan untuk tambang terbuka. Untuk mengurangi resiko terjadinya amblesan, Burton *et al.* (2006) merekomendasikan, kedalaman yang baik untuk pengembangan UCG adalah lebih

dalam dari 200 meter. Terkait dengan aspek keekonomian dan tingkat kesulitannya, kedalaman sebaiknya tidak lebih dari 800 meter. Berdasarkan hasil komunikasi personal dengan pakar UCG disimpulkan bahwa kedalaman minimum lapisan batubara yang dapat dikembangkan untuk UCG adalah 120 meter tetapi dengan memperhatikan nilai minimum rasio antara kedalaman batubara dan ketebalannya (komunikasi personal dengan Andrey Chernisov, 2019).

**Rasio Kedalaman dan Ketebalan Batubara**

Minimum rasio kedalaman dan ketebalan batubara berguna untuk menghindari terjadinya amblesan karena hilangnya sebagian lapisan batubara akibat proses gasifikasi. Nilai rasio minimum secara umum dapat digambarkan berbanding terbalik dengan kedalamannya. Semakin dalam posisi kedalaman batubaranya, semakin kecil nilai rasio yang disyaratkan (Tabel 2). Akan lebih baik bila nilai rasionya lebih besar dari yang disyaratkan, namun nilai minimum ketebalan yang disyaratkannya pun perlu diperhatikan.

**Kemiringan Lapisan Batubara**

Menurut Bielowicz dan Kasinski (2014) dan Sury *et al.* (2004) kemiringan lapisan batubara yang landai baik untuk pengembangan UCG. GasTech (2007) dalam laporannya merekomendasikan kemiringan lapisan batubara 0°-20° untuk UCG sedangkan proyek UCG yang telah berhasil melakukan gasifikasi di Rusia merekomendasikan kemiringan lapisan <65°. Dalam kegiatan evaluasi ini persyaratan karakteristik kemiringan lapisan yang dipilih untuk menentukan wilayah prospek UCG adalah <65°.

**Tabel 2.** Nilai rasio kedalaman batubara dan ketebalan batubara yang direkomendasikan untuk UCG\*

| Kedalaman Lapisan Batubara | Nilai Rasio Minimum, Kedalaman dan Ketebalan Batubara | Ketebalan Batubara |
|----------------------------|---|--------------------|
| 120-200                    | 22  | 5                  |
| 200-300                    | 18  | 11                 |
| 300-400                    | 15  | 20                 |
| >400                       | 15  | 27                 |

\*komunikasi personal dengan Andrey Chernisov dalam acara *knowledge sharing UCG* di Tekmira tahun 2019)

## **Batuan Pengapit (*roof* dan *floor rock*) dan Ketebalannya**

Jenis batuan pengapit yang direkomendasikan untuk UCG adalah batuan yang memiliki permeabilitas yang rendah, atau lebih disarankan yang *impermeabel* gunanya adalah untuk mencegah kebocoran gas dan kontaminasi terhadap airtanah (Huda, 2014 dan Madiutomo, 2014). Dalam hal ini, jenis batuan yang memiliki permeabilitas rendah antara lain adalah batulempung dan batulanau. Untuk UCG batuan pengapit jenis batulempung lebih direkomendasikan. Ketebalan batuan pengapit yang direkomendasikan untuk pengembangan UCG cukup beragam, Oliver dan Covell (1989) dalam Bielowicz dan Kasinski (2015) mengestimasi minimum ketebalan bagian *roof* yang *impermeable* adalah 15 meter. Dalam kegiatan evaluasi ini, ketebalan minimum lapisan batuan pengapit yang digunakan untuk menentukan wilayah prospek diperoleh berdasarkan komunikasi personal penulis dengan Huda dan Andrey Chernisov (2019), yaitu dua kali tebal batubaranya untuk *roof* dan satu kali tebal batubaranya untuk *floor*-nya.

