

PROSPEK *CARBON CAPTURE AND STORAGE* (CCS) CEKUNGAN LUWUK-BANGGAI  
DARI SUDUT PANDANG GEOLOGI  
*CARBON CAPTURE AND STORAGE (CCS) PROSPECT OF THE LUWUK-BANGGAI BASIN  
FROM GEOLOGICAL POINT OF VIEW*

Oleh :

Syaiful Bachri

Pusat Survei Geologi  
Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122  
e-mail: [syaifulbachri666@yahoo.co.id](mailto:syaifulbachri666@yahoo.co.id)

## Abstrak

Berdasarkan data kegempaan, daerah Cekungan Luwuk-Banggai kurang prospek terhadap pembangunan konstruksi *carbon capture and storage* (CCS). Namun keberadaan lapangan-lapangan migas di daerah ini memungkinkan diaplikasikan metode CCS dengan tujuan meningkatkan produksi migas, yaitu dengan sistem EOR (*enhanced oil recovery*) dengan menggunakan batuan waduk migas sebagai *geological storage*. Disamping itu, program CCS dengan menginjeksikan CO<sub>2</sub> ke dalam akifer dalam berair asin dianggap aman karena CO<sub>2</sub> yang bereaksi dengan air asin akan membentuk zat padat bersusunan karbonat sehingga sulit mengalami kebocoran.

Kata kunci : CCS, EOR, akifer air asin, Cekungan Luwuk-Banggai.

## Abstract

*On the basis of seismicity data, the Luwuk – Banggai Basin is considered to be not prospect for CCS development. However, the presence of several oil and gas fields in this basin enables to apply a method in order to enhance oil and gas productivity by using EOR method where the reservoir rocks are used as geological storage. Moreover, the CCS program by injecting CO<sub>2</sub> to saline aquifer is considered to be save, since the reaction between CO<sub>2</sub> and saline water will produce carbonate in solid state that may prevent from leakage.*

*Keywords: CCS, EOR, saline aquifer, Luwuk-Banggai Basin.*

## Pendahuluan

### Latar Belakang

CCS (*Carbon Capture and Storage* atau *Carbon Capture and Sequestration*) adalah proses penangkapan CO<sub>2</sub> buangan dari sumber utama, seperti pusat-pusat listrik berbahan *fossil fuel*, kemudian mengangkutnya ke tempat penyimpanan, kemudian menyimpannya dalam formasi geologi di bawah permukaan sehingga tidak memasuki atmosfer.

CCS merupakan sarana mitigasi perubahan iklim dengan cara mengendalikan emisi gas rumah kaca, khususnya CO<sub>2</sub>, untuk menghindari pemanasan global. Keberadaan gas rumah kaca sangat penting untuk mempertahankan suhu bumi tetap hangat. Namun, jika konsentrasinya melebihi batas normal, gas-gas ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan di permukaan bumi yang berimbas pada

kenaikan temperatur permukaan bumi atau yang sering disebut dengan pemanasan global.

Salah satu faktor yang sangat penting dan dominan dalam menerapkan metode CCS yang akan digunakan adalah data geologi, seperti ketersediaan *geological storage*, keberadaan akifer dalam berair asin, keberadaan ladang-ladang migas sumber produksi CO<sub>2</sub>, serta kerentanan terhadap bahaya kebencanaan geologi. Berdasarkan aspek-aspek geologi tersebut, suatu wilayah atau daerah dapat dikatakan prospek atau tidak prospek terhadap konstruksi suatu metode CCS.

### Metodologi

Makalah ini terutama didasarkan pada data kebencanaan geologi, khususnya yang terdapat di Badan Geologi serta hasil penelitian penulis terdahulu, data keterdapatan ladang-ladang migas, serta data stratigrafi Cekungan Luwuk-Banggai dari penulis terdahulu ditambah hasil pengecekan lapangan.

Seluruh data tersebut dirangkum untuk mengetahui tipe *geological storage* yang sesuai dengan kondisi geologi.

