

STUDI AWAL KINERJA ALAT PENANGKAP CO₂ MENGGUNAKAN PELARUT KALIUM KARBONAT BERPROMOTOR ASAM BORAT PADA BERBAGAI VARIASI KANDUNGAN CO₂

*(Preliminary Study Performance of CO₂ Capture Using Potassium
Carbonate Solvents with Boric Acid Promoter in Various CO₂)*

Dewi Istiyani, Novie Ardhyarini, dan Agustini

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

dewiis@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 28 Desember 2015; Diterima setelah perbaikan tanggal 10 Agustus 2016;
Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

ABSTRAK

Industri Kilang dan Pembangkit Listrik merupakan salah satu penyumbang emisi gas CO₂ terbesar. Penelitian ini merupakan studi awal untuk merancang alat penangkap CO₂ di mana dalam merancang alat dibutuhkan data karakteristik gas buang seperti konsentrasi, laju alir, temperatur, dan tekanan gas buang yang berasal dari beberapa Industri Kilang dan PLTU yang ada di Indonesia yang memiliki kontribusi yang besar dalam menambah emisi CO₂ di udara. Penangkapan CO₂ dianggap sangat penting dan dapat berperan besar dalam penurunan emisi gas rumah kaca. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa industri kilang memiliki konsentrasi gas CO₂ yang cukup tinggi, yaitu antara 6-18%, sedangkan konsentrasi CO₂ yang berasal dari PLTU sekitar 12%. Temperatur gas buang yang berasal dari kilang antara 40-765°C, sedangkan temperatur dari PLTU antara 56-537°C. Tekanan gas buang yang berasal dari kilang adalah 0,8-1,03 kg/cm², sedangkan tekanan gas buang dari PLTU adalah 0,007-167kg/cm². Laju alir gas buang yang berasal dari kilang antara 1,9-153.216m³/jam, sedangkan laju alir dari PLTU berkisar antara 846-2.999.988m³/jam. Karakteristik emisi gas buang seperti yang telah disebutkan harus menjadi pertimbangan dalam merancang alat penangkap CO₂ yang akan dibuat.

Kata Kunci: karakteristik emisi gas CO₂, industri kilang dan pembangkit listrik.

ABSTRACT

Refinery and power plant industry is one of the largest CO₂ emission gas. This study is a preliminary study to design a capture CO₂ where in a design required flue gas characteristic such as concentration, flow rate, temperature and pressure of the flue gases coming from several industry refinery and power plant in Indonesia, which has a major contribution in increase emissions of CO₂ in the air. CO₂ capture is important and took major part in the reduction of green house gas emission. Field observation indicate that level of CO₂ gas is quite high, it's between 6 to 18% in refinery industry and 12% in coal fire power plant. Temperatures of flue gas from refinery is between 40-765°C, while in coal fired power is from 56 to 537°C. The pressure of refinery flue gas is in the range of 0,8 to 1,03 kg/cm² and 0,007 to 167kg/cm² from coal fire power plant. The flow rate of refinery flue gas is between 1,9 to 153.216 m³/jam, and it's around 846 to 2.999.988 from coal fire power plant. The characteristics of flue gas from refinery and coal-fired power plant industry has to be considered in engineering design of CO₂ Capture technology.

Keywords: the characteristics of flue gas, refinery industry, coal-fired power plant.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah yang cukup besar. Emisi CO₂ di Indonesia dari sektor energi pada tahun 2005 adalah sekitar 293 juta ton, dengan rata-rata pertumbuhan setiap tahunnya sekitar 6,6% berdasarkan data dari Tahun 1990-2005 (Pusdatin 2006).

Industri yang banyak menyumbangkan emisi CO₂ salah satunya adalah Pembangkit Listrik dan Kilang. Emisi gas CO₂ dari pembangkit listrik dari tahun 1990 sampai dengan tahun 2005 terus mengalami peningkatan setiap tahunnya kecuali pada tahun 1998 terjadi penurunan, kemungkinan disebabkan pada tahun tersebut pemakaian bahan bakar untuk pembangkit listrik berkurang akibat krisis bahan bakar (Pusdatin 2006). Pada Tahun 2008 diperkirakan emisi CO₂ yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik sekitar 116 juta ton. Sedangkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari Kilang pada Tahun 2008 adalah sekitar 17,3 juta ton (Indonesia CCS Study Working Group, 2009).