## **Kondisi Hidrogeologis (posisi batubara terhadap akuifer)**

Jarak antara batubara target dengan lapisan akuifer aktif, direkomendasikan berjarak vertikal  $\geq 30$  meter (25 kali) tebal batubaranya (tergantung tebal *roof*-nya yang *impermeabel*) (Mastalerz *et al.*, 2011 dan Nowak *et al.*, 2010 dalam Bielowicz and Kasinski, 2015). Diperlukan kajian ulang mengenai keterhubungan akuifer dengan sumber air masyarakat pada daerah yang berada di wilayah bekas tambang. Apabila akuifer tidak terhubung, maka jarak minimumnya bisa dikatakan dapat diabaikan.

## **Struktur Geologi**

Kondisi lokasi yang disarankan adalah lokasi yang memiliki pengaruh struktur geologi sederhana (Bielowicz dan Kasinski, 2015; Zulfahmi, 2014). Struktur geologi sederhana memperlihatkan ketiadaan rekahan atau sesar yang memengaruhi batubara secara langsung, apabila ada

besar pergeseran sesarnya tidak lebih dari setengah tebal batubaranya. Akan lebih baik apabila struktur pada batubara tersebut berupa lipatan sinklin (komunikasi personal dengan Huda dan Andrey Chernisov, 2019).

## **Sumber Daya Batubara**

Total sumber daya batubara yang ekonomis untuk pengembangan UCG masih bersifat tentatif. Total minimum sumber daya batubara disesuaikan dengan pemanfaatan gas untuk industri ataupun kapasitas *power plant* serta lamanya waktu pengoperasian. Total batubara yang banyak direkomendasikan adalah lebih 2,5-3,5 juta ton per 1 km<sup>2</sup> (Bielowicz dan Kasinski, 2015 dan komunikasi personal dengan Huda dan Andrey Chernisov, 2019).

## **Jarak dari Bukaan Tambang**

Jika lokasi yang dievaluasi berada dekat area penambangan atau area bekas tambang, jarak minimum yang direkomendasikan untuk menghindari keluarnya gas ke areal tersebut adalah 300 meter mengikuti arah kemiringan lapisan, dalam evaluasi kali ini hali ini tidak diperhitungkan karena penulis tidak mengetahui kondisi terkini lokasi-lokasi yang dievaluasi.

## **Penentuan wilayah prospek**

Setelah parameter evaluasi ditentukan, kegiatan evaluasi dilakukan pada data hasil eksplorasi batubara di daerah Bayung Lencir, Muara Kilis, dan Srijaya Makmur, Provinsi Sumatera Selatan.

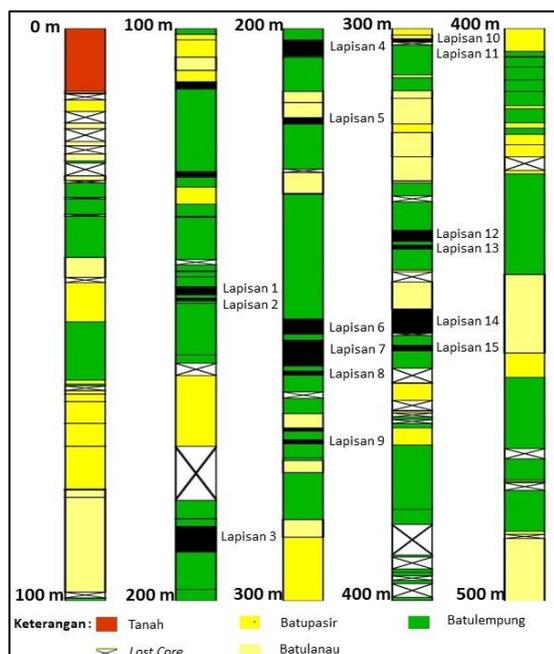
Data masing-masing lokasi selanjutnya dikumpulkan dan dipilah sesuai parameter evaluasi yang tertera pada Tabel 1. Hal tersebut dilakukan untuk menentukan wilayah prospek atau memilih lokasi yang cocok untuk pengembangan UCG. Hasil evaluasi terhadap karakteristik batubara untuk setiap lokasi terdapat pada tabel 3.