#### Beberapa metode CCS

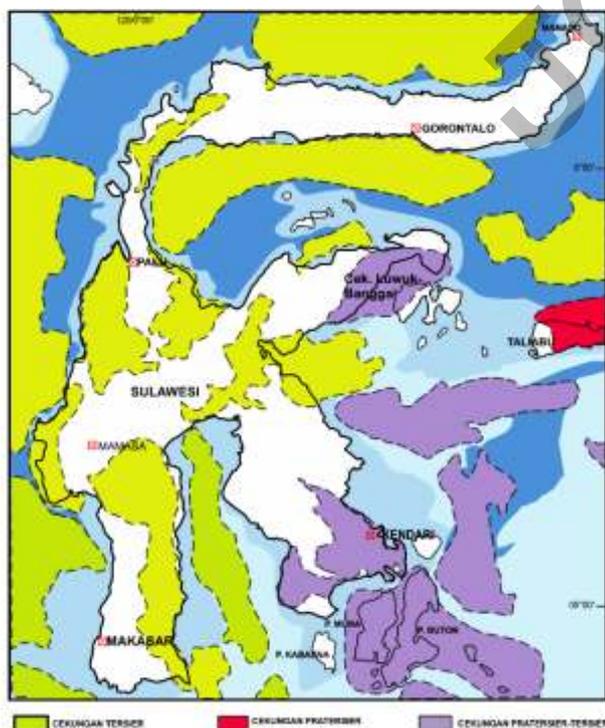
Terdapat beberapa macam cara penyimpanan gas CO<sub>2</sub> di dalam perut bumi, antara lain:

1. Penginjeksian CO<sub>2</sub> ke dalam batuan waduk migas
2. Penginjeksian CO<sub>2</sub> ke dalam batuan waduk CBM atau pada batubara dalam (*unmineable*).
3. Penginjeksian CO<sub>2</sub> ke dalam batuan waduk hidrat gas
4. Penginjeksian CO<sub>2</sub> ke dalam akuifer dalam berair asin
5. Pemerangkapan CO<sub>2</sub> ke dalam batuan mafik - ultramafik (ofiolit)

Dengan mempertimbangkan aspek-aspek geologi yang akan dibahas, akan ditentukan metode mana yang akan disarankan diterapkan di Cekungan Luwuk-Banggai.

#### Tipe Cekungan Banggai-Sula

Cekungan Luwuk - Banggai bagian barat terletak di daerah Kabupaten Luwuk, yang berbatasan dengan laut di sebelah timurnya. Sementara bagian timurnya

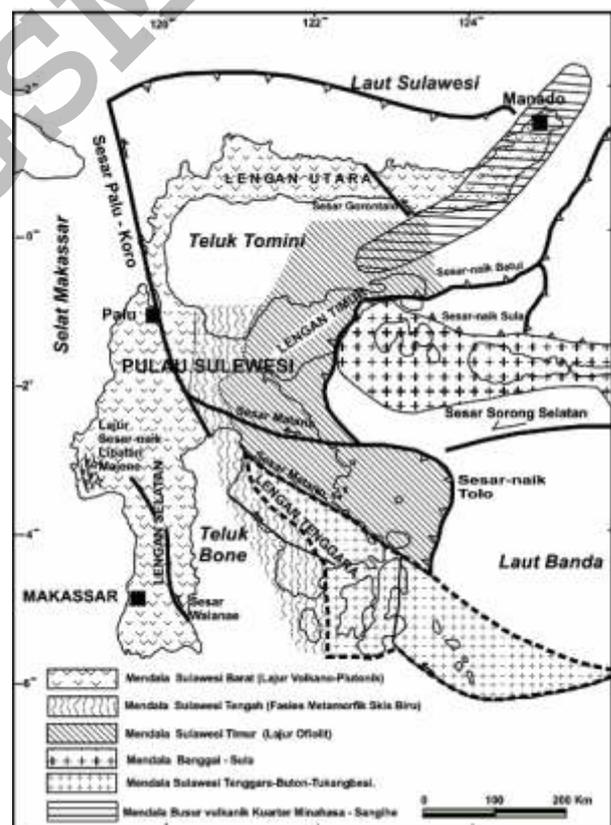


Gambar 1. Sebaran cekungan sedimen di Sulawesi dan sekitarnya (Badan Geologi, 2009a).

terletak di bagian barat Mendala Banggai-Sula, tepatnya di bagian barat Pulau Peleng (Gambar 1). Cekungan ini berdasarkan umurnya dapat diklasifikasikan sebagai cekungan Pra-Tersier yang menyambung ke Tersier, sementara berdasarkan genesisnya dapat diklasifikasikan sebagai cekungan *passive margin* yang mengalami *rifting* (Badan Geologi, 2009a). Cekungan ini dikenal sebagai cekungan yang telah berproduksi minyak dan gas bumi, terutama gas (Hasanusi dr., 2012).

