

# Pengolahan Gas CO<sub>2</sub> Hasil Samping Industri Amoniak Melalui Gasifikasi Batubara yang Telah dipirolisis dengan Menambahkan Ca(OH)<sub>2</sub>

Saripah sobah<sup>1,\*</sup>, Hary Sulisty<sup>2</sup>, Siti Syamsiah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang  
Jl Brigjend Katamso No 40 Bontang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl.Grafika 2 Yogyakarta 55281

## Abstract

CO<sub>2</sub> is one of the greenhouse gases that is considered to cause global warming. Ammonia industry produces emission gas of CO<sub>2</sub> in relatively great amount with an emission factor of 3.273 ton CO<sub>2</sub>/ton ammonia. One of the attempts to reduce CO<sub>2</sub> gas emissions is by converting CO<sub>2</sub> into syngas (CO) through gasification process. CO is one of the methanol feedstock. This research aimed to find out the amount of CO<sub>2</sub> that can be reduced through charcoal gasification process. The reaction of carbon from coal can be reduced through the gasification process. Since the carbon reaction from coal with CO<sub>2</sub> gas in the gasification process was an endothermic and occurred very slowly at temperatures below 1000°C, Ca(OH)<sub>2</sub> was used as a catalyst. The coal gasification process was conducted in a fixed bed reactor. The experimental results showed that coal gasification with the use of Ca(OH)<sub>2</sub> in the pyrolysis process could reduce CO<sub>2</sub> levels by 63.17%, meanwhile without Ca(OH)<sub>2</sub>, the CO<sub>2</sub> could be reduced only up to 35.2%.

**Keywords:** carbon dioxide, global warming, gasification, charcoal, calcium hydroxide.

## Abstrak

Gas CO<sub>2</sub> merupakan salah satu gas rumah kaca yang dianggap memiliki kontribusi terhadap pemanasan global. Industri amoniak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> cukup besar dengan faktor emisi 3,273 ton CO<sub>2</sub>/ton amoniak. Salah satu upaya untuk mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> yang dapat dilakukan adalah mengkonversi gas CO<sub>2</sub> menjadi gas sintesis (CO) melalui proses gasifikasi batubara. Gas CO merupakan salah satu bahan baku pembuatan metanol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gas CO<sub>2</sub> dapat dikurangi kadarnya melalui proses gasifikasi arang batubara. Reaksi karbon dari arang batubara dengan gas CO<sub>2</sub> pada proses gasifikasi merupakan reaksi endotermis dan berlangsung sangat lambat pada suhu di bawah 1000°C sehingga digunakan Ca(OH)<sub>2</sub> sebagai katalisator. Proses gasifikasi batubara dijalankan dalam reaktor *fixed bed*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gasifikasi arang batubara dengan penambahan Ca(OH)<sub>2</sub> pada proses pirolisis dapat mengurangi gas CO<sub>2</sub> sampai sebesar 63,17%, sementara untuk gasifikasi tanpa Ca(OH)<sub>2</sub>, gas CO<sub>2</sub> hanya berkurang sampai 35,2%

**Kata kunci:** karbondioksida, pemanasan global, gasifikasi, arang batubara, kalsium hidroksida

## Pendahuluan

Dampak pemanasan global telah meluas dan menjadi perhatian dunia sehingga dibentuk *United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties (COP)* dari badan tersebut menghasilkan Protokol Kyoto yang salah satu isinya adalah kesepakatan untuk mengurangi gas rumah kaca. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk menurunkan kadar emisi gas rumah kaca sebesar 26% di tahun 2020. Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan

Emisi Gas Rumah Kaca dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional untuk melaksanakan komitmen tersebut.