Emisi CO₂ dari pembangkit listrik mempunyai kontribusi yang cukup berarti dari keseluruhan total emisi yang dihasilkan di Indonesia (Pusdatin 2006). Pembangkit Listrik berbahan bakar batubara menghasilkan gas buang sekitar 10-20% CO₂, dibandingkan konsentrasi CO₂ normal yang ada di udara adalah 300-600 kali lebih besar

(Karube *et al.* 1992). Tabel 1 di bawah ini memperlihatkan karakteristik gas buang yang berasal dari pembakaran *fossil fuel*.

Sumber emisi yang berasal dari Industri Kilang dan PLTU merupakan sumber potensial yang harus ditangkap untuk mengurangi emisi CO₂ yang ada di udara. Terdapat beberapa teknologi penangkapan CO₂. Salah satunya adalah dengan menggunakan pelarut. Penggunaan pelarut kimia lebih disukai sebagai metode penangkapan CO₂ pada aliran *flue gas* dari *post combustion* yang kandungan konsentrasi gas CO₂-nya antara 3-20% (Brett *et al.* 2013). Pelarut yang akan digunakan pada alat penangkap CO₂ yang akan didesain adalah pelarut yang berasal dari Kelompok Karbonat yaitu Kalium Karbonat. Pelarut Kalium karbonat memiliki beberapa keunggulan antara lain tidak mudah menguap, *non toxic*, *biodegradable*, resisten terhadap degradasi oleh O₂, SO_x dan NO_x, murah, ramah terhadap lingkungan dan dapat dioperasikan pada temperatur yang tinggi (Rochelle 2007). Bagaimanapun juga kemampuan pelarut Kalium karbonat untuk menyerap CO₂ dari aliran gas menurun dengan meningkatnya tingkat SO₂ yang diserap (Wappel *et al.* 2009).

Meskipun K₂CO₃ memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan pelarut berbasis amina, salah satu tantangan utamanya adalah laju reaksi yang lambat sehingga membutuhkan peralatan yang besar dan mahal (Raksajati *et al.* 2013). Hal ini dicoba diatasi

Tabel 1
Karakteristik Gas Buang Yang Berasal Dari Pembakaran *Fossil Fuel*.

Parameter	Typical range of values
Pressure	At or slightly above atmospheric pressure
Temperature	30 – 80 or higher, depending on the degree of heat recovery
CO ₂	Coal-fired, 14 % Natural gas-fired, 4%
O ₂	Coal-fired, 5 % Natural gas-fired, 15%
N ₂	~ 81 %
SO _x	Coal-fired, 500 – 5000 ppm Natural gas-fired, <1 ppm
NO _x	Coal-fired, 100 – 1000 ppm Natural gas-fired, 100 – 500 ppm
Particulates	Coal-fired, 1000 – 10,000 mg per m ³ Natural gas-fired, 10 mg per m ³

Karbon monoksida (CO) tidak ada dalam tabel karena gas CO hanya akan muncul pada pembakaran tidak sempurna sebagai akibat kekurangan oksigen di dalam pembakarannya.

Sumber: Rackley, 2010.

dengan menggunakan promotor Asam Borat (H₃BO₃) karena termasuk bahan yang tidak berbahaya dan lebih ekonomis (Kentish *et al.* 2012).

Hasil dari penangkapan CO₂ ini pada akhirnya akan ditransportasikan ke suatu tempat yang disebut sebagai *Storage Site*. Teknologi yang menggabungkan serangkaian aktivitas yang dimulai dari penangkapan (*capture*) emisi GRK berupa CO₂ yang berasal dari antropogenik (aktivitas manusia) untuk kemudian ditransportasikan menuju lokasi penyimpanan (*storage site*) dan diinjeksi ke dalam formasi geologi untuk disimpan selamanya disebut sebagai teknologi CCS (*Carbon Capture Storage*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gas buang yang berasal dari beberapa Industri Kilang dan PLTU yang ada di Indonesia yang memiliki potensi yang besar dalam menambah emisi CO₂ di udara. Penangkapan CO₂ dianggap sangat penting dan dapat berperan besar dalam penurunan emisi gas rumah kaca. Emisi gas buang dari industri kilang dan PLTU ini diharapkan dapat menjadi umpan yang tepat bagi Alat Penangkap CO₂ yang akan dirancang.