#### Geologi Regional

Sulawesi terbagi menjadi 4 (empat) mendala geologi utama, yaitu (1) Mendala Sulawesi Barat, merupakan busur vulkano-plutonik yang membentang dari lengan selatan sampai lengan utara, (2) Mendala Sulawesi Tengah, yang ditempati oleh fasies metamorfik skis biru, (3) Mendala Sulawesi Timur, yang merupakan lajur ofiolit, dan (4) Mendala Benua yang terdiri atas blok benua Banggai - Sula dan blok benua Sulawesi Tenggara - Buton - Tukangbesi (Sukamto, 1975; Simandjuntak, 1993; Helmers dr., 1990; Smith dan Silver, 1991).



Gambar 2. Pembagian mendala geologi daerah Sulawesi dan sekitarnya, dikompilasi berdasarkan Sukamto (1975), Simandjuntak (1993), Helmers dr. (1990), Parkinson(1991), Smith & Silver (1991), and Bachri & Baharuddin, 2001).

Selain ke empat mendala geologi tersebut, di lengan utara Sulawesi pada Kuartar terbentuk Busur vulkanik Kuartar Minahasa - Sangihe (Gambar 2).

Pembentukan mandala-mendala geologi tersebut, kecuali Busur vulkanik Kuartar Minahasa-Sangihe, terkait dengan tumbukan antara Daratan Sunda, sebagai bagian paling timur dari lempeng benua Eurasia dan beberapa benua-renek yang berasal dari lempeng benua Australia.

Provinsi Geologi Sulawesi Barat terbentuk sebagai lajur vulkano-plutonik yang secara fisiografi menempati atau menyusun lengan selatan sampai lengan utara Sulawesi. Lengan Selatan. Lengan Selatan, yang didominasi oleh batuan vulkanik dan plutonik berumur Miosen, tertumpang-tindihkan di tepian timur Daratan Sunda yang merupakan bagian paling timur lempeng Eurasia (Katili, 1978; Silver dr.,1983).

Mendala Sulawesi Tengah (Lajur Metamorfik) ditempati oleh fasies malihan sekis biru. Sementara itu, Mendala Sulawesi Timur meliputi lengan timur dan lengan tenggara Sulawesi, yang dicirikan oleh keberadaan lajur ofiolit dan terrain benua berumur Kapur Akhir. Ofiolit tersebut terobdaksikan pada Miosen (Smith & Silver, 1991).

Mendala blok benua Banggai – Sula, serta Sulawesi Tenggara, Buton dan Tukangbesi merupakan blok benua alochton yang terpisah dari Benua Australia, yang dicirikan oleh keberadaan batuan malihan, sedimen dan intrusi berumur Paleozoik sampai Mesozoik.

Sesar-naik Batui merupakan kontak tektonik antara Blok Benua Banggai-Suladengan Lajur Ofiolit Sulawesi Timur, yang terjadi pada Neogen (Simandjuntak, 1993). Lajur ofiolit terletak pada sisi *hanging wall* sementara blok benua terletak pada bagian *foot wall*.

Keberadaan tidak kurang dari tiga undak bagugamping koral Kuartar di sepanjang pantai selatan lengan timur mengindikasikan bahwa sampai kini telah terjadi pengaktifan kembali sesar naik tersebut (Simandjuntak, 1993).