Peningkatan kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer cukup signifikan. Kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer cukup stabil pada 280 ppm pada masa sebelum revolusi industri (tahun 1700 M) dan pada bulan April 2012 konsentrasi tersebut meningkat menjadi 394,01 ppm (<http://www.ncdc.noaa.gov>). Laju pertumbuhan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam tahun 2000-2006 mencapai 1,93 ppm per tahun (Boer dkk., 2012). Sektor Industri merupakan salah satu penyumbang emisi gas CO<sub>2</sub>. Salah satu industri tersebut adalah industri amoniak. Faktor emisi gas CO<sub>2</sub> yang berasal dari industri amoniak

\* Alamat korespondensi: sobahypk@yahoo.com

adalah 3,273 ton CO<sub>2</sub>/ton amoniak (Djadjadilaga dkk., 2009).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> adalah dengan mengkonversi gas CO<sub>2</sub> menjadi gas sintesis (CO) melalui proses gasifikasi batubara. Gasifikasi batubara merupakan teknologi yang bersih karena tidak menghasilkan gas SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub>. Jumlah sumber batubara di Indonesia cukup besar akan tetapi penggunaannya masih terbatas. Pada tahun 2010 produksi batubara di Indonesia mencapai 275 juta ton namun yang digunakan di dalam negeri hanya 24,36% (Ariyono, 2011).

Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebagai hasil samping industri amoniak jumlahnya cukup besar yaitu sekitar 1,5-1,6 ton CO<sub>2</sub>/ton amoniak (Wiwoho, 2001) dan memiliki kemurnian sekitar 99,8%. Gas CO<sub>2</sub> dengan kemurnian yang cukup tinggi tersebut dapat digunakan sebagai medium penggasifikasi. Keuntungan yang diperoleh dari proses gasifikasi tersebut adalah mengurangi jumlah gas CO<sub>2</sub> yang dibuang ke atmosfer, meningkatkan nilai ekonomis dari CO<sub>2</sub> dan batubara, dan menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan gas sintesis (gas CO) sebagai bahan baku industri petrokimia.

Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara yang berwujud padat menjadi campuran gas. Proses gasifikasi batubara terdiri dari beberapa tahap dan tidak ada batasan yang pasti antara tahap satu dengan tahap lainnya. Gasifikasi batubara diawali dengan proses pirolisis kemudian diikuti dengan proses gasifikasi. Proses pirolisis mulai terjadi pada suhu 400°C (Ismail, 1995). Medium penggasifikasi yang dapat digunakan sebagai penggasifikasi (*gasifying agent*) adalah udara, *steam*, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> atau campuran dari medium tersebut. Gasifikasi batubara dengan medium gas CO<sub>2</sub> menghasilkan produk utama berupa gas CO. Reaksi utama yang terjadi adalah reaksi Boudouard. Reaksi Boudouard adalah reaksi yang sangat endotermis dan tanpa katalisator reaksi ini berlangsung sangat lambat pada suhu di bawah 1000 K (Cortés dkk., 2009).

Reaksi Boudouard :



Reaksi tersebut dapat berlangsung lebih cepat pada suhu rendah jika digunakan katalisator. Katalisator yang dapat digunakan untuk proses batubara adalah unsur-unsur dari golongan alkali dan alkali tanah dalam bentuk oksida atau karbonatnya dan golongan transisi dalam bentuk oksidanya. Kalsium hidroksida merupakan salah

satu senyawa yang dapat digunakan sebagai katalisator reaksi gasifikasi batubara dengan gas CO<sub>2</sub>.

Penelitian tentang gasifikasi batubara telah banyak dilakukan, diantaranya Hutagaol (1990) telah meneliti tentang mekanisme gasifikasi batubara asal Kalimantan Timur dengan CO<sub>2</sub> dan *Steam*, Sudaryanto (2000) meneliti tentang gasifikasi arang batubara dengan gas CO<sub>2</sub> dan Sawetaporn dkk, (2009) melakukan penelitian mengenai kinetika dan reaktifitas Gasifikasi Batubara Thai dengan CO<sub>2</sub>. Penelitian- penelitian tersebut tidak digunakan katalisator.