II. BAHAN DAN METODE

Data-data yang diperoleh pada penelitian ini didapat berdasarkan hasil survey dan pengamatan di lapangan yang dilakukan pada industri kilang dan PLTU sebagai berikut:

- Kilang A,
- Kilang B,
- Kilang C,
- Kilang D,
- PLTU I,
- PLTU II,
- PLTU III,
- PLTU IV.

Kedelapan industri di atas melakukan pengamatan terhadap kualitas gas buangnya secara rutin setiap 3 bulan sekali.

III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil survey di lapangan, maka data-data yang diperoleh dari kualitas gas buang di keempat industri dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2
Karakteristik Gas Buang di Beberapa Industri.

No	Lokasi Survey	Kapasitas Produksi	Komposisi Gas Buang (%)	Emisi Co ₂ (Tco ₂ / Hari)	Laju Alir Gas Buang (M ³ / Jam)	Temperatur Gas Buang	Tekanan Gas Buang	Sumber Co ₂
1.	Kilang A	170.000 BPSD		1.477,933	78,648 Nm ³ / jam	160°C		Heat-er702 H-2
2.	Kilang B	348.000 BPSD	CO ₂ 17,5%; SO ₂ 500 ppm	4.305	1,917-179,375 m ³ /jam	320°C	1,0229-1,0251kg/cm ²	Boiler 011F-101
3.	Kilang C	253.500 BPSD	CO ₂ 5,73-10,73%; O ₂ 2,06-13,37%; SO ₂ 67-249 ppm; CO 1,3-129,3 ppm; NO 9,4-119,5 ppm	-		211,5-765°C		Heater F.5.01B
4.	Kilang D	125.000 BPSD	CO ₂ 10,5-11,3%; O ₂ 1-5,1%;	126,332	119.952-153.216 m ³ /jam	40 °C	0,8 kg/cm ²	Boiler OSBL A
5.	PLTU I	4x400 MW 3x600 MW	CO ₂ 12,9% O ₂ 3,7%;	60.597,737	2400 m ³ /jam	536-537°C	166-167 kg/cm ²	
6.	PLTU II	2 x 300 MW	SO ₂ 54,29 mg/Nm ³ ; NO 9,93 mg/Nm ³ ; partikulat 93,61 mg/Nm ³	6.398,465	846,391 Nm ³ / jam	160 – 165°C	0,0066 kg/cm ²	
7.	PLTU III	2 x 660 MW 2 x 710 MW	SO ₂ 105 ppm	13.017,45	2.999.988 Nm ³ / jam	56- 380°C		
8.	PLTU IV	2 x 400 MW	CO ₂ 12,27%; O ₂ 6,05%; SO ₂ 106 ppm; NOx 73,71 ppm;	785,765	2.494.512 m ³ / jam	131,8°C	3,6 kg/cm ²	

Sumber: Hasil survey 2013 dan 2014.

Berdasarkan Tabel-2, maka data karakteristik gas buang yang dibutuhkan dan berhasil dikumpulkan adalah terdiri dari:

- Kapasitas produksi,
- Komposisi gas buang,
- Laju alir, temperatur, dan tekanan gas buang.

A. Kapasitas Produksi.

Kegiatan penelitian ini mengumpulkan Hasil survey dari 2 (dua) jenis industri, yaitu Kilang dan PLTU. Berdasarkan Tabel-2 kapasitas produksi untuk Kilang A adalah sebesar 170.000 BPSD, Kilang B adalah sebesar 348.000 BPSD, Kilang C adalah sebesar 253.500 BPSD, dan Kilang D adalah sebesar 125.000 BPSD. Jumlah kapasitas sangat mempengaruhi komposisi gas CO₂ yang dibuang. Semakin besar kapasitas produksinya, maka semakin besar pula gas CO₂ yang dibuang. Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat bahwa gas CO₂ yang dibuang pada Kilang B paling besar karena memiliki kapasitas yang paling besar. Emisi CO₂ yang dihasilkan oleh Kilang B adalah sebesar 4.305 ton/hari, paling besar dibandingkan kilang-kilang lainnya, dimana Kilang A menghasilkan emisi CO₂ sebesar 1477,9 ton/hari dan Kilang D sebesar 126,3 ton/hari. Sampai saat ini belum ada peraturan yang membatasi jumlah gas CO₂ yang dibuang, maka selama ini gas CO₂ tidak ditangkap melainkan langsung dibuang ke udara.

