



## Lapangan Migas Potensial Sebagai CCUS-EOR Studi Kasus: Prospek Injeksi CO<sub>2</sub> di Sumatera Selatan

M. Romli, Sugihardjo, Djoko Sunarjanto, Suliantara, Nurus Firdaus, dan Dadan DSM Saputra

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

### Artikel Info:

Naskah Diterima:  
6 September 2021  
Diterima setelah  
perbaikan:  
19 November 2021  
Disetujui terbit:  
30 Desember 2021

### Kata Kunci:

CCUS-EOR  
CO<sub>2</sub>  
Lapangan potensial  
Sumatera Selatan  
South Sumatera

### ABSTRAK

Sumatera Selatan sebagai provinsi sumber energi perlu tetap dijaga kelestarian dan keberlanjutannya. Dua hal antara sumber energi dan menjaga kawasan berwawasan lingkungan, memunculkan ide mengoptimalkan Gas CO<sub>2</sub> sebagai hasil limbah PLTU untuk dikelola menjadi bermanfaat, dengan menginjeksikannya ke lapangan migas di Sumatera Selatan. Metodologi penelitian menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif data primer dan sekunder, baik data sumber dan target injeksi CO<sub>2</sub>. Hasil identifikasi data dilakukan analisis awal untuk menentukan lokasi terpilih di Sumatera Selatan. Survey lapangan berbasis Sistem Informasi Geografi di PLTU Simpang Belimbing dan sekitarnya guna menyusun Peta *Network Clustering*. Analisis *buffer* digunakan untuk mengetahui lokasi terbaik penempatan fasilitas integrasi CO<sub>2</sub>, *distance* analisis digunakan untuk mengetahui prioritas target berdasarkan jarak dari sumber, serta morfologi analisis digunakan untuk mengetahui fasilitas distribusi yang efektif bagi tiap pasangan sumber-target. Hasilnya diperoleh beberapa pasangan sumber-target yang secara jarak dan kebutuhan-ketersediaan CO<sub>2</sub> mencukupi untuk dilakukan injeksi CO<sub>2</sub>-EOR. Alternatif skenario *buffer zone* dengan target *Cluster* Lapangan Migas PQR Sumatera Selatan, pada radius 100 km utamanya akan didukung CO<sub>2</sub> hasil PLTU Simpang Belimbing dan dua lapangan migas terpilih sebagai kandidat pada Klaster PQR. Jumlah isi minyak awal pada lapangan tersebut 365,850.00 MSTB, terdapat potensi produksi injeksi CO<sub>2</sub> sebesar 54,877.50 MSTB dan kebutuhan CO<sub>2</sub> untuk injeksi sebesar 21,951.00 Mton. Skenario radius 100 km akan ditambah dari Instalasi stasiun pengumpul gas Grisik dan Suban, dan seterusnya makin besar radius *buffer* akan banyak PLTU yang siap sebagai sumber CO<sub>2</sub>. Dilakukan pengukuran jarak datar yang sekaligus merupakan perhitungan panjang pipa dari lapangan migas ke sumber CO<sub>2</sub> terpilih, dalam radius 100 kilometer, minimum diperlukan pipa distribusi sepanjang 203.65 kilometer. Kelebihan penelitian ini terintegrasinya subsektor migas, mineral (batubara), dan energi guna menciptakan pengembangan energi hulu - hilir ramah lingkungan.

### ABSTRACT

South Sumatra as an energy stock province and energy potential is still available located in forest areas and agriculture should be preserved and continued. Two things between energy stock and maintaining an environmentally sound area, gave rise to the idea of optimizing CO<sub>2</sub> Gas as a result of Power Plant waste to be managed to be useful and environmentally friendly, by injecting it into oil and gas fields in South Sumatra. Inventory of primary and secondary data, identification of potential and impacts, compilation and analysis qualitatively

Korespondensi:  
E-mail: [mohamad.romli@esdm.go.id](mailto:mohamad.romli@esdm.go.id)  
(M. Romli)

*and quantitatively both the sources and targets of CO<sub>2</sub> injection are carried out with geographic information systems application. The research methodology uses qualitative and quantitative analysis of primary and secondary data, both source and CO<sub>2</sub> injection targets. The results of data identification were carried out preliminary analysis to determine the selected location in South Sumatra. Field survey based on Geographic Information System at Simpang Belimbing Power Plant and surrounding areas to compile a Network Clustering Map of PQR Structure. Buffer analysis is used to find out the best location for placing CO<sub>2</sub> integration facilities, distance analysis is used to determine the priority of targets based on the distance from the source, and the morphology of the analysis is used to determine the effective distribution facilities for each source-target pair. The results were obtained by several pairs of targets, which in terms of distance and CO<sub>2</sub> requirements were sufficient for CO<sub>2</sub>-EOR injection in South Sumatra. The alternative buffer zone scenario with the target of the South Sumatra PQR Oil and Gas Field Cluster, at a radius of 100 km will mainly be supported by CO<sub>2</sub> from the Simpang Belimbing Power Plant and two oil and gas fields selected as candidates in the PQR cluster. The initial oil in place in the fields is 365,850.00 MSTB, there is a potential production of CO<sub>2</sub> injection of 54,877.50 MSTB and the need for CO<sub>2</sub> for injection is 21,951.00 Mton. Scenario radius of 100 km will be added from the installation of gas stations Grisik and Suban, and so on, the larger the radius of the buffer, there will be more Power Plants ready as a source of CO<sub>2</sub>. A direct distance measurement is carried out which is also a calculation of the length of the pipe from the oil and gas field to the selected CO<sub>2</sub> source, within a radius of 100 kilometers, a minimum distribution pipe of 203.65 kilometers is required. The advantages of this research are the integration of the oil and gas, mineral (coal) and energy sub-sectors to create environmentally friendly upstream and downstream energy development.*

© LPMGB - 2021

## PENDAHULUAN

Penerapan *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCUS) sudah banyak dilakukan di dunia, karena teknologi CO<sub>2</sub>-EOR merupakan teknologi yang sudah matang. Emisi CO<sub>2</sub> terdapat di banyak tempat pembakaran bahan bakar fosil, seperti di pembangkit tenaga listrik (PLTU), pabrik-pabrik, serta sebagai komponen ikutan (*impurities*) pada lapangan lapangan gas. Keuntungan implementasi CCUS untuk penyimpanan CO<sub>2</sub>, bahwa struktur dan integritas reservoir untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> dalam jangka panjang, sudah diketahui secara detail pada saat pengembangan lapangan.

Hedriana, dkk., (2016) melakukan kajian CO<sub>2</sub>-EOR dan kapasitas penyimpanan di Cekungan Sumatera Selatan dan Jawa Barat. Studi focus pada CCS-Ready yang dilakukan pada rencana pembuatan PLTU di Bojonegara (Jawa Barat) dan Muara Enim (Sumatera Selatan). Produksi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik tersebut dapat ditawarkan kepada perusahaan minyak terdekat untuk keperluan injeksi CO<sub>2</sub>-EOR yang

dapat meningkatkan perolehan minyak, Sebanyak 127 lapangan minyak di Sumatera Selatan telah dianalisis dan memenuhi kriteria injeksi CO<sub>2</sub>-EOR berdasarkan Taber, dkk. (1977).

Produksi minyak pada tahap tersier dapat dilakukan dengan injeksi fluida yang dapat menaikkan produksi minyak, salah satunya adalah injeksi CO<sub>2</sub> dengan tekanan tinggi, dapat juga bergantian dengan *slug air* (*Water Alternating Gas/WAG*), diinjeksikan ke dalam reservoir minyak untuk meningkatkan perolehan minyak. Gambar 1 adalah skematik injeksi WAG.