Kodama dkk (2001) telah mempelajari efek katalitik oksida logam (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) terhadap reaksi Boudouard (reaksi C-CO<sub>2</sub>) pada gasifikasi batubara dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub>. Wang dkk. (2010) telah melakukan penelitian tentang peningkatan kinerja katalisator K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> untuk gasifikasi arang batubara dengan *steam* dengan menggunakan Ca(OH)<sub>2</sub> pada proses pembuatan arang dan menemukan bahwa batubara yang ditambahkan dengan Ca(OH)<sub>2</sub> pada tahap pirolisis memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara yang tidak ditambahkan Ca(OH)<sub>2</sub> dan batubara yang ditambahkan Ca(OH)<sub>2</sub> setelah dipirolisis.

Berdasarkan penelusuran pustaka, peneliti belum menemukan penelitian mengenai gasifikasi arang batubara *bituminus* dari Kalimantan Timur dengan gas CO<sub>2</sub> dengan menambahkan serbuk Ca(OH)<sub>2</sub> pada proses pirolisis. Penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk (2010) adalah gasifikasi batubara dengan medium penggasifikasi *steam*, sedangkan pada penelitian ini medium penggasifikasi yang digunakan adalah gas CO<sub>2</sub>.

**Tabel 1. Hasil Analisis Ultimat Batubara Bituminus Hasil Pirolisis (T = 700°C, t = 90 menit, q = 20°C/menit)**

| Tanda Contoh               | Abu %, adb  | Karbon %, adb | Hidrogen %, adb | Nitrogen %, adb | Belerang Total %, adb | Oksigen %, adb |
|----------------------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| Bahan Baku                 | 5,76        | 63,63         | 5,52            | 1,50            | 1,06                  | 22,53          |
| Dengan Ca(OH) <sub>2</sub> | 17,89       | 75,01         | 1,54            | 1,47            | 0,80                  | 3,29           |
| Tanpa Ca(OH) <sub>2</sub>  | 13,03       | 80,93         | 1,73            | 1,70            | 1,16                  | 1,45           |
| Metode                     | ASTM D.5373 | ASTM D.5373   | ASTM D.5373     | ASTM D.5373     | ASTM D.4239           | ASTM D. 3176   |

Ket: Adb = *air dried basis* (Sobah, 2012)

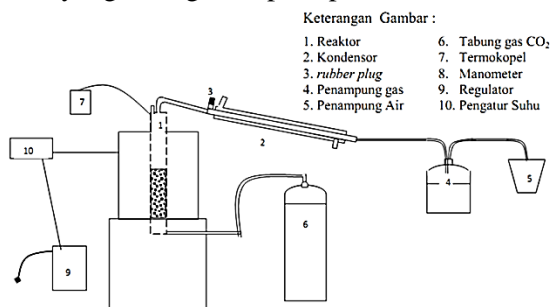
## Metode Penelitian

### Bahan Baku

Bahan baku adalah batubara bituminus yang berasal dari Bontang, Kalimantan Timur,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  *pro analysis* diperoleh dari Bratachem, gas  $\text{CO}_2$  99%, dan gas nitrogen) teknis 95%. Hasil analisis ultimat batubara dan arang hasil pirolisis disajikan pada Tabel 1.

### Alat Penelitian

Alat gasifikasi terdiri dari reaktor *fixed bed* yang terbuat dari bahan kuarsa dengan ukuran: panjang 41,5 cm, diameter dalam 3,81 cm, diameter luar 3,97 cm, pendingin (*condenser*) dengan ukuran panjang 34 cm, penampung gas dengan ukuran 19 L, ember penampung air dengan ukuran 10 L, tabung gas  $\text{CO}_2$ , *termocouple*, manometer, regulator, dan pengatur suhu yang dirangkai seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Gasifikasi (Sobah, 2012)