Sedangkan kapasitas dari 4 (empat) PLTU yang dijadikan sumber data sekunder yaitu PLTU I dengan kapasitas sebesar 3400 MW, PLTU II dengan kapasitas sebesar 2 x 300 MW, PLTU III berkapasitas 2x660 MW dan 2x710 MW dan PLTU IV sebesar 2 x 400 MW. PLTU I menjadi PLTU yang paling besar kapasitasnya dibandingkan PLTU lainnya, sehingga emisi CO₂ yang dihasilkannya pun paling besar yaitu sebesar 60.597,7ton/hari. Saat ini, PLTU I merupakan PLTU berbahan bakar batu bara dengan kapasitas terbesar di Indonesia.

B. Komposisi gas buang.

Berdasarkan Tabel - 2, maka dapat dilihat bahwa komposisi gas buang di Kilang B adalah sebagai berikut komposisi CO₂ adalah 17,5% dan komposisi SO₂ adalah 500 ppm. Komposisi gas buang pada Kilang C yaitu CO₂ adalah 5,73-10,73%; O₂ adalah 2,06-13,37%; SO₂ adalah 67-249 ppm; CO adalah 1,3-129,3 ppm; dan NO adalah 9,4-119,5 ppm. sedangkan komposisi gas buang pada Kilang D adalah CO₂ sebesar 10,5 – 11,3% dan O₂ adalah sebesar 2,1-5,1%. Data karakteristik gas buang

tersebut berasal dari hasil pembakaran pada *furnace/boiler*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh U.S. EPA Tahun 2010 disebutkan bahwa proses yang paling banyak menghasilkan emisi CO₂ tertinggi dari Industri Kilang adalah 63,3% berasal dari proses pembakaran. Dapat dilihat bahwa konsentrasi gas CO₂ di Kilang B lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi gas CO₂ di Kilang C dan Kilang D. Hal ini sesuai dengan kapasitas produksi yang dihasilkan oleh Kilang B, di mana kapasitas produksinya lebih tinggi dari pada Kilang C dan Kilang D seperti yang sudah dibahas di atas. Selain itu, konsentrasi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran minyak fraksi berat pada boiler juga ditentukan oleh umpan bahan bakar dan teknologi pembakarannya.

Komposisi gas yang dihasilkan oleh 4 (empat) PLTU di Pulau Jawa adalah sebagai berikut, PLTU I kandungan emisi gas buangnya mengandung gas CO₂ sebesar 12,9%, O₂ sebesar 3,7%, dengan unit penghasil gas buang terbesar adalah unit 2. PLTU II komposisinya adalah SO₂ 54,29 mg/Nm³; NO 9,93 mg/Nm³; partikulat 93,61 mg/Nm³. Tiga unit penghasil gas buang terbesar adalah unit 1 & 2. Sedangkan PLTU III mengandung SO₂ sebesar 105 ppm. PLTU IV mempunyai komposisi CO₂ sebesar 12,27%. Konsentrasi gas CO₂ pada PLTU I dan PLTU IV berada pada kisaran 12%, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Karube *et al* Tahun 1992 bahwa Pembangkit Listrik berbahan bakar batubara menghasilkan gas buang sekitar 10-20% CO₂, dibandingkan konsentrasi CO₂ normal yang ada di udara adalah 300-600 kali lebih besar. Komposisi gas CO₂ dari kedua PLTU ini juga sesuai dengan kisaran yang dibuat oleh Rackley, S.A. (2010) yaitu konsentrasi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran batubara adalah sebesar 14% (Tabel-1).