Sumber CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang besar berasal dari industri atau pabrik, yaitu: stasiun gas pengumpul (*gas processing plant*), kilang minyak (*refinery*), pembangkit listrik (PLTU), pabrik semen, besi dan baja, pupuk, kertas dan pulp. Dari sumber CO<sub>2</sub> tersebut perlu dilakukan pemisahan CO<sub>2</sub> dari komponen yang lain. Dari berbagai sumber CO<sub>2</sub> tersebut yang dapat digunakan lebih ekonomis adalah stasiun gas pengumpul dan kilang karena sudah tersedia fasilitas CO<sub>2</sub> *removal*. Apabila

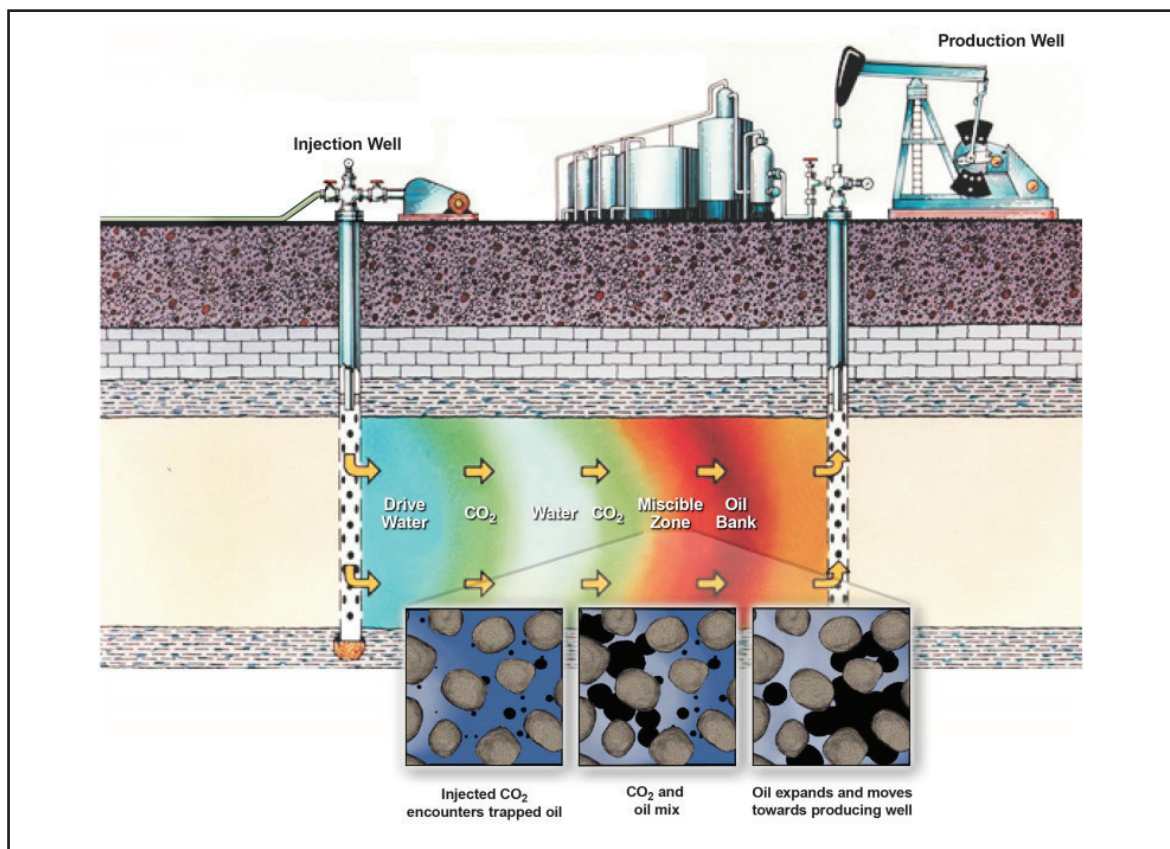
akan menggunakan CO<sub>2</sub> dari hasil pembakaran Batubara pada PLTU, dibutuhkan CO<sub>2</sub> *removal* yang memerlukan biaya sangat besar sehingga akan berdampak pada *energy penalty* yang cukup tinggi.

Sumber-sumber CO<sub>2</sub> di Indonesia meliputi emisi CO<sub>2</sub> terutama dari stasiun gas pengumpul, kilang, dan PLTU yang akan dapat dipergunakan sebagai sumber CO<sub>2</sub> untuk penerapan CCUS-EOR. Kemudian dilakukan *screening* lapangan-lapangan minyak yang dekat lokasinya dengan sumber CO<sub>2</sub> tersebut untuk dapat diterapkan injeksi CO<sub>2</sub>-EOR. Teknologi EOR lapangan migas direncanakan ramah lingkungan mengoptimalkan siklus yang berlanjut, menggunakan CO<sub>2</sub> hasil PLTU batubara. Pemanfaatan batubara untuk PLTU saat ini guna melistriki Provinsi Sumatera Selatan dan Jambi. Melihat sumber batubara sebagai bahan bakarnya yang tersedia di sekitar lapangan minyak dan gas bumi pada kluster PQR Sumatera Selatan, PLTU ini terus berkembang mendukung pengembangan wilayah/kota, daerah industri dan pengembangan Wilayah Sumatera terintegrasi.

Indonesia memiliki target untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2030 sebesar 26%, namun Indonesia merupakan negara penghasil emisi CO<sub>2</sub> tertinggi keenam di dunia (5<sup>th</sup> *Indonesia Climate Change Expo*, 2015). Pemetaan sumber CO<sub>2</sub> yang dilakukan di Sumatera Selatan dan wilayah lainnya di Indonesia dapat digunakan untuk menjadi referensi pengembangan struktur/lapangan selanjutnya. Data sumber CO<sub>2</sub> ini juga dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan kegiatan yang berkaitan dengan CO<sub>2</sub>. Gambar 2 menunjukkan sebaran Sumber CO<sub>2</sub> di seluruh Indonesia, utamanya untuk kebutuhan pemetaan implementasi injeksi EOR.

Dipilih lokasi di Sumatera Selatan, karena teknologi eksplorasi, produksi dan pengembangan *Cluster PQR* cukup kompleks. Pada awal Tahun 2019 evaluasi SKK Migas sudah ditemukan *giant field* Blok Sakakemang memperkuat seleksi lokasi di Sumatera Selatan menjadi lokasi terpilih.

Maksud dan tujuan penulisan Karya Tulis Ilmiah ini mengoptimalkan Gas CO<sub>2</sub> sebagai hasil limbah PLTU untuk dikelola menjadi rangkaian kegiatan yang lebih bermanfaat. Dengan menginjeksikan



Gambar 1  
Injeksi Water Alternating Gas-Enhanced Oil Recovery (WAG-EOR)  
(<https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/10/2/20838646/climate-change-carbon-capture-enhanced-oil-recovery-eor>)



ke lapangan migas, menjadi semacam siklus CO<sub>2</sub> hasil PLTU, dimanfaatkan untuk injeksi dalam EOR Lapangan Minyak dan Gas Bumi di klaster PQR. PLTU Simpang Belimbing merupakan pembangkit listrik untuk pasokan listrik dan masuk dalam interkoneksi jaringan kelistrikan Sumatera. Sehingga diharapkan dengan terintegrasinya keberadaan lapangan migas dan penangkapan CO<sub>2</sub> dari batubara. Tenaga listrik yang dihasilkan PLTU mulut tambang dapat mendukung siklus pengembangan energi hulu sampai hilir ramah lingkungan.

## BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Teori

Untuk dapat mengimplementasikan CCUS injeksi CO<sub>2</sub>-EOR pada tahap awal harus dilakukan *screening* reservoir agar memenuhi kriteria untuk dilakukan injeksi CO<sub>2</sub>, dilanjutkan dengan studi laboratorium yang detail untuk mengetahui properti fluida reservoir dan peningkatan perolehan minyak yang bisa diproduksi pada tahap tersier (Sugihardjo, dkk., 2012). Selanjutnya dilakukan studi simulasi reservoir yang mencakup skala pilot, apabila pada skala pilot cukup sukses dan seterusnya dilakukan implementasi skala penuh.

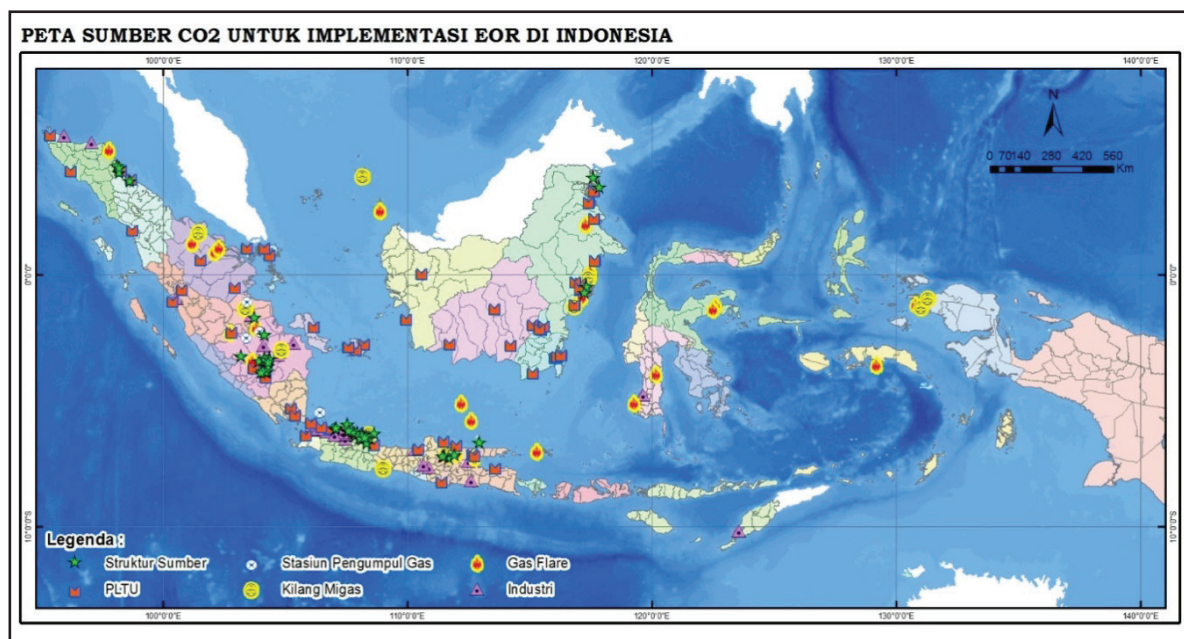
Hasil aplikasi *Geographic Information System* (GIS) dan *scoring* yang dilakukan Usman, dkk., 2010, beberapa hal yang membuat cekungan sedimen

pada wilayah Indonesia bagian barat, memiliki *final score* yang tinggi diantaranya karena:

- Umumnya reservoir pada daerah yang terkarakterisasi dengan baik,
- Secara geologi cukup stabil,
- Telah berdirinya infrastruktur,
- Kepadatan penduduk rendah.

