

STUDY OF ULTRAMAFIC ROCKS POTENCY IN SOUTH SULAWESI FOR SEQUESTERING CO₂

By : Study of Ultramafic Teams

ABSTRACT

Ultramafic rocks in South Sulawesi Province have large potency and easy accessibility. Following act of Kyoto Protocol, hence obliged to each every Nations which ratify should has to minimization of emission CO₂ gas to atmosfeer with. Sequestering CO₂ with ultramafic rocks is one of the many type technics sequestering to choice. Ultramafic rocks in South Sulawesi Province for the width of 5,800 ha, hypotethic resources 4,800 million tonne. Content of MgO Mean 38%. Emission totalize gas CO₂ from immobile source : cement industies 4.12 million tonne CO₂/yr. Power station 3.65 million tonne/yr. Total emission of CO₂ gas from immobile source about 7.77 million tonne/yr. Required ore to sequester CO₂ gas 31.16 million tonne ore/yr. Ore capacity to support during 150 years.

KAJIAN POTENSI BATUAN ULTRABASA DI DAERAH PROVINSI SULAWESI SELATAN UNTUK MENANGGULANGI EMISI KARBON DIOKSIDA

Oleh : Tim Kajian Ultrabasa

Kelompok Program Penelitian Mineral

Sari

Batuan ultrabasa di daerah Sulawesi Selatan mempunyai potensi yang besar dan aksesibilitasnya sangat mudah. Menindak lanjuti perjanjian Kyoto Protocol, maka wajib setiap Negara yang meratifikasi berusaha meminimalkan emisi gas CO₂ ke atmosfer dengan berbagai cara. Salahsatunya adalah melakukan perangkap mineral dengan menggunakan batuan ultrabasa. Potensi batuan ultrabasa di daerah Sulawesi Selatan seluas 5.800 ha, sumberdaya hipotetik sebesar 4.800 juta ton. Kandungan MgO rata-rata 38%. Emisi total gas CO₂ dari sumber tak bergerak : industri semen 4,12 juta ton CO₂/th. Pusat pembangkit listrik 3,65 juta ton/th. Total emisi gas CO₂ dari sumber tak bergerak (tetap) sekitar 7,77 juta ton/th. Total mineral yang dibutuhkan untuk perangkap gas CO₂ 31,16 juta ton mineral/th. Kapasitas mineral dapat mendukung selama 150 tahun.

LATAR BELAKANG

Daerah Provinsi Sulawesi Selatan mempunyai potensi batuan ultrabasa yang cukup besar tersebar di wilayah Kabupaten Pangkajene dan Barru, seluas 5.800 ha. Aksesibilitasnya mudah dicapai baik dari Ujungpandang (ibukota Provinsi), maupun dari Barru (ibukota Kabupaten Barru). Selama ini batuan ultrabasa digolongkan (digunakan) sebagai bahan galian bangunan, untuk dapat digunakan sebagai bahan galian bangunan batuan ultrabasa harus memenuhi spesifikasi batuan untuk bangunan

diantaranya harus memiliki kuat tekan tertentu. Kontroversinya batuan ultrabasa mengandung mineral-mineral yang mudah lapuk hal tersebut mempengaruhi terhadap sifat fisik batuan terutama kuat tekannya menjadi rendah dan rapuh sehingga tidak dapat digunakan sebagai bahan galian bangunan untuk konstruksi, paling digunakan sebagai tanah urug.

MAKSUD DAN TUJUAN

Kegiatan ini dimaksudkan untuk melakukan kajian terhadap potensi batuan ultrabasa di daerah Provinsi Sulawesi

Selatan, yang dapat digunakan untuk menanggulangi emisi “sequestering” karbon dioksida yang berasal dari industri pabrik semen dan pusat tenaga listrik uap dengan bahan bakar batubara serta pusat tenaga listrik disel.

Percobaan dalam skala lab telah dilakukan di Negara Amerika Serikat pada tahun 1998 melibatkan berbagai lab ternama seperti :

- **Albany Research Center**
- **Arizona State University**
- **Los Alamos National Laboratory**
- **National Energy Technology Laboratory**
- **Science Applications International Corp.**

Kajian dilakukan berdasarkan (mengacu kepada) hasil yang telah dilakukan oleh laboratorium tersebut. Evaluasi endapan bahan galian ultrabasa yang dapat digunakan dalam proses perangkap gas CO₂, dilakukan oleh Los Alamos Laboratory, di daerah Vermont, the Pennsylvania-Maryland-District-of-Columbia (PA-MD-DC), bagian barat North Carolina dan baratdaya Puerto Rico.