Sebagai catatan, pada daerah dengan multi lapisan batubara, disarankan hanya memilih satu lapisan yang paling prospek untuk dikonversi menjadi gas melalui

metode UCG (komunikasi personal dengan Andrey Chernisov dan Huda, 2019), sehingga dalam evaluasi ini dari setiap area dipilih satu lapisan batubara yang dinilai paling cocok untuk pengembangan UCG. Berikut adalah hasil evaluasi untuk setiap daerah:

**Bayung Lencir**

Ketersediaan batubara di daerah Bayung Lencir dibuktikan dengan pengeboran pada titik bor PNG-01 dengan total kedalaman 515,55 meter. Penampang stratigrafi titik bor PNG-01 ditunjukkan oleh Gambar 5. Jumlah lapisan batubara yang terdapat pada titik bor ini adalah 15 buah. Lapisan batubara tersebut merupakan bagian dari lapisan M3 dan M2 Formasi Muara Enim, dengan ketebalan bervariasi antara 0,5 meter hingga 4,55 meter. Lapisan batubara M3 diperkirakan diwakili oleh lapisan batubara 1 sampai 5. Lapisan batubara utama diwakili oleh lapisan 3, 4 dan 5. Sementara lapisan batubara yang lainnya diperkirakan sebagai lapisan batubara gantung yang lapisannya tidak menerus. Sementara lapisan batubara 6 hingga 15 diperkirakan merupakan bagian dari lapisan M2, dengan lapisan batubara 7 merupakan lapisan batubara paling tebal.



**Gambar 5.** Penampang stratigrafi PNG-01 kedalaman 0 sampai 500 meter

Evaluasi dan karakterisasi batubara untuk pengembangan UCG dilakukan pada 15 lapisan batubara tersebut. Berdasarkan hasil evaluasi, dari 15 lapisan batubara tersebut hanya terdapat 3 lapisan batubara yang memiliki tingkat kecocokan paling banyak terhadap kriteria yang telah dibuat, yaitu lapisan batubara 4, 6 dan 7. Untuk pengembangan UCG, lapisan batubara 7 paling tebal dibandingkan dengan lapisan batubara lainnya, sehingga pada luas area yang sama akan memiliki jumlah sumber daya lebih besar. Semakin besar sumber daya batubaranya, maka akan semakin ekonomis proses UCG yang akan dijalankan karena memperpanjang umur operasi.

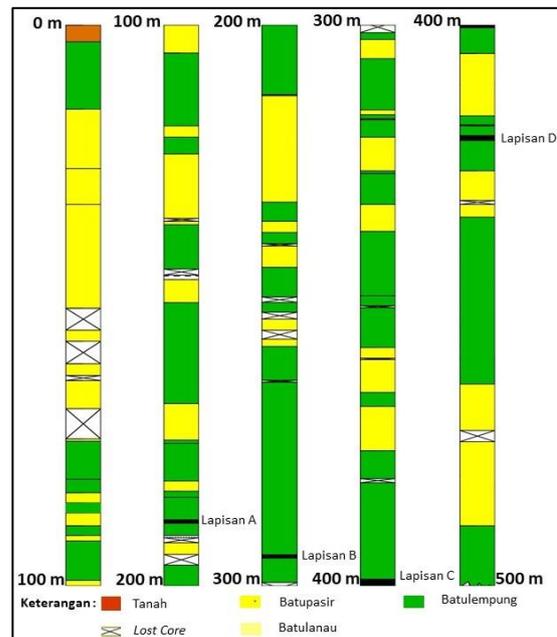
Seperti telah diuraikan sebelumnya disamping ketebalan, parameter lain yang juga harus diperhatikan adalah tebal dan rasio batuan pengapit bagian atas (*roof*). Tebal batuan pengapit atas pada lapisan batubara 7 hanya 1,03 meter, sehingga jika dibandingkan dengan tebal batubaranya, memiliki rasio 0,23 (rasio tebal batubara dan *roof*-nya di bawah 0,5). Nilai rasio tersebut dinilai cukup berbahaya untuk pengembangan UCG (Madiutomo, 2014 dan Shafirovich and Varma, 2009). Walaupun demikian, evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa antara lapisan batubara 6 dan 7 hanya dibatasi oleh *interburden* dengan tebal sekitar 1,03 meter. Hal tersebut mengindikasikan kemungkinan lapisan batubara 6 dan 7 merupakan satu lapisan batubara yang sama, tapi mengalami *splitting* pada titik pengeboran tersebut. Jika kedua lapisan batubara tersebut diasumsikan sebagai satu lapisan batubara, maka jumlah sumber daya yang dapat digunakan untuk UCG dapat dihitung lebih besar atau menjadi lebih kecil. Jumlah sumber daya bernilai lebih besar, jika lapisan batubara target tersebut *interburden*-nya tidak dianggap mengganggu untuk dapat digasifikasi. Bernilai lebih kecil, bila *interburden*-nya tebal dan dianggap mengganggu proses gasifikasi. Pada proses UCG, apabila ditemukan *splitting* pada lapisan batubara target dan *interburden*-nya dianggap mengganggu,