### 1. Geologi dan Stratigrafi Lapangan Suban-Ramba

Salah satu lapangan migas di Indonesia barat adalah Lapangan Suban dan Ramba terletak di Cekungan Sumatra Selatan. Stratigrafi lapangan tersebut pada bagian bawah sampai atas berurutan: Batuan dasar granit Pra-Tersier, Formasi Talangakar (batupasir-serpih, endapan transgresi, Oligosen Akhir), Formasi Baturaja (terumbu batugamping, endapan lingkungan laut, Miosen Awal), Formasi Gumai (serpih Miosen Bawah), Formasi Air Benakat (selang seling batupasir dan batulempung dan batubara, Miosen Tengah), Formasi Muara Enim (batupasir dengan sisipan batubara tipis, Miosen Akhir - Pliosen Awal). Sedimentasi dan tektonik Wilayah Suban-Ramba dan sekitarnya seperti dalam Gambar 3. Reservoir hidrokarbon Lapangan Suban terdapat pada granit terkekarkan, batupasir Talangakar, terumbu batugamping Baturaja, batupasir Gumai dan Airbenakat (Sunarjanto & Wijaya, 2013).



Gambar 2  
Sebaran Sumber CO<sub>2</sub> di Indonesia (SKK Migas, 2019).

## 2. Menangkap dan Menyimpan CO<sub>2</sub> dengan Carbon Capture Storage

Berbagai cara ditempuh untuk mencegah dan mengendalikan emisi CO<sub>2</sub>. Mencegah emisi CO<sub>2</sub> jelas lebih murah tetapi lebih sulit. Bagaimana mungkin menghentikan pengeboran migas (bahan bakar fosil), menghentikan industri baja, semen, LNG serta menghentikan transportasi. Karena itu sejak tahun 1980 negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Inggris, Perancis dan Norwegia berjabaku mencari jalan mengendalikan emisi CO<sub>2</sub> agar tidak dilepas ke atmosfer. Salah satu metode pengendalian emisi CO<sub>2</sub> adalah *Carbon Capture Storage* (Brioretty & Sunarjanto, 2018). Yaitu suatu metode menangkap dan menyimpan CO<sub>2</sub> yang meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- Langkah pertama: CO<sub>2</sub> ditangkap dari penghasil CO<sub>2</sub> yang besar misalnya pembangkit listrik berbahan bakar fosil.
- Langkah kedua: Transport CO<sub>2</sub> (pemindahan CO<sub>2</sub>). Setelah ditangkap, milyaran ton emisi CO<sub>2</sub> dikompresi menjadi cair agar mudah diangkut ke tempat penyimpanan yang sesuai. Untuk

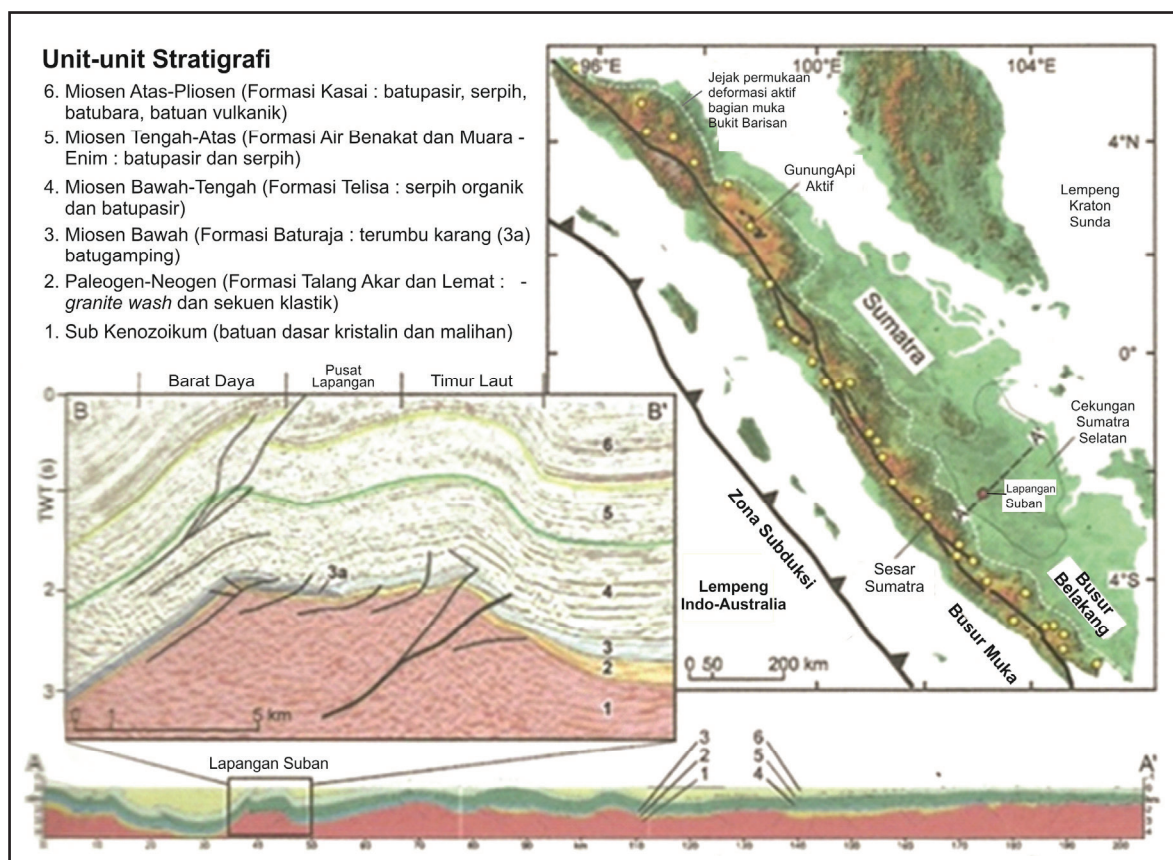
diinjeksikan dan disimpan di lapangan migas, CO<sub>2</sub> diangkut melalui jalur pipa, menggunakan kapal atau kombinasi keduanya.

- Langkah ketiga adalah penyimpanan CO<sub>2</sub>. Tempat penyimpanan paling praktis untuk menyimpan emisi karbon dalam jumlah banyak pada reservoir minyak atau gas yang sudah tua.