### Stratigrafi

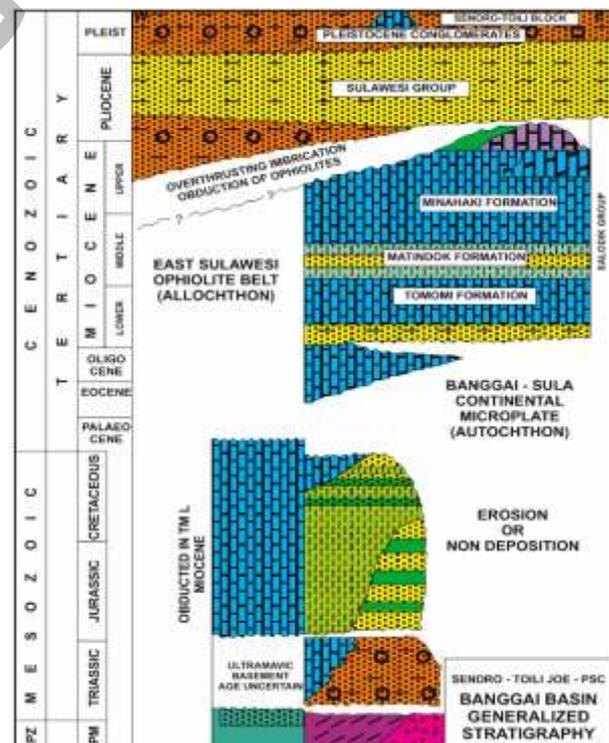
Stratigrafi Cekungan Luwuk - Banggai secara umum dapat dibagi menjadi dua periode waktu. Pertama, mewakili sekuen pengendapan pada masa *rifting* dan *drifting* batas kontinen sebelum tumbukan. Kedua, mewakili sekuen pengendapan molassa pada cekungan *foreland* setelah tumbukan. Kolom stratigrafi Cekungan Luwuk - Banggai disajikan di

Gambar 3. Batuan alas Mikrokontinen Banggai Sula terdapat di singkapan Pulau Peleng dan di beberapa sumur di Blok Tomori (Tomori PSC ), di dominasi oleh sekis yang telah diintrusi oleh granit berumur Permo-Trias.

Beragam singkapan batuan Mesozoikum telah terekam di Cekungan Luwuk - Banggai sebagai jendela tektonik, utamanya di dalam lajur ofiolit. Batuan berumur Trias sampai Kapur terdiri atas batugamping dan serpih pelagik laut dalam, turbidit, batugamping dan batupasir laut dangkal. Berdasarkan interpretasi seismik, diperkirakan sekitar 14.000 kaki batuan sedimen Tersier terdapat di bagian tengah pada lepas pantai Blok Tomori. Sedimen ini menebal secara signifikan kearah barat dan barat daya.

Batuan alas ditindih secara lokal oleh klastika kasar dan karbonat tipis berumur Paleogen (Eosen Akhir – Awal Oligosen) dan secara regional ditindih oleh sekuen tebal batuan klastik dan karbonat Miosen (Kelompok Salodik).

Kelompok Salodik dapat dibagi menjadi tiga satuan, yaitu Formasi Tomori (sebelumnya dikenal sebagai Lower Platform Limestone Unit), Formasi Matindok (unit klastik dan batubara) dan Formasi Minahaki (*Upper Platform Limestone Unit*).



Gambar 3. Stratigrafi Regional Cekungan Luwuk – Banggai (Hasanusi dr., 2012).

Formasi Tomori, berumur Miosen Awal, utamanya terdiri dari batugamping bioklastik laut dangkal, setempat dolomitik, dengan sedikit batulempung dan batubara. Batuan karbonat ini terendapkan di platform laut dangkal.

Tidak ada bukti langsung mengenai adanya terumbu yang luas, tapi indikasi adanya perkembangan *patch reef* dapat diamati dari adanya debris terumbu. Secara lokal, bagian ini terdolomitasi secara luas. Formasi Tomori membentuk batuan waduk untuk akumulasi minyak bumi di Lapangan Tiaka. Unit ini juga mengandung potensi batuan induk yang baik sampai bagus yang dipercaya sebagai sumber hidrokarbon pada wilayah Blok Tomori (Hasanusi dr., 2012).