RUANG LINGKUP

Kajian ini merupakan studi proses perangkap (sequestering) gas CO₂ terutama yang berasal dari proses pembakaran batubara dan BBM yang digunakan sebagai sumber energi bagi pembangkit tenaga listrik dan industri semen, di daerah Provinsi Sulawesi Selatan, dengan menggunakan batuan ultrabasa. Hasil kajian ini diharapkan dapat diterapkan untuk menanggulangi emisi gas karbon dioksida di wilayah tersebut dan menjadi model bagi daerah lainnya di Indonesia, serta memberikan sumbangan bagi kelestarian lingkungan dan kehidupan di bumi.

PERSONIL DAN JADWAL KEGIATAN

Pelaksanaan kegiatan melibatkan 9 (sembilan) orang, dengan rincian personil, sebagai berikut : Ketua Tim, Sekretaris, Nara Sumber 2 (dua) orang dan Anggota 5 (lima) orang,

Tabel 1.
Personil Kajian Potensi Batuan Ultrabasa Di Daerah Provinsi Sulawesi Selatan Untuk Menanggulangi Emisi Karbon Dioksida

NO	NAMA / NIP	JABATAN DALAM TIM
1	Ir. Abdul Fatah Yusuf	Ketua Tim
	NIP. 100008422	
2	Irwan Muksin, S.T.	Sekretaris
	NIP. 100012732	
3	Ir. Teuku Ishlah	Narasumber
	NIP. 100006807	
4	Dr. Sanggono Adisasmito	Narasumber
	NIP. 132 049 401	
5	Ir. Herry Rodiana Eddy	Anggota
	NIP. 100011859	
6	Ir. Ahmad Sanusi Halim	Anggota
	NIP. 100005391	
7	Sugeng Priyono, ST	Anggota
	NIP. 100004752	
8	Ir. Zulfikar, Sp.1	Anggota
	NIP. 100010112	
9	Elin Surlaeli	Anggota
	NIP. 100006268	

Kegiatan dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan dimulai pada bulan Oktober 2006 sampai pertengahan Desember 2006.

PEMANASAN GLOBAL

Sesungguhnya, gas karbon dioksida bukanlah suatu masalah. Gas karbon dioksida adalah salah satu yang menunjang kehidupan di atas bumi. Tanpa gas karbon dioksida didalam atmosfer, bumi tidak bisa mendukung kehidupan sebab temperatur bumi akan terlalu dingin dan semua air akan membeku. Gas karbon dioksida adalah suatu peredam kuat sinar inframerah, gas karbon dioksida akan menyerap panas yang dipancarkan bumi dan dipantulkan kembali. Ini adalah sebagai efek rumah kaca. Proses tersebut merupakan suatu proses alami yang sangat penting bagi terbentuknya kehidupan di bumi. Bagaimanapun, ketika ada terlalu banyak gas karbon dioksida didalam atmosfer, efek rumah kaca diintensifkan, hal tersebut akan menyebabkan suatu masalah bagi lingkungan. Sebelum masa revolusi industri, konsentrasi gas karbon dioksida didalam atmosfer adalah **280 ppm**. Sejak tahun **1880**, akibat dari peningkatan pembakaran bahan

bakar fosil sebagai suatu sumber energi, konsentrasi CO₂ telah dengan mantap bangkit sebanyak kira-kira **1,5 ppm/tahun** sehingga kandungan gas karbon dioksida dalam atmosfer pada saat ini mencapai **365 ppm**. Konsentrasi gas karbon dioksida akan terus meningkat kecuali jika emisi/pancaran dari bahan bakar fosil dibatasi atau dihentikan bersama-sama. Sedangkan emisi karbon dioksida umumnya berasal dari minyak bumi, terutama dari gas alam, minyak bumi dan batubara, dari tahun ke tahun sebagai penyumbang terbanyak emisi gas CO₂ dimuka bumi ini.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) memperkirakan konsentrasi gas karbon dioksida didalam atmosfer akan naik menjadi sekitar **540 - 940 ppm** pada tahun **2100**. Kenaikan rata-rata konsentrasi gas CO₂ akan mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata di bumi, hal tersebut mengakibatkan efek pemanasan global, yang akan mempengaruhi perubahan iklim setempat di bumi, pada akhirnya tentu akan mempengaruhi kehidupan di bumi.