### B. Metodologi

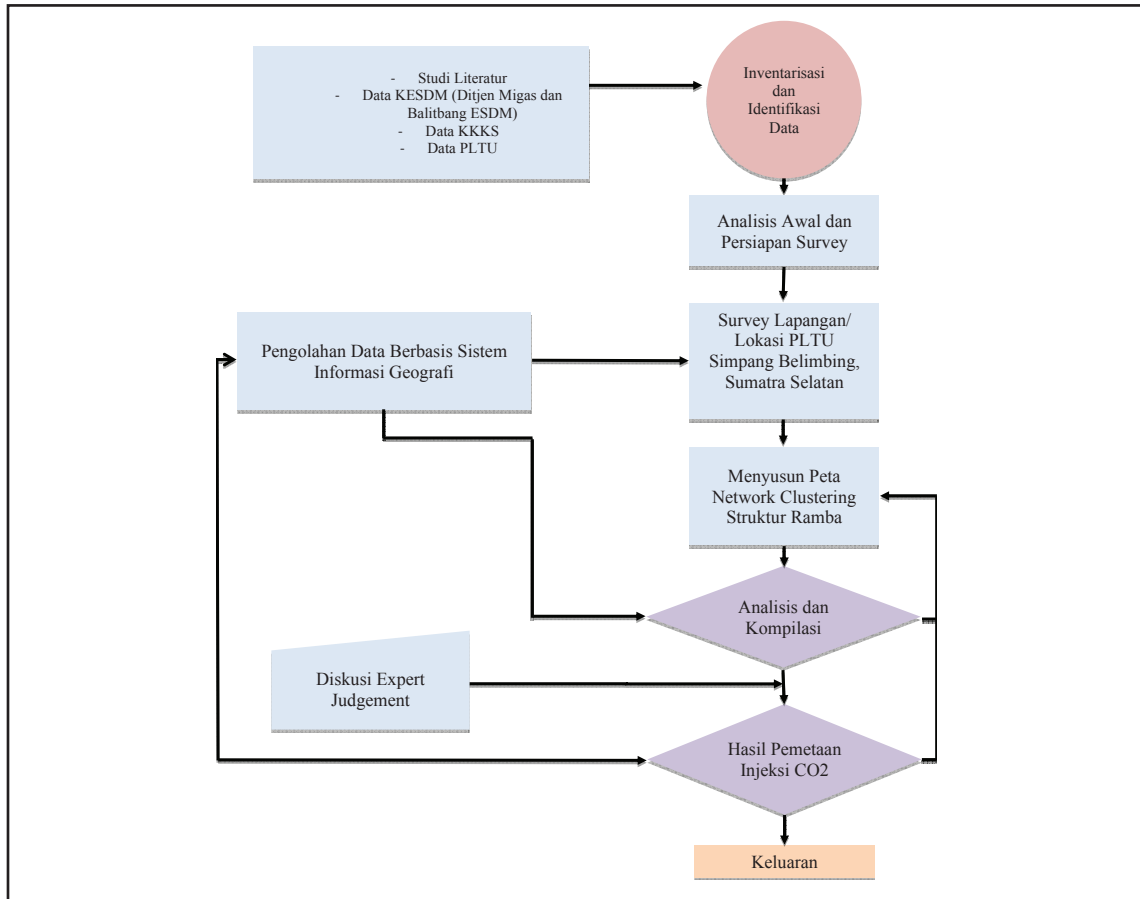
Metodologi penelitian menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif data primer dan sekunder. Hasil identifikasi data dilakukan analisis awal untuk menentukan lokasi terpilih di Sumatera Selatan. Survey lapangan berbasis *Geographic Information System* di PLTU Simpang Belimbing dan sekitarnya guna menyusun Peta *Network Clustering*. Dilakukan komunikasi dan diskusi *Expert Judgement* untuk kompilasi dan pemetaan. Bagan alir metode penelitian studi ini seperti pada Gambar 4.

Dalam Sunarjanto, dkk., (2014): Analisis tumpang susun peta geologi, geofisika, dan reservoir, menghasilkan cekungan sedimen Tersier yang memiliki kesesuaian tinggi sebagai lokasi penyimpanan CO<sub>2</sub> (*CO<sub>2</sub> storage*). Sebagian besar

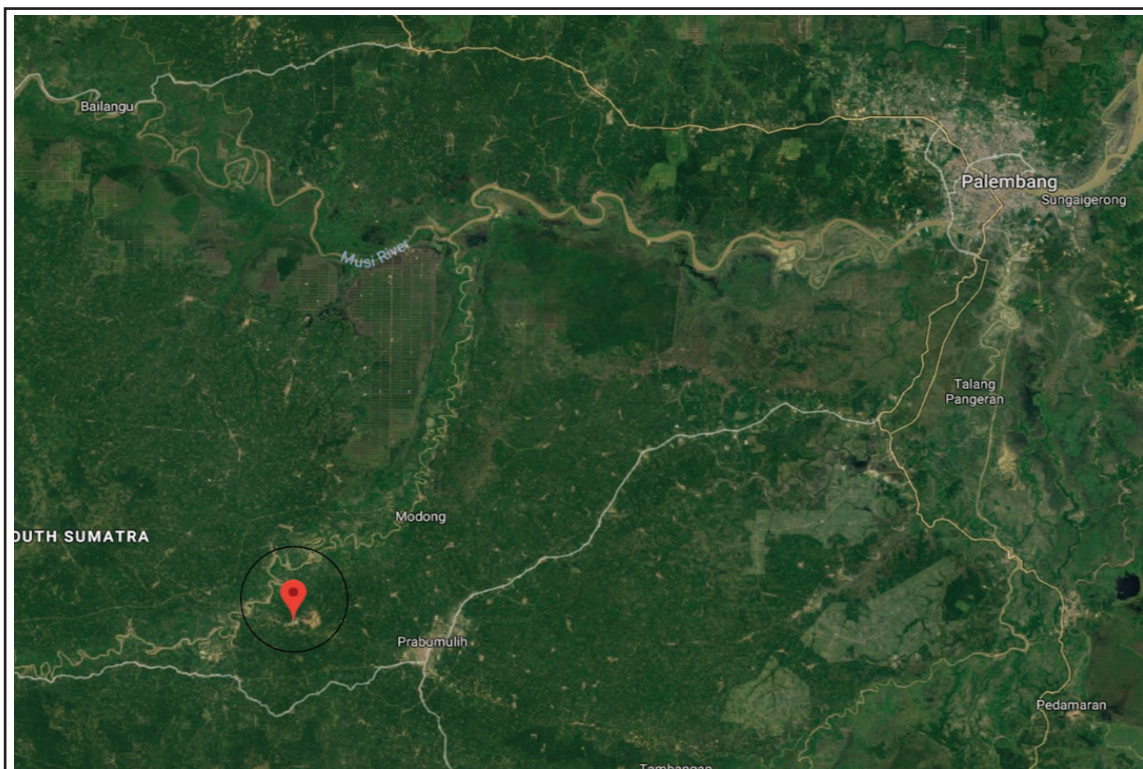


Gambar 3  
Konfigurasi tektonik dan stratigrafi Lapangan Suban,  
Sumatera Selatan (Hennings, dkk., 2012 dalam Sunarjanto & Wijaya, 2013).





Gambar 4  
Bagan alir metode penelitian.



Gambar 5  
Lokasi PLTU Simpang Belimbing (menggunakan aplikasi *Google Earth*).

wilayah lepas pantai dan 9 (sembilan) cekungan terletak di wilayah bagian barat Indonesia, yang memiliki rekaman sejarah eksplorasi-produksi migas sejak beberapa dekade yang lalu. GIS meningkatkan akurasi dan kecepatan pemilihan wilayah, evaluasi, perhitungan luas wilayah kerja migas, perhitungan luas wilayah daerah potensial penyimpanan CO<sub>2</sub>, hingga bermanfaat dalam pengembangan wilayah Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) migas berwawasan lingkungan. Operator migas disarankan konsisten mengaplikasikan GIS dalam penyusunan proyeksi pengembangan wilayah termasuk untuk CCUS-EOR. Sehingga dapat membangun suatu sistem evaluasi dan monitoring perkembangan wilayah kerja migas berkelanjutan, sejak awal operasi eksplorasi-produksi hingga pasca operasi produksi migas dan pemanfaatan lapangan migas untuk injeksi CO<sub>2</sub>. Analisis tumpang susun (*overlay*) pada Wilayah Sumatera bagian selatan antara lain peta geografi, peta lokasi lapangan migas, peta sebaran fasilitas Instalasi Stasiun Pengumpul Gas dan peta sebaran PLTU akan menjadi tahapan awal dalam seleksi lokasi terpilih untuk pengembangan injeksi CO<sub>2</sub>.

Untuk itu proses dan diskusi *expert judgement* dalam penelitian ini pada saat kompilasi data terpilih dalam menyusun peta tematik sebagai upaya optimalisasi seleksi hasil yang sudah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Masukan *expert judgment* dari berbagai ahli, antara lain ahli geologi, ahli perminyakan, ahli geofisika dan ahli geografi, lebih efektif dan efisien dalam menambah ketajaman penelitian injeksi CO<sub>2</sub>.