maka batubara yang dipilih untuk dilakukan gasifikasi adalah batubara pada lapisan atas saja, sehingga jumlah sumber daya yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil (komunikasi personal dengan Huda dan Andrey Chernisov, 2019).

Data menunjukkan, pada luas area 1km<sup>2</sup>, lapisan batubara 6 memiliki jumlah sumber daya sebesar 3,497 juta ton, sementara lapisan batubara 7 sebesar 5,915 juta ton. Berdasarkan hasil evaluasi, dianggap bahwa lapisan batubara 6 dan 7 merupakan satu lapisan batubara yang sama, sehingga rasio tebal batubara dan roof dari lapisan batubara 7 sebetulnya lebih tinggi dari 1,03 meter. Dengan demikian, lapisan batubara yang dianggap paling cocok untuk pengembangan UCG adalah lapisan batubara 6 dan 7 dengan total sumber daya 9,412 juta ton pada luas area 1 km<sup>2</sup> dan terdapat pada kedalaman 250,73 meter.

## Muara Kilis

Pada daerah Muara Kilis, keterdapatn potensi batubara bawah permukaan dibuktikan dengan pengeboran pada titik bor PTS-01 dengan total kedalaman 500,30 meter. Penampang stratigrafi titik bor PTS-01 ditunjukkan oleh Gambar 6. Jumlah lapisan batubara yang ditembus berjumlah 4 buah, merupakan Formasi Muara Enim dengan ketebalan bervariasi dari 0,6 meter hingga 1,7 meter (lapisan batubara A, B, C dan D). Lapisan batubara C merupakan lapisan batubara paling tebal pada daerah ini, dengan ketebalan 1,7 meter. Namun hasil evaluasi menunjukkan (Tabel 3), ketebalan lapisan batubara C tidak memenuhi parameter ketebalan batubara yang cocok untuk UCG. Karakteristik lapisan batubara C lainnya, secara umum juga tidak memenuhi parameter yang dipersyaratkan, seperti posisi batubara terhadap akuifer dan besar sumber dayanya. Berdasarkan hasil evaluasi di atas, batubara Muara Kilis pada wilayah pengeboran PSDMBP dianggap tidak memiliki lapisan batubara yang cocok untuk dikembangkan melalui kegiatan UCG.



**Gambar 6.** Penampang stratigrafi PTS-01 kedalaman 0 sampai 500 meter

## Srijaya Makmur

Daerah Srijaya Makmur memiliki potensi batubara yang dibuktikan dengan pengeboran pada titik bor MRU-01 dengan total kedalaman 503,40 meter. Penampang stratigrafi titik bor MRU-01 ditunjukkan oleh Gambar 7. Jumlah lapisan batubara yang ditembus oleh pengeboran adalah 10 buah yang merupakan Formasi Muara Enim dengan ketebalan batubara bervariasi dari 0,3 meter hingga 1,9 meter. Lapisan-lapisan tersebut diberi nama lapisan batubara 1 sampai 10.

Evaluasi batubara Srijaya Makmur difokuskan pada dua lapisan batubara, yaitu lapisan batubara 2 dengan ketebalan 1,5 meter dan lapisan batubara 3 dengan ketebalan 1,9 meter. Seperti dapat dilihat pada Tabel 3, lapisan batubara 2 tidak memenuhi tiga kriteria parameter, sedangkan lapisan batubara 3 tidak memenuhi empat kriteria parameter. Hasil evaluasi menunjukkan pada daerah Srijaya Makmur tidak ditemukan lapisan batubara yang cocok untuk pengembangan UCG.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Karakteristik Batubara Cekungan Sumatra Selatan (Bagian 1)