Kenaikan suhu bumi rata-rata secara global akan mempengaruhi cuaca dan iklim setempat di bumi yang mengakibatkan kenaikan suhu ekstrim di wilayah tertentu, dampaknya tentu terhadap kehidupan di wilayah tersebut.

PREDIKSI EMISI GAS CO₂ DI DAERAH SULAWESI SELATAN

Emisi gas CO₂ ke atmosfer dapat dihasilkan oleh bermacam kegiatan, diantaranya : industri, transportasi dan rumahtangga. Penghitungan emisi gas CO₂ dilakukan terhadap sumber-sumber tetap, karena dari sumber tersebutlah emisi gas CO₂ dapat diperangkap. Industri yang terdapat di daerah Sulawesi selatan antara lain : industri semen (Bosowa dan Tonasa), pusat listrik tenaga uap, gas dan disel.

Proses kegiatan industri semen yang menghasilkan emisi gas CO₂ adalah :

- Kalsinasi CaCO₃ menghasilkan emisi 540 kg gas CO₂/ ton semen OPC,
- Pembakaran batubara menghasilkan emisi 340 kg gas CO₂/ ton semen OPC,

- Pembangkit listrik menghasilkan emisi 90 kg gas CO₂/ ton semen OPC,
- Total 970 kg gas CO₂/ton semen OPC.

Kapasitas produksi Semen :

- Bosowa 1,8 juta ton/th, akan menghasilkan emisi sekitar 1,746 juta ton CO₂/th.
- Semen Tonasa 3,48 juta ton/th, akan menghasilkan emisi 3,3756 juta ton CO₂/th.
- Total emisi dari industri semen 4,1216 juta ton CO₂/th.

Beban puncak energi listrik di Sulawesi Selatan pada tahun 2005 sebesar 500 MW, emisi gas CO₂ sebesar 10.000 ton/hari atau 3,65 juta ton/th.

Total emisi gas CO₂ dari sumber tak bergerak (tetap) sekitar 7,7716 juta ton/th.

BATUAN ULTRABASA

Batuan ultrabasa adalah batuan beku yang kandungan silikanya rendah (< 45 %), kandungan MgO > 18 %, tinggi akan kandungan FeO, rendah akan kandungan kalium dan umumnya kandungan mineral mafiknya lebih dari 90 %. Batuan ultrabasa umumnya terdapat sebagai opiolit.

Kelompok batuan peridotite terdiri dari :

- Dunite – terdiri dari olivine, dengan sedikit kandungan enstatite pyroxene dan chromite.
- Harzburgite – terdiri dari olivine, enstatite, dan sedikit chromite.
- Lherzolite – terdiri dari olivine, enstatite, diopside, serta sedikit chromite dan atau pyrope garnet.
- Pyroxenite – terdiri dari orthopyroxene dan atau clinopyroxene, dengan sejumlah kecil kandungan olivine, garnet, dan spinel.

Peridotite adalah suatu batuan beku berukuran butir menengah, berwarna gelap, mengandung sedikitnya 10 persen olivine, besi dan mineral yang kaya akan magnesium (biasanya pyroxenes), dan tidak lebih dari 10 persen feldspar.

Kelompok batuan peridotit tidak umum tersingkap dipermukaan dan sangat tidak stabil. Umumnya batuan peridotit yang tersingkap telah berubah menjadi serpentinit, dimana mineral pyroksen dan olivin berubah menjadi mineral serpentin dan amfibol, proses perubahan ini (hydrasi) diikuti dengan perubahan volume yang mengakibatkan terjadinya perubahan (deformasi) dari tekstur awalnya.