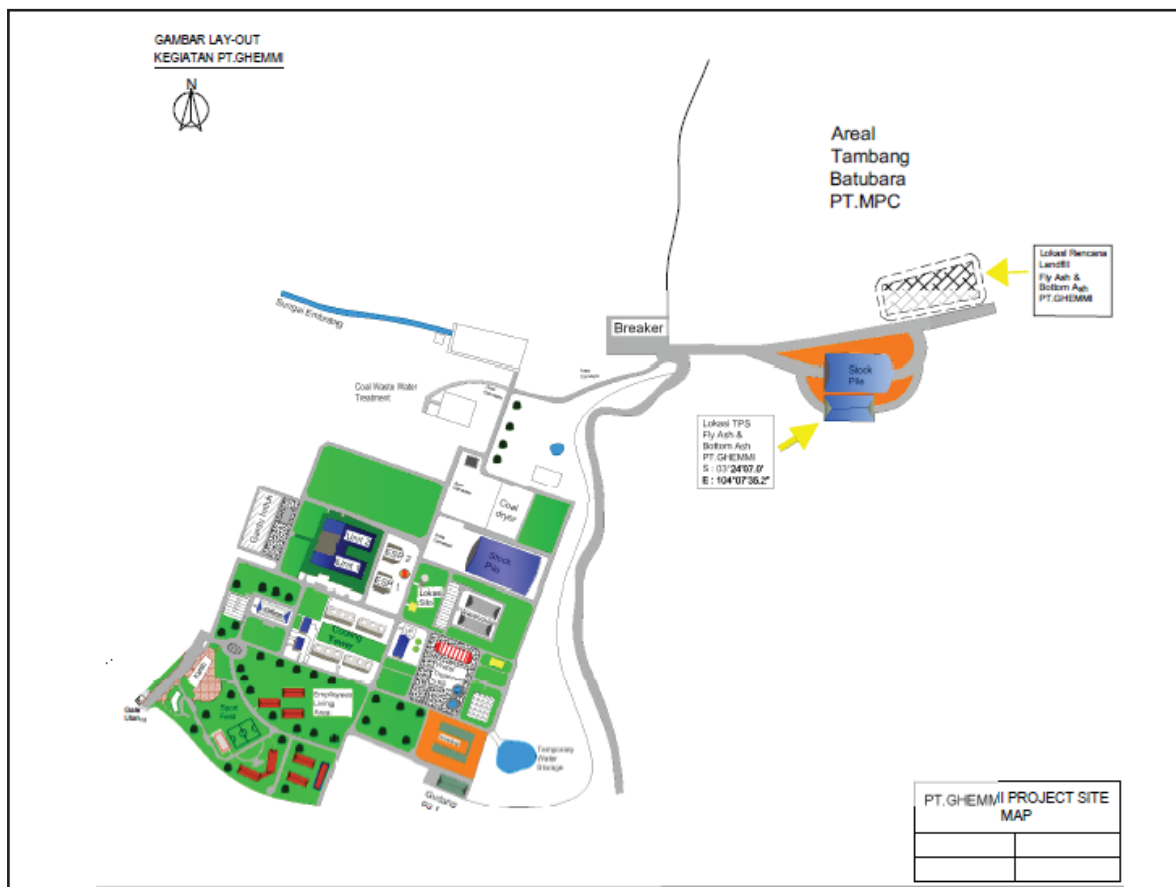
Sedangkan screening EOR dan perhitungan besarnya kenaikan perolehan minyak hasil injeksi CO<sub>2</sub> dan kebutuhan CO<sub>2</sub> yang digunakan untuk injeksi mengacu pada cara cara yang sudah lazim digunakan dalam industri minyak (Aladasani, dkk., 2010).

## HASIL DAN DISKUSI

### A. Potensi Sumber CO<sub>2</sub> untuk Injeksi

#### 1. Regional PLTU Simpang Belimbing

PLTU Simpang Belimbing terletak sekitar 20 km arah Barat Laut Kota Prabumulih dan kurang lebih



Gambar 6  
Layout PLTU Simpang Belimbing.

berjarak 115 Km dari arah Barat Kota Palembang. Secara administratif PLTU Simpang Belimbing terletak di Desa Gunung Raja, Kecamatan Rambang Dangku, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan. PLTU Simpang Belimbing menempati lahan seluas 240 hektar.

PLTU Simpang Belimbing mulai beroperasi pada tahun 2013. PLTU Simpang Belimbing adalah milik PT. GH EMM INDONESIA yang merupakan gabungan dua perusahaan yaitu perusahaan China, Shenhua Group dan juga Perusahaan Indonesia PT. Energi Musi Makmur (EMM). Durasi kontrak PLTU Simpang Belimbing adalah 30 tahun dimulai dari tahun 2013 (*Commercial Operating Date*).

PLTU Simpang Belimbing adalah pembangkit dengan kapasitas 2 X 150 MW (terdiri dari 2 unit masing-masing bisa menghasilkan listrik 150 MW). PLTU Simpang Belimbing bisa menopang 7% kebutuhan listrik Provinsi Sumatera Selatan.

Bahan bakar batubara pada PLTU Simpang Belimbing termasuk kategori rendah atau *low rank coal* dengan nilai kalori atau NCV=1,800 Kg/cal, kelembaban mencapai 50-60%. Dengan keterbatasan ini, PT. GH EMM INDONESIA menggunakan teknologi terkini dalam mengeringkan batubara (*coal dryer*) sehingga batubara masih bisa digunakan sebagai bahan bakar.

Proses produksi energi listrik PLTU Simpang Belimbing pada kawasan mulut tambang, batubara yang berasal dari tempat penampungan (*coal yard*)

dihancurkan dan dimasukkan ke dalam *coal silo*. Kemudian dilakukan lagi penurunan ukuran batubara dengan dihancurkan (*crusher house*) dan dimasukkan ke dalam *coal bunker*. Proses berikutnya, penurunan ukuran batubara menjadi bubuk di *pulverizer*. Batubara yang telah berbentuk bubuk dipanaskan dan dihembuskan dengan udara dari *Primary Air Fan* menuju *furnace* melalui *burner*. Sedangkan untuk kebutuhan udara pembakaran disediakan oleh *Force Draft Fan*. Pembakaran tersebut digunakan untuk memanaskan *boiler* sehingga mengubah air umpan menjadi uap hingga *superheated*. Proses di *boiler* merupakan perubahan energi kimia dari batubara menjadi energi kalor/panas.

## 2. Potensi Sumber CO<sub>2</sub>

Titik pantau emisi berasal dari *chimney* (cerobong) yaitu berada di koordinat 3°24'03.7"S 104°07'04.8"E. Perhitungan emisi dengan pengukuran langsung hanya mengukur dengan akurat kandungan sisa pembakaran dari H<sub>2</sub>S (SO<sub>x</sub>) dan Metana (NO<sub>x</sub>). Alat ukur tidak bisa mengukur secara langsung Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>). Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> tidak dilakukan secara langsung tetapi menggunakan formula yang merupakan fungsi beberapa parameter, terutama parameter:

- Jumlah konsumsi bahan bakar,
- Prosentase C pada batubara,
- *Net Calori Value (NCV)*.



Gambar 7  
PLTU Simpang Belimbing.



dilakukan konversi perataan harian tanpa memperhitungkan masa *shutdown* per unit maka potensi volume CO<sub>2</sub> untuk Proyek Injeksi CO<sub>2</sub>-EOR (status Desember 2018) PLTU Simpang Belimbing tercatat Jumlah Emisi CO<sub>2</sub> tahunan sebesar 1,743,029 Ton. Sedangkan potensi CO<sub>2</sub> sebesar 4,775 ton per hari.

### 3. Potensi Lapangan Minyak

Saputra, dkk., (2018) melakukan kajian kelayakan penerapan CCUS di Lapangan Minyak daerah Prabumulih. Studi ini fokus pada studi kelayakan injeksi CO<sub>2</sub> skala pilot di Lapangan Minyak A Lapisan Y Blok D di daerah Sumatera Selatan dimulai dari proses screening lapangan minyak untuk injeksi CO<sub>2</sub>, studi Geologi Geofisika dan Reservoir (GGR) serta analisis keekonomian yang mencakup skenario transportasi CO<sub>2</sub> dari sumber CO<sub>2</sub> ke lokasi injeksi. Dari hasil simulasi reservoir didapatkan bahwa injeksi CO<sub>2</sub> dengan laju alir sebesar 150 ton per hari selama 5 tahun (dimulai dari awal 2017) dapat meningkatkan perolehan minyak menjadi 4,7% IOIP, sedangkan dengan menggunakan laju alir 75 ton per hari dapat meningkatkan sebesar 3,37% IOIP pada daerah prospek di Lapisan Y Blok D. Dari hasil analisis keekonomian, harga jual CO<sub>2</sub> terendah diperoleh dari skenario II (transportasi menggunakan truk) sebesar US\$48,13 per ton CO<sub>2</sub> dan akan layak untuk diinjeksikan pada saat harga minyak lebih dari US\$83 per barel. Hal ini menunjukkan, apabila penerapan skala pilot akan mahal, lain halnya apabila penerapannya dilakukan *full scale* satu lapangan, bahkan apabila bisa diterapkan beberapa lapangan sekaligus (klaster) akan mempunyai pembiayaan yang lebih murah.

Berdasarkan data terkait injeksi CO<sub>2</sub> atau penerapan CCUS di daerah Prabumulih tersebut di atas, dalam penelitian ini diterapkan pada beberapa lapangan yang relatif berdekatan dan CO<sub>2</sub> dari beberapa sumber. Lapangan minyak dalam *cluster* yang berjarak 200 Km dari sumber CO<sub>2</sub> PLTU Simpang Belimbing, Stasiun Pengumpul Gas atau *Gas Plant* Grissik dan Suban, yaitu Lapangan Abab, Bajubang, Beringin-D, Gunung Kemala, Kluang, Limau Tengah, Meruap, Niru, Raja, Ramba, Tanjung Tiga Barat, Tanjung Tiga Timur, Tempino. Terintegrasinya suatu lapangan migas *brownfield* (ladang tua), mampu sebagai sarana utama CCUS-EOR. Prospek diinjeksikan CO<sub>2</sub> hasil dari PLTU batubara akan bermanfaat untuk industri dan mampu meningkatkan produksi lapangan *brownfield*, selanjutnya dapat meningkatkan produksi migas

yang ramah lingkungan dan mendukung pasokan listrik untuk kehidupan masyarakat dan industri.