Di atasnya adalah Formasi Matindok, berumur Miosen Tengah, umumnya terdiri dari batulempung dengan sedikit batupasir, batugamping dan batubara. Dua lapisan pasir tipis yang mengandung gas hadir di sumur Tiaka-1. Serpih dan batubara dalam unit ini mempunyai potensi sebagai batuan sumber hidrokarbon (Hasanusi dr., 2012).

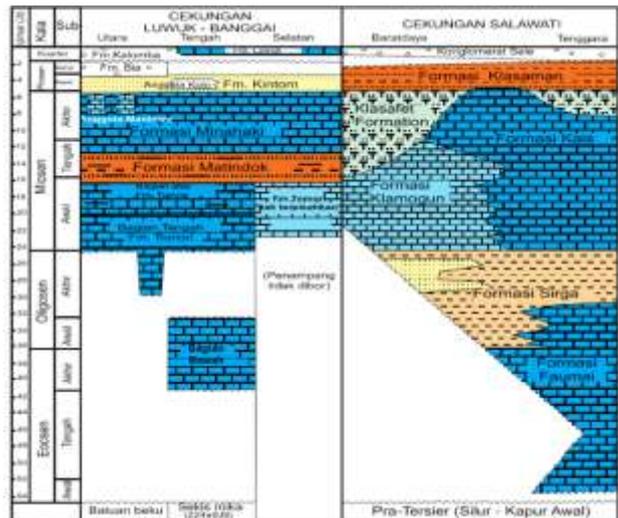
Formasi Minahaki, berumur Miosen Akhir, menindih Formasi Matindok, dan terdiri dari sekuen campuran klastik dan karbonat pada bagian bawah dan batugamping yang sangat bersih dan sarang di bagian atas. Di bagian utara, Formasi Minahaki ditutupi oleh reefal buildups berumur Miosen Akhir (Anggota Mantawa). Bagian ini merupakan batuan waduk gas yang produktif di struktur Mantawa, Minahaki dan Matindok (Hasanusi dr., 2012).

Karbonat Miosen ini ditindih secara tidak selaras oleh Kelompok Sulawesi (sebelumnya dikenal sebagai *Celebes Molasse*), yang berumur Plio-Plistosen, yang terdiri dari klastik berbutir halus dan kasar, bersortasi buruk yang diendapkan secara cepat, dengan material ultramafik dari ofiolit yang terobduksi sebagai komponen utama. Kelompok Sulawesi ini terdiri dari bawah ke atas adalah Formasi Kintom, Formasi Bia, dan Formasi Kalomba yang ditindih oleh Formasi Luwuk (Gambar 4).

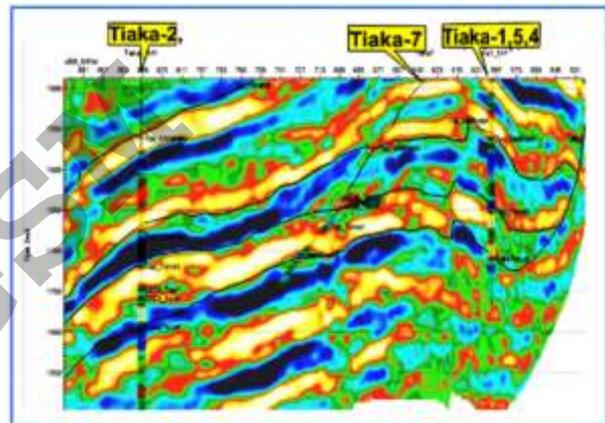
Data pemerangkapan migas

Terdapat beberapa jenis perangkap di Cekungan Luwuk – Banggai, antara lain yang sudah dikenal adalah sebagai berikut:

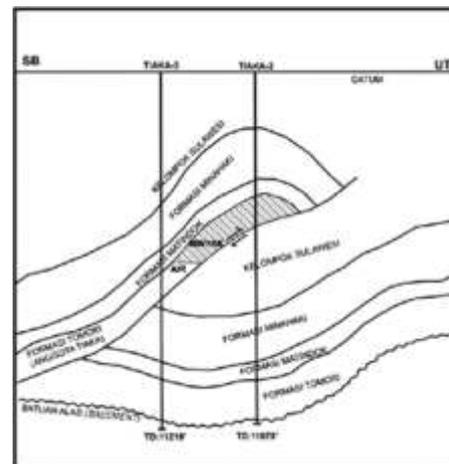
- (1). Perangkap antiklin yang berasosiasi dengan sesar-naik (*thrust sheet anticline*). Perangkap jenis ini merupakan *play* hidrokarbon utama di



Gambar 4. Korelasi stratigrafi Cekungan Luwuk-Banggai dengan Cekungan Salawati, dikompilasi oleh Charlton (1996) berdasarkan peta geologi terbitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.