Tabel 2.
Kandungan mineral dalam batuan ultrabasa

Summary of Dominant Mineralogy in Serpentinite, Peridotite, and Associated Rocks			
Mineral Group	Mineral Species	Ideal Formula	Rock Type(s) Typically Found In
serpentine	chlorite	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₂	serpentinite, altered peridotite
serpentine	lizardite	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₂	serpentinite, altered peridotite
serpentine	antigorite	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₂	high-grade serpentinite, altered peridotite
olivine	ferrosite	Mg ₂ SiO ₄	diatrite, peridotite
orthopyroxene	enstatite	MgSiO ₃	peridotite
clinopyroxene	diopside	CaMgSi ₂ O ₆	peridotite
amphibole	anthophyllite	Mg ₂ Mg ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₂	high-grade serpentinite
amphibole	tschermakite	Ca ₂ Mg ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₂	high-grade serpentinite
spinel	magnesite	Fe ₃ O ₄	serpentinite, peridotite, diatrite
spinel	chromite	Cr ₂ FeO ₄	serpentinite, peridotite
carbonate	magnesite	MgCO ₃	altered serpentinite
carbonate	dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	altered serpentinite
silica	quartz, chalcidony	SiO ₂	altered serpentinite
silica	opal	SiO ₂ ·nH ₂ O	altered serpentinite

Sebaran batuan ultra basa di Indonesia cukup luas, mulai dari Aceh, Sumatra Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, NTT, Maluku, Irian Jaya Barat dan Papua. Luas sebaran seluruhnya mencapai 3 juta hektar.

Dari sekian banyak sebaran batuan ultrabasa, diantaranya yang dekat aksesibilitasnya dengan aktifitas manusia (kota) adalah sebaran batuan ultrabasa di daerah Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah dan Papua.

Sebagian besar batuan ultrabasa di Indonesia adalah batuan peridotit yang sebagian telah mengalami serpentinisasi.

Jenis batuan batuan ultrabasa di wilayah ini adalah batuan peridotit yang terserpentinakan, berwarna hijau tua, di beberapa tempat mengandung buncak dan lensa kromit. Tebal satuan ini sekitar 2.500 m mempunyai kontak dengan batuan sekitarnya. Umur satuan ini diperkirakan berumur Trias. Batuan ultrabasa di daerah Sulawesi Selatan terdapat di Kabupaten Barru, di sekitar

Palaka, Kecamatan Barru dan Komplek Bantimala, Kecamatan Tanete Riaja. Luas sebaran di Kecamatan Barru sekitar 2.500 ha, di Kecamatan Tanete Riaja 3.300 ha.

Sumberdaya batuan ultrabasa sekitar 580 juta m³ atau sekitar 4.800 juta ton.

Komposisi Kimia: SiO₂ = 35,48 - 40,04%; Al₂O₃ = 0,55 - 1,21%; Fe₂O₃ = 7,54 - 8,03%; CaO = 0,00 - 0,16%; MgO = 37,90 - 40,77%; Na₂O = 0,00 - 0,13%; K₂O = 0,20%; TiO₂ = 0,03%; MnO = 0,08 - 0,11%; P₂O₅ = 0,01 - 0,03%; SO₃ = 0,00 - 0,05%; H₂O = 0,72 - 0,077%; HD = 12,21 - 15,35%;

Persyaratan batuan ultrabasa yang dapat digunakan dalam proses perangkap mineral gas CO₂ :

- Sumber penghasil gas CO₂ merupakan sumber yang tidak bergerak atau tetap (bukan yang dihasilkan oleh alat transportasi)
- Lokasi tambang harus dekat dengan sumber penghasil gas CO₂, seperti pembangkit listrik, industri semen dsb.
- Cadangan bahan galian tambang jumlahnya harus memadai untuk dapat mengikat 10.000 ton CO₂ /hari, untuk jangka waktu minimal 10 tahun (sekitar 70 - 100 juta ton bahan galian).
- Bila digunakan dunit (olivine) haruslah yang tidak mengalami serpentinisasi (rendah), supaya mendapatkan densitas yang besar dan rendah akan kandungan FeO₂.
- Berdasarkan komposisi kimia harus mengandung MgO yang tinggi rendah CaO, LOI dan rendah CO₂ (yang mengindikasikan rendahnya kandungan mineral pengotor pada batuan tersebut).