| No. | Kriteria   | 1                              |                                | 2                              |                                | 3                              |                                | 4                              |                                | 5                              |                                | 6                              |                                | 7                              |                                | 8                              |                                | 9                              |                                | 10                             |                                |
|-----|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|     |  | Bayung Lencir lapisan batubara |
| 1   | Peringkat batubara dan parameternya  | 4915                           |                                | 5370                           | 5534                           | 5493                           | 5645                           | 5913                           |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
| 2   | Nilai kalori (kcal/gr. adb)  | 1,45                           | 0,5                            | 4,5                            | 2,85                           | 1,05                           | 2,69                           | 4,55                           | 0,95                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           | 0,55                           |
| 3   | Ketebalan batubara (meter)   | 144,75                         | 146,7                          | 187                            | 202                            | 215,4                          | 250,73                         | 254,45                         | 259,65                         | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          | 269,8                          |
| 4   | Posisi kedalaman (meter)   | 99,83                          | 293,40                         | 41,56                          | 70,88                          | 205,14                         | 93,21                          | 55,92                          | 273,32                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         | 490,55                         |
| 5   | Rasio kedalaman dan ketebalan batubara (120-200m rasio 22, 200-300m rasio 18, 300-400m rasio 15, >400m rasio 15) |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
| 6   | Rasio 400m rasio 15)   |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
| 5   | Kemiringan lapisan (°)   |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
| 6   | Batuan pengapit (roof dan floor)   |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|     | a. Jenis roof*   | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              |
|     | b. Tebal roof (meter)  | 14,4                           | 0,55                           | 4,55                           | 10,5                           | 2,62                           | 21,73                          | 1,03                           | 0,85                           | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            | 2,5                            |
|     | c. Rasio roof dengan batubara  | 9,93                           | 1,10                           | 1,01                           | 3,68                           | 2,50                           | 8,08                           | 0,23                           | 0,89                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           | 4,55                           |
|     | d. Jenis floor   | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              |
|     | e. Tebal floor (meter)   | 0,55                           | 9,4                            | 10,5                           | 10,72                          | 7,82                           | 1,03                           | 8,3                            | 2,9                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            | 1,5                            |
|     | f. Rasio floor dengan batubara   | 0,38                           | 18,80                          | 2,33                           | 3,76                           | 7,45                           | 0,38                           | 1,82                           | 3,05                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           | 2,73                           |
| 7   | Kondisi hidrogeologis/jarak batubara terhadap akuifer (meter)  | 14,4                           | 16,4                           | 4,55                           | 19,55                          | 32,95                          | 68,28                          | 72                             | 77,4                           | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          | 87,35                          |
| 8   | Struktur geologi**   | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              | 1                              |
| 9   | Sumber daya batubara (juta ton)  | 1,885                          | 0,65                           | 5,85                           | 3,705                          | 1,365                          | 3,497                          | 5,915                          | 1,235                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          | 0,715                          |
| 10  | Jarak dengan bukaan tambang (meter)  |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|     | Tidak cocok/tidak memenuhi kriteria  |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|     | Cocok/memenuhi kriteria  |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|     | Tidak ada data atau tidak dijadikan acuan  |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |

\* angka 1 = batulempung dan batulanau, angka 2 = batuan lain

\*\* angka 1 = geologi sederhana, 2 = moderat, dan 3 = kompleks

Tabel 3. Hasil Evaluasi Karakteristik Batubara Cekungan Sumatra Selatan (Bagian 2)