Gambar 5. Penampang seismik melewati titik bor 1,2,4,5 dan 7 di lapangan Tiaka yang menunjukkan perangkap *thrust sheet anticline* (Hasanusi dr., 2004).



Gambar 6. Sketsa penampang geologi titik bor Tiaka-2 dan Tiaka-3 yang menunjukkan perangkap *thrust sheet anticline* (Hasanusi dr., 2004).

Cekungan Luwuk – Banggai, berupa batugamping Formasi Tomori yang membentuk *thrust sheet anticline* yang di bagian bawahnya disekat oleh Kelompok Sulawesi, sementara bagian atasnya ditutupi oleh Formasi Minahaki. Contoh dari perangkap ini adalah di lapangan Tiaka (Hasanusi dr., 2004) (Gambar 5 dan 6).

- (2). Perangkap kombinasi stratigrafi (*carbonate build – up*) dengan struktur (antiklin). Terumbu batugamping di sini berumur Miosen Akhir, di bagian bawah disekat oleh Formasi Minahaki dan di bagian atas ditutup oleh Kelompok Sulawesi (Formasi Kintom). Contoh perangkap ini misalnya di titik bor Mantawa 1, Minahaki 1, Boba1, dan Senoro 1 (Pertamina – BPPKA, 1996, dalam Zulkarnain, 2010; Hasanusi dr., 2004).

- (3). Struktur yang terbentuk oleh sesar mendatar

Perangkap ini berupa blok-blok sesar dengan atau tanpa struktur antiklin yang teridentifikasi dari horizon seismik top karbonat Miosen. Pada umumnya bagian atas perangkap ini tersekat oleh sedimen klastik Kelompok Sulawesi (Pertamina – BPPKA, 1996, dalam Zulkarnain, 2010).

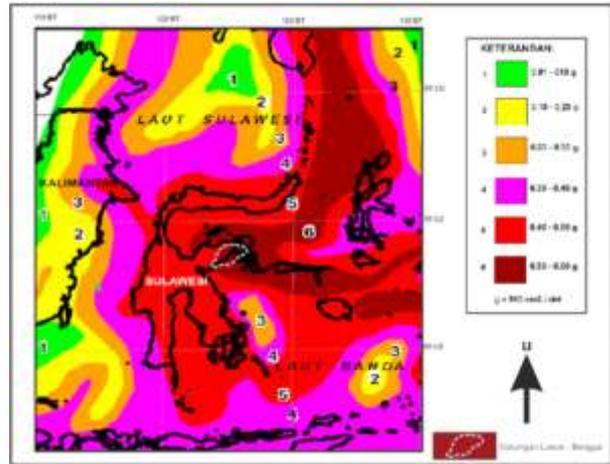
**Kerentanan Terhadap Bahaya Bencana Geologi**

Cekungan Luwuk - Banggai terletak di kawasan yang relatif jauh dari gunungapi. Gunungapi terdekat adalah Gunungapi Una-Una yang terletak di Teluk Tomini. Oleh karena itu daerah ini cukup aman dari bahaya gunungapi.

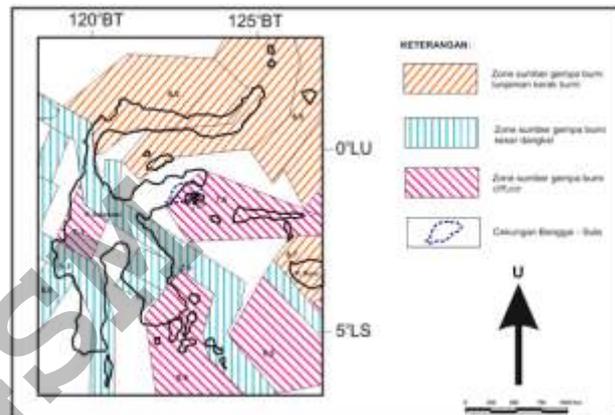
Berdasarkan peta percepatan puncak batuan dasar, Cekungan Luwuk –Banggai secara keseluruhan ditempati oleh percepatan tinggi (0,50 – 0,80 g) (Gambar 7). Ini menunjukkan bahwa daerah tersebut sangat riskan akan bahaya gempa bumi (Badan Geologi, 2009b).