PERANGKAP GAS CO₂

Perangkap gas CO₂ merupakan terjemahan dari "carbon dioxide sequestration" adalah suatu proses mencegah gas CO₂ terlepas ke atmosfer dengan menggunakan teknik penyimpanan tertentu sehingga gas CO₂ aman terperangkap dalam bentuk dan lokasi tertentu dalam waktu lama sesuai umur

geologi. Fungsi dari perangkap gas CO₂ adalah mencegah terlepasnya gas CO₂ hasil pembakaran bahan bakar fosil ke udara (atmosfir).

Berbagai macam metoda perangkap gas CO₂ telah dilakukan percobaan diantaranya :

1. Formasi geologi :
 - a. Penyimpanan dalam akuifer
 - b. Reservoir minyak dan gas yang kosong (dikosongkan)
 - c. Lapisan batubara
 - d. Menaikkan pemulihan (recovery) minyak (EOR)
2. Lautan
3. Teknik pembakaran batubara tanpa emisi (ZEC-Zero Emission Coal Technology)
4. Perangkap mineral (Mineral Sequestration)

Yang akan dibahas dalam kajian ini adalah perangkap gas CO₂ dengan metoda perangkap mineral (mineral sequestration) dengan menggunakan mineral yang terkandung didalam batuan ultrabasa. Mineral magnesium atau kalsium diperlukan dalam proses ini, secara alamiah MgO dan CaO sangat sulit didapat, kedua oksida tersebut sangat mudah bereaksi dengan CO₂, ketersediaannya di alam lebih sering dijumpai sebagai mineral silikat, sumberdayanya cukup memadai (sebanding) dengan sumberdaya energi fosil.

Pilihan utama dalam proses perangkap mineral adalah magnesium silikat dan kalsium silikat atau limbah industri. Namun demikian Yegulalp et al. dan O' Connor keduanya menyatakan bahwa magnesium silikat lebih atraktif sehubungan dengan jumlah dan ukuran sumberdayanya. Pemilihan mineral magnesium silikat dibandingkan dengan kalsium silikat, adalah magnesium silikat lebih reaktif daripada kalsium silikat dan oksidanya yang diperoleh mempunyai persentase berat lebih tinggi daripada mineral kalsium. Magnesium silikat mempunyai persentase berat 35 – 40 % MgO, sedangkan kalsium silikat hanya mempunyai 12 – 15 % CaO.

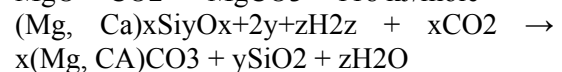
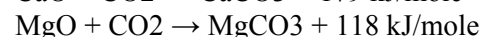
Serpentine (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) dan olivine (Mg₂SiO₄) (yang terdapat dalam batuan

fosterite) keduanya merupakan mineral yang dapat digunakan dalam proses perangkap gas CO₂. Serpentine mengandung 38 – 45 % MgO, 5 – 8 % oksida besi dan 13 % air. Olivin mengandung 45 – 50 % MgO dan 6 – 10 % oksida besi. Olivin lebih banyak mengeluarkan panas (kalor) jika bereaksi dengan CO₂ 95 kJ/mole dibandingkan serpentin 64 kJ/mole, dengan demikian dibutuhkan olivine lebih sedikit dibandingkan serpentin untuk menangkap CO₂ dalam jumlah yang sama, perbandingannya sekitar 2 : 3. Goldberg memprediksi dibutuhkan sekitar 2 (dua) ton serpentin atau 1,5 ton olivine untuk menangkap 1 (satu) ton gas CO₂.

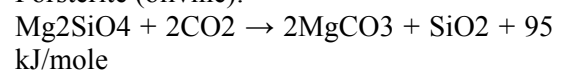
Pada saat ini baik olivine maupun serpentin sudah ditambang untuk keperluan lain, biaya penambangannya sekitar \$ 3 – 5 / ton. O'Connor menyatakan bahwa penambangan serpentin memadai untuk proses perangkap CO₂, dalam 1 GW pembangkit listrik diperlukan 30 – 40 kt/hari serpentin dengan taksiran biaya \$ 4 – 5 / ton.

Endapan serpentin mempunyai karakteristik lebih baik daripada olivine, dalam jangka pendek mineral serpentin merupakan pilihan yang dapat digunakan dalam proses perangkap gas CO₂.