| No. | Kriteria   | Bayung Lencir seam 11 | Bayung Lencir seam 12 | Bayung Lencir seam 13 | Bayung Lencir seam 14 | Bayung Lencir seam 15 | Muara Kilis seam A | Muara Kilis seam B | Muara Kilis seam C | Muara Kilis seam D | Muratara seam 1 |
|-----|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1   | Peringkat batubara dan parameternya  |                       | 5669                  | 6001                  |                       |                       | 3972               | 5684               | 5402               | 5795               |                 |
| 2   | Nilai kalori (kal/gr. adb)   | 0,5                   | 1,95                  | 0,7                   | 4,25                  | 1                     | 0,65               | 0,6                | 1,7                | 1                  | 1,25            |
| 3   | Ketebalan batubara (meter)   | 308,1                 | 335,25                | 337,85                | 349                   | 355,35                | 188,2              | 294,45             | 398,8              | 419,6              | 319,4           |
| 4   | Posisi kedalaman (meter)   | 616,20                | 171,92                | 482,64                | 82,12                 | 355,35                | 289,54             | 490,75             | 234,59             | 419,60             | 255,52          |
|     | Rasio kedalaman dan ketebalan batubara (120-200m rasio 22, 200-300m rasio 18, 300-400m rasio 15, >400m rasio 15) |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |
| 5   | Kemiringan lapisan (°)   |                       |                       |                       |                       |                       | 10                 | 10                 | 10                 | 10                 | 10              |
| 6   | Batuan pengapit (roof dan underburden)   |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |
|     | a. Jenis roof*   | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1               |
|     | b. Tebal roof (meter)  | 5,2                   | 8,25                  | 0,65                  | 4,7                   | 2,1                   | 5,1                | 37,15              | 22,9               | 3,5                | 3               |
|     | c. Ratio roof dengan batubara  | 10,40                 | 4,23                  | 0,93                  | 1,11                  | 2,10                  | 7,85               | 61,92              | 13,47              | 3,50               | 2,40            |
|     | d. Jenis underburden   | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1               |
|     | e. Tebal floor(meter)  | 2,28                  | 5                     | 3,65                  | 2,1                   | 3                     | 2,15               | 4,35               | 4,6                | 5,4                | 11,7            |
|     | f. Ratio floordengan batubara  | 4,56                  | 2,56                  | 5,21                  | 0,49                  | 3,00                  | 3,31               | 7,25               | 2,71               | 5,40               | 9,36            |
| 7   | Kondisi hidrogeologi /jarak batubara terhadap akuifer (meter)  | 6,95                  | 17,05                 | 19,65                 | 4,7                   | 11,05                 | 5,1                | 37,15              | 22,9               | 3,5                | 11,9            |
| 8   | Struktur geologi   | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                     | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1               |
| 9   | Sumber daya batubara (juta ton)  | 0,65                  | 2.535                 | 0,91                  | 5.525                 | 1,3                   | 0,845              | 0,78               | 2,21               | 1,3                | 1.625           |
| 10  | Jarak dengan bukaan tambang (meter)  |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |
|     | Tidak cocok/tidak memenuhi kriteria  |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |
|     | Cocok/memenuhi kriteria  |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |
|     | Tidak ada data atau tidak dijadikan acuan  |                       |                       |                       |                       |                       |                    |                    |                    |                    |                 |

\* pada jenis roof dan floor angka 1 = batulempung dan batulanau, sedangkan angka 2 = selain keterangan angka 1

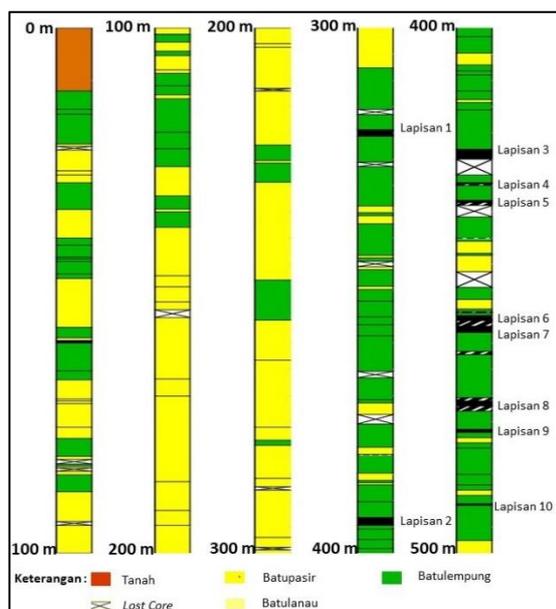
\* pada struktur geologi: angka 1 = geologi sederhana, 2 = moderat, dan 3 = kompleks