Sementara itu, berdasarkan peta zone sumber gempa bumi (Gambar 8), sebagian besar wilayah Cekungan Luwuk – Banggai diliputi zone sumber gempa bumi dengan *magnitude* sebesar 7,6. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar daerah tersebut tidak aman terhadap ancaman gempa bumi (Badan Geologi, 2009b).

Analisis risiko gempa terinci di lapangan Tiaka, yang dianggap mewakili daerah Cekungan Luwuk-Banggai juga pernah dilakukan oleh Dariyanto (2005) yang



Gambar 7. Peta percepatan puncak batuan dasar daerah Sulawesi dan sekitarnya, periode ulang 50 tahun (Badan Geologi, 2009b).



Gambar 8. Peta zone sumber gempa bumi wilayah Sulawesi dan sekitarnya (Badan Geologi, 2009b).

hasilnya tidak jauh berbeda dengan yang dikemukakan oleh Badan Geologi (2009b).

**Prospek penerapan CCS**

Secara umum berdasarkan analisis di muka, yaitu berdasarkan kerentanan terhadap bencana geologi, daerah Cekungan Luwuk – Banggai dinyatakan merupakan daerah tidak aman untuk program penyimpanan CO<sub>2</sub>. Namun, di Cekungan Luwuk - Banggai terdapat beberapa lapangan migas yang terutama menghasilkan gas seperti di Blok Matindok, namun beberapa diantaranya juga merupakan lapangan minyak, misal di Lapangan Senoro, Blok Senoro – Toili, dan lapangan Tiaka di Blok Tomori. Oleh karena itu, dari beberapa lapangan penghasil gas dapat diharapkan ditangkap CO<sub>2</sub>nya guna diinjeksikan ke beberapa ladang minyak bumi, untuk meningkatkan produksi minyak bumi. Program EOR ini dapat dipandang aman apabila penginjeksian CO<sub>2</sub> sekadar menggantikan CO<sub>2</sub> yang telah hilang selama produksi minyak-bumi.

Disamping itu, perlu diteliti keberadaan akuifer dalam berair asin di Cekungan Luwuk Banggai, guna menyimpan gas CO<sub>2</sub> yang berasal dari lapangan-lapangan gas di cekungan ini.

Program CCS dengan menginjeksikan ke dalam akuifer dalam berair asin dapat dipandang aman, karena tidak akan terjadi konsentrasi CO<sub>2</sub> yang besar di dalam akuifer. Hal ini mengingat CO<sub>2</sub> yang terinjeksikan ke dalam akuifer berair asin akan segera bereaksi dengan air asin, dan membentuk material karbonat yang padat.

Dengan mengacu stratigrafi regional daerah Cekungan Luwuk – Banggai (Gambar 3), maka baik untuk keperluan metode EOR maupun penginjeksian pada akuifer air asin, maka untuk keperluan batuan waduk untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> dapat dilakukan pada batuan-batuan Formasi Tomori dan Formasi Minahaki serta Anggota Mantawa. Sementara sebagai batuan tudung adalah Formasi Matindok dan Formasi Kintom (Kelompok Sulawesi).

Sementara itu untuk melaksanakan program CCS dengan metode EOR perlu dibatasi hanya sekadar menginjeksikan sejumlah CO<sub>2</sub> pengganti gas yang telah keluar dari ladang minyak, karena bila berlebihan gas CO<sub>2</sub> yang diinjeksikan dapat berakibat fatal sebagaimana analisis risiko gempa di atas.