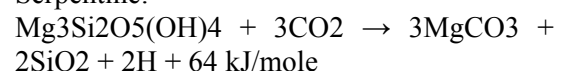
Proses reaksi kimia gas CO₂ dengan batuan ultrabasa :



Forsterite (olivine):



Serpentine:



Keuntungan Perangkap mineral :

- Terbentuknya karbonat secara termodinamik adalah stabil dengan demikian produknya permanen, sehingga tidak ada kemungkinan gas CO₂ terlepas ke udara.

- Sumberdaya batuan ultrabasa cukup memadai
- Karbonat merupakan bentuk energi paling rendah dari karbon, bukan CO₂
- Proses perangkap terbentuk secara alamiah namun dalam skala waktu geologi, dengan kajian ini diharapkan proses tersebut dapat dipercepat
- Batuan ultrabasa mudah didapat disekitar pusat pembangkit tenaga listrik yang mengeluarkan gas CO₂
- Berpotensi menghasilkan produk sampingan yang bermanfaat (magnesit)
- Proses perangkap secara teknologi memungkinkan dilakukan bersamaan dengan perencanaan pusat tenaga listrik
- Prediksi biaya masih memungkinkan, sekitar \$15 - \$20 per ton CO₂ atau Rp 135.000 – Rp 180.000 per ton CO₂ (Rp 9.000,- per \$ 1)
- Pelaksanaan proses tanpa membutuhkan panas karena reaksinya eksotermik

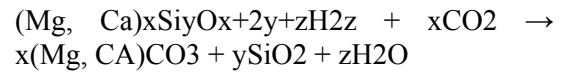
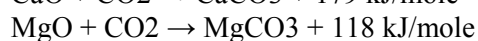
Kendala yang mungkin terjadi :

- Proses perangkap harus terdapat dilokasi tambang ultrabasa karena diperlukan volume material yang besar
- Diperlukan tempat “stock pile” yang besar karena dalam proses ini terjadi pemekaran volume
- Diperlukan sistim penambangan yang ekstensif sehingga berdampak pada lingkungan
- Berpotensi terdapat mineral asbes yang tidak dikehendaki dalam penambangan batuan ultrabasa
- Harus dapat menangani mineral pengotor

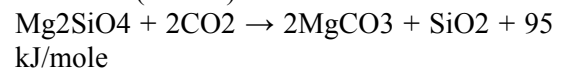
PROSES PERANGKAP GAS CO₂ DENGAN BATUAN ULTRABASA

Reaksi :

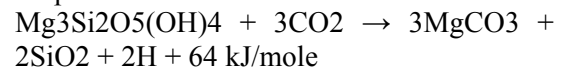
Proses reaksi kimia gas CO₂ dengan batuan ultrabasa :



Forsterite (olivine):



Serpentine:



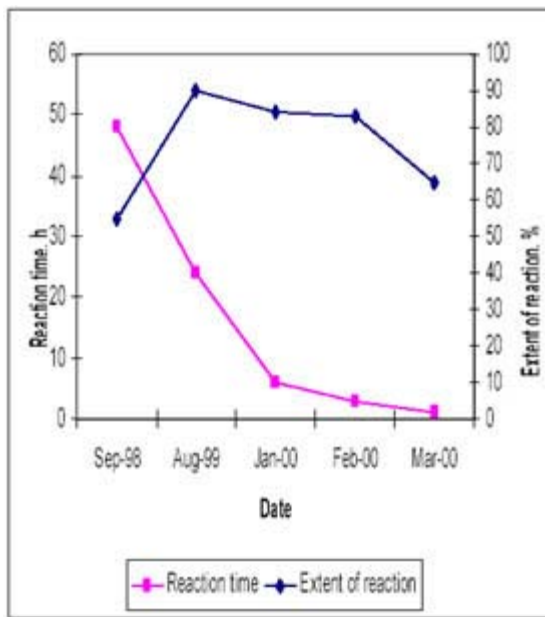
Kecepatan Reaksi :

Isu utama dalam proses perangkap mineral adalah kecepatan reaksi, reaksi terjadi secara alamiah dalam waktu geologi. Supaya proses bisa ekonomis kecepatan reaksi maksimal harus terjadi dalam 1 (satu) jam. Goldberg mengusulkan untuk mempercepat reaksi diperlukan langkah – langkah sbb. :