### 4. Network Cluster di Sumatera Selatan

Sumber CO<sub>2</sub> yang paling potensial untuk dimanfaatkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki *rate* produksi CO<sub>2</sub> relatif tinggi. Selain itu, sumber lainnya adalah struktur/lapangan penghasil CO<sub>2</sub> serta Stasiun Pengumpul Gas yang memiliki *rate* CO<sub>2</sub> rata-rata sesuai kebutuhan. Gambar 8 berikut merupakan contoh *network cluster* di Provinsi Sumatera Selatan (Firdaus, dkk., 2019). Gambar tersebut menginformasikan jenis dan kuantitas sumber-sumber potensi CO<sub>2</sub> yang dapat dimanfaatkan untuk injeksi. Pada peta juga ditunjukkan jaringan pipa migas eksisting sehingga *Right of Way* (ROW) pipa tersebut dapat dimanfaatkan untuk pembangunan fasilitas pipa distribusi CO<sub>2</sub>. Berdasarkan data yang dikumpulkan dan hasil survey lapangan, belum ada fasilitas pipa khusus distribusi CO<sub>2</sub> untuk menunjang program pelaksanaan implementasi injeksi CO<sub>2</sub>. Namun dalam kajian ini juga dilakukan perhitungan panjang pipa dari lapangan F6 ke sumber CO<sub>2</sub> berdasar jarak antara Lapangan F6 dan sumber CO<sub>2</sub> terpilih.

Informasi pada peta struktur F6 dilengkapi dengan sumber struktur yang dibuat sesuai batasan *cluster* yang disepakati dalam diskusi *expert judgement*, sehingga terdapat *network cluster* untuk radius 100 Kilometer dan 200 kilometer. Potensi sumber CO<sub>2</sub> yang terdapat pada cluster 100 km sebanyak 18 sumber dengan *rate* total potensi CO<sub>2</sub> mencapai sekitar 15.000 TPD, sedangkan untuk cluster 200 km terdapat 37 sumber dengan total potensi CO<sub>2</sub> sekitar 23.000 TPD. Potensi terbesar pada cluster atau radius 100 km adalah Stasiun Pengumpul Gas atau *Gas Plant* Grissik dengan *rate* CO<sub>2</sub> hampir mencapai 7.000 TPD, namun PLTU Simpang Belimbing dan Stasiun Pengumpul Gas Suban juga dapat berpotensi sebagai alternatif sumber CO<sub>2</sub> karena kebutuhan CO<sub>2</sub> untuk implementasi skala penuh diperlukan 3,000 TPD hingga 4,000 TPD.

Survey lapangan menghasilkan informasi fasilitas pipa khusus distribusi CO<sub>2</sub> guna menunjang injeksi CO<sub>2</sub>. Pengukuran jarak datar sekaligus untuk menghitung panjang pipa dari lapangan migas ke sumber CO<sub>2</sub> terpilih. Jarak lurus dari F6 ke Stasiun Pengumpul Gas Grissik dengan panjang 45.12 Km. Instalasi Stasiun Pengumpul Gas Suban dengan jarak lurus 74,38 km, sedangkan antara PLTU Simpang Belimbing dan Lapangan Migas F6 berjarak 84.15

Km. Hasil penjumlahan panjang pipa dari lapangan migas ke sumber CO<sub>2</sub> terpilih, minimum diperlukan pipa distribusi sepanjang 203.65 Km.

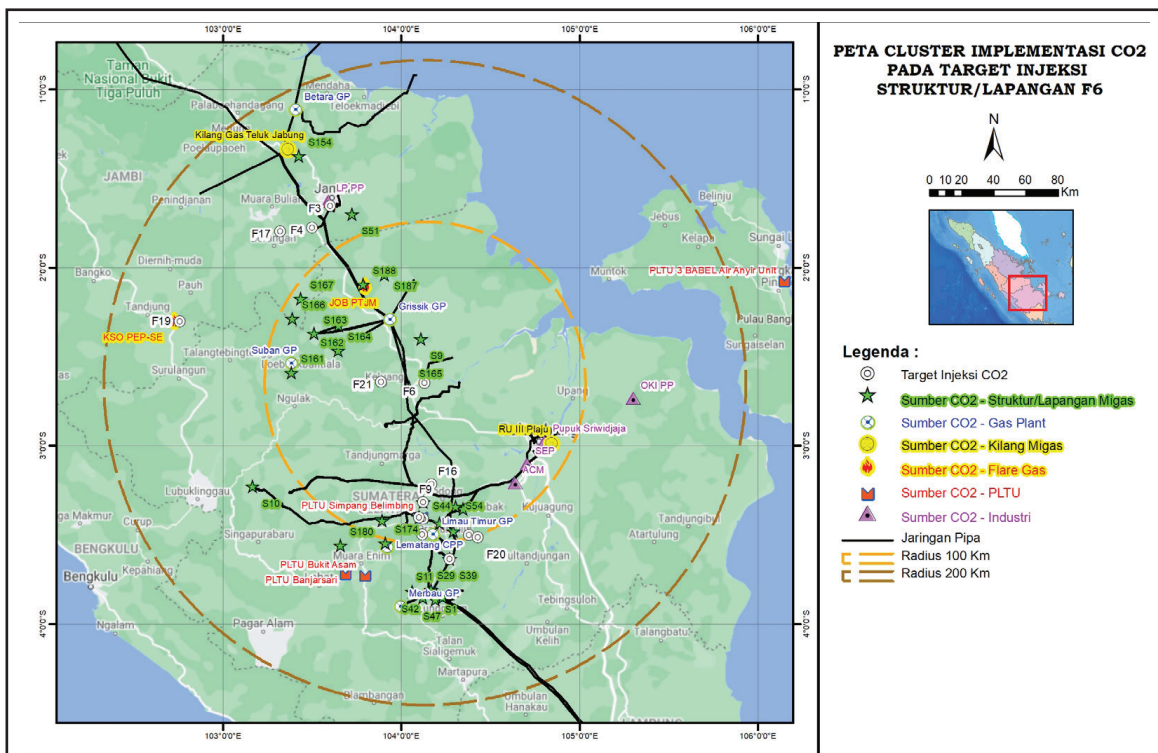
Pemilihan sumber selanjutnya dapat mempertimbangkan ketersediaan CO<sub>2</sub> removal, jarak dan *lifetime* dari sumber CO<sub>2</sub>, agar dapat berkelanjutan. Dalam Karya Tulis Ilmiah ini juga merekomendasikan sumber-sumber CO<sub>2</sub> yang dapat dijadikan *single source* dengan pertimbangan keekonomian.

Peta *network clustering* juga menginformasikan struktur PQR yang dilengkapi dengan sumber struktur sesuai batasan *cluster* yang sudah disepakati dalam diskusi *expert judgement*, sehingga terdapat *network cluster* untuk radius 100 kilometer dan *network cluster* untuk 200 kilometer. Pada *network cluster* 100 kilometer ditunjukkan bahwa yang paling berpotensi sebagai sumber adalah Instalasi Gas (*Gas Plant*) Grissik dengan *capture* CO<sub>2</sub> sebesar 6,994.80 TPD, namun PLTU Simpang Belimbing dan Instalasi Gas Suban pun juga dapat berpotensi sebagai sumber CO<sub>2</sub> karena kebutuhan CO<sub>2</sub> untuk implementasi skala penuh diperlukan 3,000 TPD hingga 4,000 TPD. Pemilihan sumber selanjutnya dapat mempertimbangkan ketersediaan CO<sub>2</sub> removal, jarak dan *lifetime* dari sumber CO<sub>2</sub>. Dalam Karya Tulis Ilmiah ini juga merekomendasikan sumber-

sumber CO<sub>2</sub> yang dapat dijadikan *single source*. Hasil analisis dapat disimulasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Sumatera Selatan bermanfaat untuk menambah pasokan listrik interkoneksi Sumatera Selatan utamanya ke arah utara. Sedangkan CO<sub>2</sub> PLTU Simpang Belimbing sebagai sumber utama injeksi CO<sub>2</sub>-EOR di Sumatera Selatan bagian selatan.