Tidak adanya kewajiban untuk melakukan pengamatan emisi gas CO₂ membuat tidak semua PLTU melakukan kegiatan tersebut.

C. Laju alir, temperatur, dan tekanan gas buang.

Laju alir, temperatur, dan tekanan gas buang merupakan karakteristik yang diperlukan dalam perancangan alat penangkap CO₂. Peningkatan temperatur dapat meningkatkan kecepatan proses. Penelitian yang dilakukan oleh Pangastuti tahun 2011 menyatakan bahwa peningkatan temperatur hingga 150°C dapat meningkatkan kemampuan pelarut kalium karbonat berpromotor asam borat dalam mengabsorb gas CO₂, tetapi peningkatan temperatur di atas 150°C tidak efektif lagi dalam mengabsorb CO₂. Secara teori, karakteristik fisik yang dimiliki

oleh gas CO₂ adalah memiliki tekanan kritis sebesar 75 bar/1073 psia, temperatur kritis sebesar 31°C, dan densitas (0°F, 300 psia) sebesar 8,5 lb/gallon.

Karakteristik emisi gas buang dari Kilang A adalah laju alir sebesar 78,648 Nm³/jam dan temperatur sebesar 160°C. Sedangkan Kilang B memiliki laju alir gas buang sebesar 1,917-179,375 m³/jam, temperatur sebesar 320°C dan tekanan sebesar 1,023-1,025 kg/cm². Data yang diperoleh dari Kilang C menunjukkan bahwa temperatur gas buang adalah sebesar 211,5-765°C. Sedangkan data yang diperoleh dari Kilang D adalah laju alir emisi gas buang yang keluar dari Boiler adalah sebesar 119.952 -153.216 m³/jam, temperatur sebesar 40°C dan tekanan sebesar 0,8 kg/cm². Dari keempat kilang tersebut rata-rata memiliki temperatur gas buang yang cukup tinggi, di atas 150°C, pada Kilang D terdapat *Unit Amine Treating* yang berfungsi untuk mengolah gas asam serta menghilangkan gas H₂S yang ikut dalam gas asam, sehingga temperatur dan tekanan gas yang keluar menjadi tidak terlalu tinggi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Guo Tahun 2011, Kentish *et al* Tahun 2010, 2011, dan 2012, kemampuan kalium karbonat berpromotor asam borat dalam meng-absorp CO₂ efektif pada temperatur 40-80°C. Karakteristik gas buang dari Kilang yang memiliki temperatur yang sangat tinggi membuat perlunya proses pendinginan sebelum masuk ke dalam Alat Penangkap CO₂. Karakteristik dari pelarut K₂CO₃ tidak membutuhkan temperatur yang terlalu tinggi di absorber, yaitu antara 40-80°C.

Karakteristik gas buang yang berasal dari PLTU I adalah memiliki laju alir 2400 m³/jam, temperatur 536-537°C, dan tekanan 166-167 kg/cm², sedangkan karakteristik gas buang di PLTU II memiliki laju alir 846,391Nm³/jam, temperatur 160-165°C, dan tekanan 0,0066 kg/cm². Data karakteristik gas buang yang diperoleh dari PLTU III adalah laju alir sebesar 2.999.988 Nm³/jam dan temperatur sebesar 56-380°C, sedangkan data dari PLTU IV memiliki laju alir sebesar 2.494.512 m³/jam, temperatur sebesar 131,8°C, dan tekanan sebesar 3,6 kg/cm². Temperatur gas buang yang keluar dari PLTU III tidak terlalu tinggi karena memiliki unit FGD (*Flue Gas Desulfurization*) yang berfungsi untuk mengurangi kadar SO₂. Temperatur gas buang dari Boiler ke ESP (*Electro Static Precipitation*) adalah 380° C. Temperatur gas buang dari ESP ke FGD adalah 160°C sedangkan temperatur gas buang yang keluar dari FGD adalah 56°C. Sehingga Industri PLTU yang memiliki unit FGD apabila akan mengaplikasikan alat penangkap CO₂ dengan menggunakan pelarut