**Tabel 3. Hasil Evaluasi Karakteristik Batubara Cekungan Sumatra Selatan (Bagian 3)**

| No. | Kriteria   | Muratara seam 2 | Muratara seam 3 | Muratara seam 4 | Muratara seam 5 | Muratara seam 6 | Muratara seam 7 | Muratara seam 8 | Muratara seam 9 | Muratara seam 10 |
|-----|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1   | Peringkat batubara dan parameternya  | 5446            | 5653            | 1091            | 4019            | 6010            | 1796            | 1555            | 5524            | 5900             |
| 2   | Nilai kalori (kal/gr, adb)   | 1,5             | 1,9             | 0,25            | 0,33            | 1               | 1,2             | 0,9             | 0,5             | 0,3              |
| 3   | Ketebalan batubara (meter)   | 393,2           | 423,1           | 429,45          | 432,9           | 454,75          | 456,8           | 471             | 476,4           | 490,55           |
| 4   | Posisi kedalaman (meter)   | 262,13          | 222,68          | 1717,80         | 1311,82         | 454,75          | 380,67          | 523,33          | 952,80          | 1635,17          |
| 5   | Ratio kedalaman dan ketebalan batubara (120-200m rasio 22, 200-300m rasio 18, 300-400m rasio 15, >400m rasio 15) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 6   | Kemiringan lapisan (°)   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 7   | Batuan pengapit (roof dan underburden)   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 8   | a. Jenis roof  | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1                |
| 9   | b. Tebal roof (meter)  | 6,2             | 8,9             | 1,45            | 3               | 1,5             | 1,05            | 8,8             | 4,3             | 1,6              |
| 10  | c. Ratio roof dengan batubara  | 4,13            | 4,68            | 5,80            | 9,09            | 1,50            | 0,88            | 9,78            | 8,60            | 5,33             |
| 11  | d. Jenis floor   | 1               | 2               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1                |
| 12  | e. Tebal floor (meter)   | 10,1            | 3               | 3,1             | 7,37            | 1,05            | 4,3             | 4,3             | 1               | 7                |
| 13  | f. Ratio floor dengan batubara   | 6,73            | 1,58            | 12,40           | 22,33           | 1,05            | 3,58            | 4,78            | 2,00            | 23,33            |
| 14  | 7 Kondisi hidrogeologis/jarak batubara terhadap akuifer (meter)  | 7,15            | 16,05           | 1,45            | 4,55            | 1,5             | 2,55            | 17,5            | 21,8            | 1,6              |
| 15  | 8 Struktur geologi   | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1                |
| 16  | 9 Sumber daya batubara (juta ton)  | 1,95            | 2,47            | 0,325           | 0,429           | 1,3             | 1,56            | 1,17            | 0,65            | 0,39             |
| 17  | 10 Jarak dengan bukaan tambang (meter)   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 18  | Tidak cocok/tidak memenuhi kriteria  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 19  | Cocok/memenuhi kriteria  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| 20  | Tidak ada data atau tidak dijadikan acuan  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |

\* pada jenis roof dan floorangka 1 = batulempung dan batulanau, sedangkan angka 2 = selain keterangan angka 1

\* pada struktur geologi, angka 1 = geologi sederhana, 2 = moderat, dan 3 = kompleks



**Gambar 7.** Penampang stratigrafi MRU-01 kedalaman 0 sampai 500 meter

Berdasarkan hasil evaluasi, hanya satu dari tiga lokasi yang memenuhi hampir seluruh kriteria parameter yang dibutuhkan untuk pengembangan UCG, yaitu Daerah Bayung Lencir. Oleh karena itu, fokus kegiatan eksplorasi batubara untuk pengembangan UCG dapat dilakukan pada wilayah sekitar daerah tersebut seperti ditampilkan pada peta Gambar 1.