## HASIL DAN DISKUSI

CO<sub>2</sub> Enhanced Oil Recovery (CO<sub>2</sub>-EOR) menawarkan potensi untuk menyimpan volume emisi karbon dioksida yang signifikan sekaligus meningkatkan produksi minyak. Beberapa manfaat penting akan diperoleh dari mengintegrasikan penyimpanan CO<sub>2</sub> dan peningkatan perolehan minyak. Sehingga mampu menjembatani pembiayaan apabila hanya dilakukan CCS saja. Dengan demikian CO<sub>2</sub> yang telah ditangkap dapat dijual atau dimanfaatkan untuk EOR (Fercusen, dkk., 2009). Pada akhir 2016, ada 38 proyek CCS dan CCUS skala besar yang beroperasi atau sedang dibangun dan direncanakan pembangunannya (Liu, dkk., 2017). Sedangkan di Indonesia proyek pilot CCUS belum ada. Teknologi CO<sub>2</sub>-Enhanced Oil Recovery (CO<sub>2</sub>-EOR), yang



Gambar 8  
Peta *Network Clustering* di Sumatera Selatan.

telah banyak diterapkan di Amerika Utara, dapat menyimpan sekitar 75 juta ton CO<sub>2</sub> dari proyek *Carbon Capture and Storage* (CCS). Ini juga dapat meningkatkan produksi minyak dari reservoir di bawah Laut Utara sebesar 10% hingga 25%. (<https://www.sccs.org.uk/ccs-with-co2enhanced-oil-recovery>).

Sebagian besar lapangan minyak di Indonesia sudah pada tahap *depleted* dan selanjutnya dilakukan implementasi teknologi EOR untuk meningkatkan produksi minyak. Jadi, potensi CCUS di lapangan minyak Indonesia sangat besar, namun diperlukan *screening* dan kajian yang sangat detail dari kandidat lapangan minyak untuk dapat melakukan penerapan CCUS, serta tersedianya sumber CO<sub>2</sub> dengan jarak yang terdekat, sehingga secara keekonomian layak untuk dapat dilaksanakan. Lapangan EOR sebagai kandidat dipilih berdasarkan isi minyak awal atau OOIP besar dan jarak dengan sumber CO<sub>2</sub> yang relatif dekat (*source sink matching*), dua lapangan migas terpilih sebagai kandidat; F6, dan F21. Hasil analisis berbagai sumber data, dari 7 lapangan migas di *Cluster* Lapangan PQR, dipilih 2 lapangan tersebut sebagai kandidat untuk diinjeksi CO<sub>2</sub> (Tabel 1).

Jumlah isi minyak awal pada 2 (dua) lapangan tersebut 365,850.00 MSTB, terdapat potensi produksi injeksi CO<sub>2</sub> sebesar 54,877.50 MSTB dan kebutuhan CO<sub>2</sub> untuk injeksi sebesar 21,951.00 Mton. *Network clustering* dilakukan untuk sumber-sumber CO<sub>2</sub> yang terbagi ke dalam enam jenis sumber, yaitu Struktur/lapangan, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU),

Stasiun Pengumpul Gas, Kilang Migas, Gas *Flare* / gas suar bakar serta sumber-sumber yang berasal dari industri, dalam hal ini terutama diwakili industri semen, pupuk dan kertas. Metode yang sama pada struktur kandidat dilakukan untuk pembuatan *network clustering* sumber CO<sub>2</sub> ini. *Cluster* dibuat dengan radius yang sama yaitu 100 km dan 200 km sehingga akan diketahui *network/jaringannya* terhadap struktur kandidat implementasi. Selanjutnya menggunakan aplikasi GIS disusun alternatif sumber CO<sub>2</sub> yang berada pada radius 100 km, termasuk jarak dan *Right of Way* (ROW) pipa eksisting untuk merencanakan panjang pipa khusus distribusi CO<sub>2</sub>, tertuang dalam Tabel 2.

Melihat tabel tersebut dapat dilakukan perencanaan sumber yang paling potensial dimanfaatkan untuk CO<sub>2</sub> adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang memiliki potensi dengan *rate* yang relatif tinggi. Selain itu, sumber lainnya adalah struktur/lapangan penghasil CO<sub>2</sub> serta Stasiun Pengumpul Gas yang memiliki *rate* CO<sub>2</sub> rata-rata sesuai kebutuhan implementasi. Sebagai contoh *network clustering* dari sumber CO<sub>2</sub> PLTU Simpang Belimbing, dengan *rate* CO<sub>2</sub> 4,775 TPD secara lokasi memiliki *network* yang banyak terhadap lapangan-lapangan kandidat yang berlokasi di Sumatera Bagian Selatan. Pemanfaatan listrik PLTU guna menambah pasokan listrik interkoneksi Sumatera Selatan utamanya ke arah utara, sedangkan CO<sub>2</sub> untuk EOR di Sumatera Selatan Bagian Selatan.

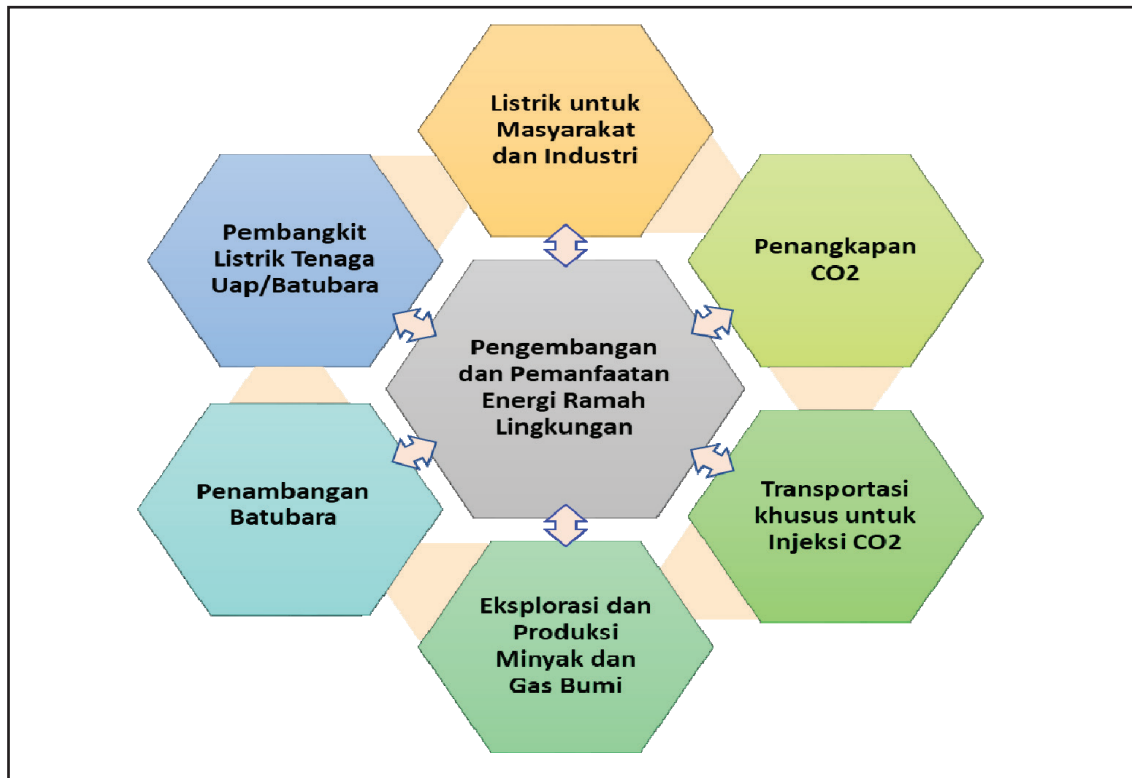
Tabel 1  
Potensi injeksi CO<sub>2</sub>

Lapangan	Isi Minyak Awal (MSTB)	Potensi Produksi Injeksi CO <sub>2</sub> (MSTB)	Kebutuhan CO <sub>2</sub> (Mton)	Status Injeksi
F6	92,550.00	13,882.50	5,553.00	Terbaur
F12	273,300.00	40,995.00	16,398.00	Terbaur
<b>Total</b>	<b>365,850.00</b>	<b>54,887.50</b>	<b>21,951.00</b>	

Tabel 2  
Sumber CO<sub>2</sub> untuk penerapan injeksi CO<sub>2</sub>-EOR

No.	Struktur Kandidat	Sumber CO <sub>2</sub> SPG Terdekat	Rate SPG (ton/hari)	Jarak SPG	Sumber CO <sub>2</sub> Struktur Terdekat	Rate Struktur (ton/hari)	Jarak Struktur	Sumber CO <sub>2</sub> PLTU Terdekat	Rate PLTU (ton/hari)	Jarak PLTU	ROW Pipa Eksisting
1	F6	SPG Grissik	6,740.00	45.12	Bentayan	332.0	27.47	SMPG Belimbing	4,775.00	84.14	Ada
2	F12	SPG Grissik	6,740.00	39.5	Bentayan	332.0	36.6	SMPG Belimbing	4,775.00	88.3	Tidak Ada





Gambar 9  
Siklus Penangkapan dan Injeksi CO<sub>2</sub>

Upaya kompilasi pengembangan dan pemanfaatan energi ramah lingkungan digambarkan sebagai suatu siklus seperti Gambar 9.