- a. Memanaskan serpentin pada temperature 600⁰ 650⁰ C untuk melepaskan ikatan dengan air (serpentin mengandung 13 % air)
- b. Tambahkan natrium bikarbonat (meningkatkan konsentrasi HCO₃⁻) dan larutan NaCl (membantu melepaskan ion magnesium dari silikat) pada reaksi

Dengan modifikasi tersebut 78 % konversi berjalan dalam waktu 30 menit pada tekanan 185 bar dan temperatur 155⁰ C. O'Connor memberikan hasil reaksi karbonasi olivine dan serpentine :

- Efisiensi 80% , dalam waktu 1 jam, pada PCO₂ = 150 atm, T=155°C
- Efisiensi 50% , dalam waktu 1 jam, pada PCO₂ = 20 atm, T=155°C
- Efisiensi 40%, dalam waktu 1 jam, pada PCO₂ = 20 atm, T=50°C



source: Goldberg

Gambar - 1. Diagram waktu reaksi dan perkembangan reaksi

Kelaurutan Batuan Ultrabasa :

Untuk melarutkan batuan ultrabasa digunakan HCl dengan perbandingan 1 : 1, dan larutan campuran 3 asam HCl-HNO₃-HF, hasil pelarutannya sbb. :

- HCl panas dapat melarutkan Mg dari batuan ultrabasa lebih baik daripada larutan campuran (≥35 wt-% versus ≤15 wt-% Mg). Hasil residu berupa (~45 to 60 wt-%) dari larutan HCl meliputi silica gel, spinel, dan pyroxene serta silikat lainnya seperti talk, amphiboles, klorit dan serisit. Larutan campuran 3 asam mengendapkan MgF.
- HCl panas dapat melarutkan Mg dari serpentin lebih baik daripada dari batuan peridotit, dunit, karena serpentin kurang mengandung silikat reaktif seperti pyroxen. Sebagian besar Fe dalam serpentin terdapat sebagai mikrokrystalin magnetit yang relatif mudah larut dalam HCl.
- HCl panas kurang efektif melarutkan “trace metals” dari batuan ultrabasa daripada 3 larutan asam. Namun masih bisa melarutkan logam Cr, Mn, Co dan

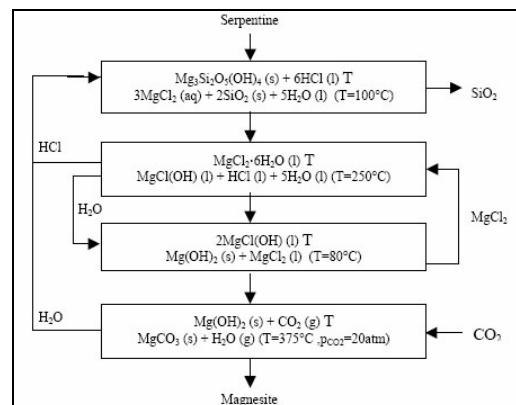
Ni yang umumnya terdapat dalam olivine.

- Larutan HCl pada temperatur 60°C dan tekanan satu atmosfer sama baiknya dengan larutan HCl pada 200°C dan 15 bars dalam melarutkan Mg dari serpentin.

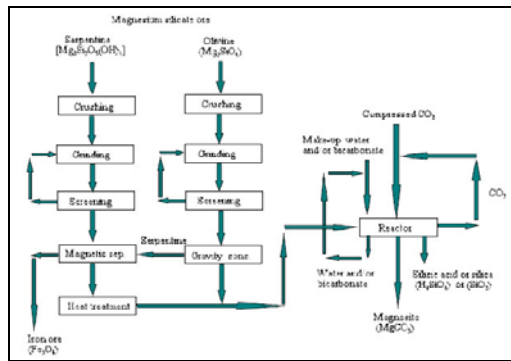
Kalkulasi dalam perangkap mineral gas CO₂ :

- Dengan menggunakan mineral serpentin Mg₃Si₂O₅(OH)₄, jumlah kebutuhan mineral per ton gas CO₂ terperangkap.