#### Acuhan

- Bachri, S. Dan Baharuddin, 2001. *Peta Geologi Lembar Malunda-Majene, Sulawesi, skala 1:100,000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Badan Geologi, 2009a. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia Berdasarkan Data Gayaberat dan Geologi*. Badan Geologi, Bandung.
- Badan Geologi, 2009b. *Peta Percepatan Batuan Dasar Wilayah Indonesia Untuk Periode Ulang Gempa 500 tahun atau 10% Kemungkinan Terjadi Dalam 50 tahun*. Badan Geologi, Bandung.
- Charlton, T.R., 1996. Correlation of the Salawati and Tomori basin, eastern Indonesia: a constrain on left-lateral displacement of the sorong fault zone. From Hall, R. & Blundell, D. (eds), 1996. *Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geological Society Publication No. 106: 465-481*.
- Darijanto, H., 2005. Analisa Resiko Gempa, Kasus : Proyek Pengeboran Minyak Di Tiaka Field. *NEUTRON*, v.5, no.1, Februari 2005.
- Hamilton W., 1979, *Tectonic of The Indonesian Region*. Geol. Surv. Prof. Paper, 1078, U.S. Govt. Printing Office: 345 p.
- Hasanusi, D., Abimanyu, A., Artono, E. & Baasir, A., G., 2004. Prominent Senoro Gas Field Discovery in Central Sulawesi: *IPA – AAPG Deepwater and Frontier Symposium: 177-197*.
- Hasanusi, D., Wijaya, R., Shahab, I. & Nurhandoko, B.E.B., 2012. Fracture and Carbonate Reservoir Characterization using Sequential Hybrid Seismic Rock Physics, Statistic and Artificial Neural Network: Case Study of North Tiaka Field. *Search and Discovery Article #20139 (2012)*.

#### Kesimpulan

Dari kelima jenis penyimpanan CO<sub>2</sub> tersebut di muka, yang paling mungkin dilakukan di Cekungan Luwuk - Banggai adalah penginjeksian CO<sub>2</sub> ke dalam batuan waduk guna meningkatkan produksi minyak bumi, atau yang dikenal dengan teknik EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Hal ini dimungkinkan mengingat di Cekungan Luwuk Banggai disamping dijumpai lapangan gas seperti lapangan Senoro, Matindok, Donggi, dan lain-lainnya, juga dijumpai lapangan minyak, misalnya lapangan Tiaka.

Formasi Tomori dan Formasi Minahaki serta Anggota Mantawa dapat dipilih untuk penyimpanan CO<sub>2</sub> atau dikenal sebagai *geological storage*. Disamping itu perlu studi pengenalan keberadaan akifer dalam berair asin yang juga akan dipilih sebagai *geological storage*.

#### Ucapan terimakasih

*Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kusnama, M.Phil. dan Prof. Dr. Rachmat Heryanto yang telah bekerja sama melakukan peninjauan geologi daerah Cekungan Luwuk-Banggai, sehingga tulisan ini dapat disusun.*

- Helmerts, H., Maaskant, P., Hartel, T.H.D., 1990. Garnet peridotite and associated high-grade rocks from Sulawesi Indonesia. *Lithos* 25:171-188.
- Katili, J.A., 1978. Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics*, 45: 289-322.
- Parkinson, C.D., 1991. The petrology, structure and geologic history of metamorphic rocks of central Sulawesi. Unpublished. Ph.D Thesis, University of London.
- Silver, E.A, McCaffrey, R. and Smith, R.B, 1983. Collision, Rotation and the initiation of subduction in the evolution of Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, VI. 88, No.B11: 9407-9418
- Simandjuntak, T.O., 1993. Neogene plate convergence in Eastern Sulawesi. *Jour.Geol. Min. Res.*, 25: 2-9.
- Smith, R.B. & Silver, E.A., 1991. Geology of a Miocene collision complex, Buton, eastern Indonesia. *Geological Society of America Bulletin*, v.103: 660-678.
- Sukanto, R., 1975. The structure of Sulawesi in the light of plate tectonics. *Proceedings of Regional Convention on the Geology and Mineral Resources of South East Asia. Jakarta.*
- Zulkarnain, 2010. Sistem Petroleum Cekungan Banggai. *kepalabatu.finddiscussion.com*. diunduh tgl 15 Juni 2012.

JGSM