K₂CO₃ tidak memerlukan proses pendinginan karena temperatur gas buang sudah sesuai dengan kemampuan pelarut dalam menangkap CO₂.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Gas buang yang berasal dari industri kilang dan PLTU memiliki karakteristik sebagai berikut yaitu konsentrasi CO₂ yang berasal dari kilang antara 6-18%, sedangkan konsentrasi CO₂ yang berasal dari PLTU berbahan bakar batubara adalah sekitar 12%. Temperatur gas buang yang berasal dari kilang antara 40-765°C, sedangkan temperatur dari PLTU antara 56-537°C. Tekanan gas buang yang berasal dari kilang adalah 0,8-1,03 kg/cm², sedangkan tekanan gas buang dari PLTU adalah 0,007-167 kg/cm². Laju alir gas buang yang berasal dari kilang antara 1,9-153.216m³/jam, sedangkan laju alir dari PLTU berkisar antara 846 - 2.999.988m³/jam. Untuk mengaplikasikan Alat Penangkap CO₂ menggunakan pelarut Kalium karbonat pada industri Kilang dan PLTU, maka diperlukan alat pendingin untuk mengurangi temperatur emisi gas yang masuk ke dalam Alat Penangkap CO₂. Jika pada industri Kilang maupun PLTU terdapat unit FGD, maka tidak diperlukan lagi alat pendingin.

KEPUSTAKAAN

- Brett P. Spigarelli, S. Komar Kawatra**, 2013. *Opportunities and challenges in carbon dioxide capture. Journal of CO₂ Utilization 1* (2013) 69–87.
- D. Wappel, Khan Ash, David Shallcross, Sebastian Joswig, Sandra Kentish, and Geoff Stevens**, 2009. *The Effect of SO₂ on CO₂ Absorption in an aqueous potassium carbonate solvent. Energy Procedia 1* (2009) 125-131.
- Guo, D., H. Thee, G. da Silva, J. Chen, W. Fei, S. Kentish, and G. W. Stevens**, 2011. *Borate-catalyzed Carbon Dioxide Hydration via The Carbonic Anhydrase Mechanism. Environmental Science & Technology* 45.
- Indonesia CCS Study Working Group**, 2009. *Understanding Carbon Capture and Storage Potential in Indonesia*.
- Karube, I., Takeuchi, T., Bares, D.J.**, 1992. *Biotechnological Reduction of CO₂ Emission, Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, , 46, 63-79.
- Kentish, S.**, 2010. *Capture Technologies: Solvents*.

Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC). Brisbane. Australia.

- Kentish, S, H. Thee, K.H. Smith, G. da Silva, G.W. Stevens,** 2011. *Carbon dioxide absorption into unpromoted and borate-catalyzed potassium carbonate solutions*. Chemical Engineering Journal 181-182 (2012), 694-701.
- Kentish, S., K.H. Smith, C.J. Anderson, W. Tao, K. Endo, k.A. Mumford, A. Qader, B. Hooper, G.W. Stevens,** 2012. *Pre-combustion capture of CO₂-Results from solvent absorption pilot plant trials using 30 wt% potassium carbonate and boric acid promoted potassium carbonate solvent*. International Journal of Greenhouse Gas Control 10 (2012) 64-73.
- Pangastuti, A.,** 2011. *Model absorpsi gas CO₂ dalam larutan K₂CO₃ dengan promotor asam borat pada packed column*. Undergraduate Thesis, Chemical Engineering, RSK 660. 284 23 Pan. Surabaya
- Pusdatin,** 2006. *Buku Pegangan Statistik Ekonomi*

Energi Indonesia. DESDM

- Rackley, S.A.,** 2010. *Carbon Capture Storage*. Elsevier Inc.
- Raksajati, M.T. Ho, D.E. Wiley,** 2013. *Reducing the cost of CO₂ capture from flue gases using aqueous chemical absorption*. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 52 (2013) 16887 – 16901.
- Rochelle, G.T., et al.** 2007. *CO₂ Capture by Absorption with Potassium carbonate. Final Report Department of Chemical Engineering The University of Texas at Austin and the University of Regina, Saskatchewan. USA.*
- U.S. Environmental Protection Agency,** 2010. *Available And Emerging Technologies For Reducing Greenhouse Gas Emissions From The Petroleum Refining Industri*. Sector Policies and Programs Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, North Carolina.