$$1/3\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + \text{CO}_2 = \text{MgCO}_3 + 2/3\text{SiO}_2 + 2/3\text{H}_2\text{O}$$
 (? mol serpentine/ mol CO₂) x (mol CO₂/44 g CO₂) x (277.1 g serpentine/ mol serpentine) = 2.1 g serpentine/ g CO₂ = **2.1 ton serpentine per ton CO₂**
- Untuk kandungan MgO dalam batuan sebesar 40%, rekoferi penambangan 90% (ore recovery) dan konversi dalam proses reaksi karbonasi 80%.
 (1 mol MgO/ mol CO₂) x (mol CO₂/44 g CO₂) x (40.3 g MgO/ mol MgO) x (g mineral/ 0.4 g MgO) x (1/ 0.9) x (1/0.8) = 3.18 g mineral/ g CO₂ = **3,18 ton mineral per ton CO₂ terperangkap**
- Bila di konversikan dalam jumlah batubara, dengan asumsi batubara mengandung 70% carbon :
 (3.18 ton mineral/ ton CO₂) x (44 ton CO₂/ 12 ton C) x (0.7 ton C/ ton batubara) = **8.2 ton mineral dibutuhkan untuk membakar 1 ton batubara**



Gambar – 2. Diagram proses perangkap Gas CO₂ dengan batuan ultrabasa.



Gambar - 3 . Diagram alir penggunaan batuan ultrabasa dalam proses perangkap gas CO₂.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Batuan ultrabasa di daerah Sulawesi Selatan dapat digunakan sebagai perangkap gas CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

1. Astwood, P., Carpenter, J., and Sharp, W., 1972. A petrofabric study of the Dark Ridge and Balsam Gap dunites, Jackson County, North Carolina: Southeast. Geol., **14**:183–194.
2. Burk, C.A. (ed.), 1964. A study of serpentinite: the AMSOC core hole near Mayagüez, Puerto Rico: Nat. Res. Council., Washington, D.C., Publication No. 1188, 175 pp.
3. Carpenter, J.R., and Chen, H.S., 1978. Petrology and bulk rock chemistry of the Frank ultramafic body, Avery County, N.C., and associated other ultramafic rock bodies of the southern Appalachians: Southeast. Geol., **19**:21–25.
4. Fraser Goff, George Guthrie, Bruce Lipin, Melissa Fite, Steve Chipera, Dale Counce, Emily Kluk, Hans Ziock, 2000, "Evaluation of Ultramafic Deposits in the Eastern United States and Puerto Rico as Sources of Magnesium for Carbon Dioxide Sequestration", Los Alamos. U.S. Geological Survey, Reston, VA 20192
5. George D. Guthrie, Jr., J. William Carey, Deborah Bergfeld, Darrin Byler, Steve Chipera, Hans-Joachim Ziock, 2000 "Geochemical Aspects Of The Carbonation Of Magnesium Silicates In An Aqueous Medium", Hydrology, Geochemistry, & Geology, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545
6. Lackner, K.S., Butt, D.P., and Wendt, C.H., 1998. The need for carbon dioxide disposal: A threat and an opportunity: Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Coal Slurry Technology Association, Washington, D.C., 569–582.
7. Ramanathan, V., 1988. The greenhouse theory of climate change: A test by an inadvertent global experiment: Science, **240**:293–295.
8. Sabine, C.L., Wallace, D.W.R., and Millero, F.J., 1997. Survey of CO₂ in the oceans reveals clues about global carbon cycle: EOS, **78**: 51,54–55.
9. Worrall, W.E., 1986, Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 2nd ed., Essex.

2. Sumberdaya batuan ultrabasa di Sulawesi Selatan sekitar 580 juta m³ atau sekitar 4.800 juta ton, dengan kandungan rata-rata MgO = 38 %, atau 1.824 juta ton MgO.
3. Emisi gas CO₂ dari industri semen dan listrik di Sulawesi Selatan :
 - Total emisi dari industri semen 4,12 juta ton CO₂/th.
 - Pusat pembangkit listrik 3,65 juta ton/th.
 - Total emisi gas CO₂ dari sumber tak bergerak (tetap) sekitar 7,77 juta ton/th.
4. Total mineral yang dibutuhkan untuk perangkap gas CO₂ 31,16 juta ton mineral/th.
5. Kapasitas mineral dapat mendukung selama 150 tahun.