CO<sub>2</sub> produksi dari suatu lapangan migas mampu sebagai fasilitas dan sarana utama CCUS-EOR. Dengan penambangan batubara sebagai bahan bakar utama PLTU, tenaga listrik yang dihasilkan mendukung pasokan listrik untuk kehidupan sehari-hari masyarakat, industri untuk meningkatkan perekonomian. Tangkapan CO<sub>2</sub> dari PLTU ditransport kemudian diinjeksikan pada lapangan minyak dan gas bumi, sehingga akan bermanfaat meningkatkan produksi lapangan *brownfield* (ladang tua) dan muaranya mampu meningkatkan produksi migas yang ramah lingkungan sekaligus sebagai upaya pengurangan CO<sub>2</sub>.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Lapangan untuk injeksi CO<sub>2</sub>-EOR sebagai kandidat dipilih berdasarkan total kandungan minyak dan jarak dengan sumber CO<sub>2</sub> yang relatif dekat (*source sink matching*), dua lapangan migas terpilih sebagai kandidat, yaitu lapangan F21 dan F6.

Alternatif skenario *buffer zone* dengan target pusat klaster lapangan migas potensial PQR, pada

radius 100 km utamanya akan didukung CO<sub>2</sub> hasil PLTU Simpang Belimbing dan untuk dua lapangan kandidat. Total jumlah isi minyak awal lapangan F21 dan F6 sebesar 365,850.00 MSTB, terdapat potensi produksi minyak dengan penerapan injeksi CO<sub>2</sub>-EOR sebesar 54,877.50 MSTB dan kebutuhan CO<sub>2</sub> untuk injeksi sebesar 21,951 Mton.

Jumlah Emisi CO<sub>2</sub> Tahunan sebesar 1,743,029 Ton, sedangkan potensi CO<sub>2</sub> sebesar 4,775 TPD. Dilakukan perencanaan sumber yang paling potensial dimanfaatkan untuk CO<sub>2</sub> adalah PLTU Simpang Belimbing. Pada radius jarak 100 Km ditemukan sumber CO<sub>2</sub> lainnya yang paling berpotensi adalah Stasiun Pengumpul Gas Suban dan Grissik dengan rate CO<sub>2</sub> sebesar 6,994.80 TPD.

Survey lapangan menghasilkan informasi fasilitas pipa khusus distribusi CO<sub>2</sub> guna menunjang injeksi CO<sub>2</sub>. Pengukuran jarak datar sekaligus untuk menghitung panjang pipa dari lapangan migas ke sumber CO<sub>2</sub> terpilih. Jarak lurus dari F6 ke Stasiun Pengumpul Gas Grissik dengan panjang 45.12 km. Instalasi Stasiun Pengumpul Gas Suban dengan jarak lurus 74.38 km, sedangkan antara PLTU Simpang Belimbing dan lapangan migas F6 berjarak 84.15 km. Hasil penjumlahan panjang pipa dari lapangan migas ke sumber CO<sub>2</sub> terpilih, minimum diperlukan pipa distribusi sepanjang 203.65 km. *Network clustering*

struktur PQR direkomendasikan sebagai model untuk perencanaan sumber-sumber CO<sub>2</sub> yang terbagi ke dalam enam jenis sumber, yaitu Struktur/lapangan penghasil CO<sub>2</sub>, PLTU, Stasiun Pengumpul Gas, Kilang Migas, *gas flare*/gas suar bakar serta sumber-sumber yang berasal dari industri (terutama industri semen, pupuk dan kertas).

Pemanfaatan PLTU guna menambah pasokan listrik interkoneksi Sumatera Selatan utamanya ke arah utara, sedangkan CO<sub>2</sub> untuk EOR di Sumatera Selatan Bagian Selatan. Pemetaan sumber CO<sub>2</sub> yang dilakukan digunakan untuk referensi pengembangan struktur/lapangan terkait dengan upaya peningkatan produksi minyak sekaligus sebagai upaya pengurangan CO<sub>2</sub>.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Bambang Widarsono, M.Sc sebagai Peneliti Ahli Utama yang memberikan semangat kepada penulis dan mengoreksi Karya Tulis Ilmiah ini. Terima kasih kepada Tim PERTAMINA EP yang sudah melakukan kerjasama penelitian dengan PPPTMGB “LEMIGAS”, terima kasih juga kepada Tim Eksplorasi dan Eksploitasi PPPTMGB “LEMIGAS” yang bersama-sama melaksanakan survei lapangan dan diskusi dalam Tim.

### DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>	
CCUS	<i>Carbon Capture Utilization and Storage</i>	
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>	
GGR	<i>Geology Geophysics and Reservoir</i>	
GIS	<i>Geographic Information System</i>	
GP	<i>Gas Plant</i>	
KKKS	Kontraktor Kontrak Kerja Sama	
Km	Kilometer	
NCV	<i>Net Calorific Value</i>	

Simbol	Definisi	Satuan
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap	
ROW	Right of Way	
SPG	Stasiun Pengumpul Gas	
TPD	<i>Tones Per Day</i>	
IOIP	<i>Initial Oil In Place</i>	
WAG	<i>Water Alternating Gas</i>	
PQR	inisial nama lapangan minyak dan gas bumi di Sumatera Selatan	

### KEPUSTAKAAN

- Aladasani, A. & Bai, B.**, 2010. *Recent Developments and Updated Screening Criteria of Enhanced Oil Recovery Techniques. Internasional Oil and Gas Conference and Exhibition*, Beijing, China, Society of Petroleum Engineers (SPE).
- Brioletty, L. & Sunarjanto, D.**, 2018. Laporan *Groundcheck Survey PLTU Cirebon Power, LEMIGAS-PERTAMINA* (Unpublished), Jakarta: Lemigas.
- Ferguson, R. C., Nichols, C., VanLeeuwen, T. & Kuuskraa, V.A.**, 2009. *Storing CO<sub>2</sub> with Enhanced Oil Recovery. Energy Procedia*, 1(1), pp. 1989-1996.
- Firdaus, N., Oktokilian, R. & Saputra, D. D.**, 2019. *Source-Sink Matching for CO<sub>2</sub>-EOR Application with Network Clustering Methods in Pertamina EP Fields. Joint Convention Yogyakarta 2019*, HAGI – IAGI – IAFMI -IATMI Yogyakarta, JCY.
- Hedriana, O., Sugihardjo & Usman**, 2017. *Assessment of CO<sub>2</sub>- EOR and Storage Capacity in South Sumatera and West Java Basins. 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Energy Procedia*, Volume 114, pp. 4666-4678.
- Lemigas-Pertamina**, 2019. Pemetaan Potensi Implementasi Injeksi CO<sub>2</sub> di Indonesia (Unpublished), Jakarta: Lemigas.
- Liu, H. J., Were, P., Li, Q., Gou, Y., & Hou, Z.**, 2017. *Worldwide Status of CCUS Technologies and Their Development and Challenges in China. Geofluids*, pp. 1-25.
- Romli, M. & Suliantara**, 2018. Laporan *Groundcheck Survey PLTU Asam-asam, Kalimantan Selatan* (tidak dipublikasikan), Jakarta: Lemigas-Pertamina.

- Saputra, D. D., Sugihardjo & Tobing, E. M.**, 2018. Studi Kelayakan untuk Implementasi Injeksi CO<sub>2</sub> Skala Pilot di Lapangan Minyak A, Sumatera Selatan. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 52(1), pp. 15-24.
- SKK Migas**, 2019. *The Potential of CO<sub>2</sub> EOR in Indonesia*, Indonesia Japan CCUS Symposium, 14 March 2019.
- Sugihardjo, Usman & Tobing, E. M.**, 2012. *Preliminary Carbon Utilization and Storage Screening of Oil Fields in South Sumatra Basin*. *Scientific Contributions Oil & Gas*, 35(2), pp. 57-65.
- Sunarjanto, D., Suliantara, Iskandar, U. P. & Nainggolan, M. T.**, 2014. Sistem Informasi Geografi untuk Optimasi Eksplorasi dan Pengembangan Wilayah Migas. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 48(1), pp. 1-12.
- Sunarjanto, D. & Widjaja, S.**, 2013. *Potential Development of Hydrocarbon in Basement Reservoirs In Indonesia*. *Indonesian Journal on Geoscience*, 8(3), pp. 151-161.
- Taber, J. J., Martin, F. D. & Seright, R. S.**, 1977. *EOR Screening Criteria Revisited-Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects*. *SPE Reservoir Engineering*, 12(03), pp. 189-198.
- Usman**, dkk. 2010. Potensi Penyimpanan CO<sub>2</sub> di Formasi Geologi (tidak dipublikasikan), Jakarta: Balitbang ESDM.