## KESIMPULAN

Kegiatan evaluasi pendahuluan potensi UCG pada batubara Indonesia dilakukan pada tiga daerah di Cekungan Sumatra Selatan, yaitu Bayung Lencir, Muara Kilis dan Srijaya Makmur. Berdasarkan hasil evaluasi, hanya ada satu daerah, yaitu Bayung Lencir, yang memiliki lapisan batubara dengan karakteristik yang cocok dan memenuhi kriteria parameter untuk persyaratan pengembangan UCG. Potensi batubara yang dapat dikembangkan menjadi UCG pada daerah ini memiliki total sumber daya sebesar 9,412 juta ton pada area 1 km<sup>2</sup> dengan kedalaman 250,73 meter.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di Kelompok Kerja Batubara, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah membantu dalam meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam penyelesaian makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bielowicz, B., Kasinski, J.R., 2015. The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits. *Int. J. Coal Geol.* 139, 191–205.  
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.10.010>
- Bishop, M.G., 2001. South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. USGS Open File Rep. 99-50-S 22.
- Burton, E., Friedmann, J., Upadhye, R., 2006. Best Practices in Underground Coal Gasification. Contract No. W-7405-Eng-48, Lawrence Livermore Natl. Lab. Livermore, CA.
- Couch, G., 2009. Underground coal gasification. *IEA Clean Coal Cent.* 9–10.
- Darman, H., Sidi, F.H. (Eds.), 2000. An Outline of the Geology of Indonesia. Indonesian Association of Geologists, Jakarta.
- Gafoer, S., Burhan, G., Purnomo, J., 1995. Peta Geologi Lembar Palembang, Sumatra Selatan. Bandung.
- GasTech, I., 2007. Viability of Underground Coal Gasification in the “Deep Coals” of the Powder River Basin, Wyoming; Prepared for the Wyoming Business Council Business and Industry Division State Energy Office. Casper, WY.
- Huda, M., 2014. Isu-isu Teknis Gasifikasi Batubara Konvensional dan Gasifikasi Bawah Tanah. *Miner. dan Energi* 12, 60–71.

- Imran, M., Torino, P., Saleem, M., Shabbir, M., 2012. Underground Coal Gasification and Power Generation ; Health Safety and 45th IEP C, 1–20. <https://doi.org/10.13140/2.1.4864.6720>
- Madiutomo, N., 2014. Potensi Resiko Lingkungan Teknologi Gasifikasi Batubara Bawah Tanah (Underground Coal Gasification - UCG). *Miner. dan Energi* 12, 97–105.
- Odeh, A.O., 2017. Pyrolysis: Pathway to Coal Clean Technologies. *Pyrolysis*. <https://doi.org/10.5772/67287>
- Shafirovich, E., Varma, A., 2009. Underground Coal Gasification: A Brief Review of Current Status. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48, 7865–7875. <https://doi.org/10.1021/ie801569r>
- Shafirovich, E., Varma, A., Mastalerz, M., Rupp, J., 2008. The Potential for Underground Coal Gasification in Indiana. *CCTR Advis. Panel Meet.* June 5, 2008 14.
- Shell Mijnbouw N. V., 1978. Explanatory Notes To The Geological Map of The South Sumatran Coal Province.
- Simanjuntak, T.O., Budhitrina, T, Surono, Gofoer, S., Amin, T.C., 1994. Peta Geologi Lembar Muarabungo, Sumatra. Bandung.
- Simatupang, David P., Purnomo, Wawang S., Mulyadi, A., 2013. Laporan Penelitian dan Evaluasi CBM Daerah Muara Kilis, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi. Bandung.
- Simatupang, David P., Rahmat, Soleh B., M.A., 2012. Laporan Akhir Penelitian dan Evaluasi Pemboran CBM di Bayung Lencir, Musi Banyuasin, Sumatra Selatan. Bandung.
- Sury, M., White, M., Kirton, J., Carr, P., Woodbridge, R., 2004. Review of Environmental Issues of Underground Coal Gasification 144.
- Tobing, R.L., 2014. Laporan Akhir Penelitian Sumur Geologi untuk Tambang Dalam dan CBM Daerah Srijaya Makmur dan Sekitarnya, Kab. Musi Rawas, Provinsi Sumatra Selatan. Bandung.
- Yang, D, Sheng, Y and Green, M., 2014. UCG Where in the world TCE The Chemical Engineer. *TCE Chem. Eng.* , Univ. Leeds, Leeds 872, 38–41.
- Zulfahmi, 2014. Review Teknologi Underground Coal Gasification dan Status Pengembangannya di Indonesia. *Miner. dan Energi* 12, 37–44.

|           |                   |
|-----------|-------------------|
| Diterima  | : 22 Juli 2021    |
| Direvisi  | : 10 Agustus 2021 |
| Disetujui | : 31 Agustus 2021 |