### Prosedur Penelitian

Batubara dengan ukuran 4 - 5,6 mm sebanyak 100 gram dicampur dengan 10 gram serbuk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kemudian dipirolisis pada suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 90 menit dengan laju pemanasan kurang lebih  $20^\circ\text{C}/\text{menit}$ . Proses pirolisis dilakukan untuk meningkatkan kadar karbon dan menghilangkan *volatile matter* sehingga gas yang dihasilkan selama gasifikasi dapat diasumsikan hanya berasal dari reaksi C dan  $\text{CO}_2$ . Proses pirolisis diawali dengan pembilasan menggunakan gas nitrogen selama 30 menit. Arang batubara hasil pirolisis seberat 10 gram digasifikasi selama 120 menit dengan laju pemanasan  $20^\circ\text{C}/\text{menit}$ . Proses ini dimulai dengan pembilasan menggunakan gas nitrogen selama 20 menit. Setelah suhu yang diinginkan tercapai, gas  $\text{CO}_2$  dialirkan dengan kecepatan 544 mL/menit. Pengambilan sampel gas dilakukan setiap menit ke 20, 40, 60, 80, 100, dan 120. Gas yang dihasilkan ditampung di dalam penampung gas dan volumenya dicatat. Volume gas yang

dihasilkan dihitung dengan cara menghitung volume air yang keluar dari penampung gas.

Pengambilan sampel gas keluar reaktor dilakukan untuk menganalisis kadar  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{CH}_4$  dengan menggunakan alat kromatografi gas. Analisis terhadap arang sisa juga dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengurangan berat batubara setelah digasifikasi.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Komposisi Gas

Pengaruh penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  terhadap komposisi gas dapat dilihat Tabel 2. Secara keseluruhan penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada suhu  $700\text{-}900^\circ\text{C}$  menyebabkan penurunan kadar gas  $\text{CO}_2$  lebih banyak dibandingkan dengan tanpa penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Hal ini disebabkan oleh peranan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang dapat meningkatkan konversi melalui beberapa mekanisme yaitu menonaktifkan mineral lempung asam yang terkandung di dalam batubara yang mengganggu proses gasifikasi (Wang dkk., 2010), meningkatkan aktifitas mineral-mineral pada proses perengkahan (Franklin dkk., 1981), dekarbonisasi gugus fenol (Wood dan Sancier, 1980), dan meningkatkan jumlah  $\text{CO}_2$  *chemisorbed* (Solano dkk., 1989).

Tabel 2. Komposisi Gas Hasil pada Berbagai Suhu. ( $m_{a0}=10$  gram,  $d_p=3,5\text{-}5$  mesh,  $Q_{\text{CO}_2}=544$  mL/L,  $q=20^\circ\text{C}/\text{menit}$ )

| Komponen Gas                         | $700^\circ\text{C}$ |         | $800^\circ\text{C}$ |         | $900^\circ\text{C}$ |         |
|--------------------------------------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
|                                      | A                   | B       | A                   | B       | A                   | B       |
| CO (%mol)                            | 10,9144             | 1,2583  | 15,8678             | 14,9809 | 27,6170             | 26,5571 |
| $\text{CO}_2$ (%mol)                 | 64,6445             | 28,4313 | 54,0284             | 26,3619 | 63,4873             | 51,8217 |
| $\text{O}_2$ dan $\text{N}_2$ (%mol) | 24,4411             | 57,3104 | 30,1038             | 58,6572 | 8,8957              | 21,6212 |

Ket: A : tanpa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , B : dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Sobah, 2012)

Penurunan kadar gas  $\text{CO}_2$  tidak linear dengan kenaikan suhu. Kadar  $\text{CO}_2$  yang paling rendah diperoleh pada kondisi suhu  $800^\circ\text{C}$  baik pada gasifikasi tanpa penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  atau dengan penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Peningkatan kadar  $\text{CO}_2$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dapat terjadi karena ada sebagian gas CO atau karbon dari arang batubara yang bereaksi dengan oksigen membentuk gas  $\text{CO}_2$  yang ditandai dengan berkurangnya kadar gas  $\text{O}_2$ . Pada gasifikasi dengan penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , penurunan kadar  $\text{CO}_2$  juga disebabkan karena terjadi reaksi antara CaO yang berasal dari  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan  $\text{CO}_2$  membentuk  $\text{CaCO}_3$  pada suhu  $750^\circ\text{C}$ . Meningkatnya kembali kadar  $\text{CO}_2$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$  terjadi karena  $\text{CaCO}_3$  mengalami dekomposisi menjadi CaO dan  $\text{CO}_2$ ,

menurut Halikia dkk (2001), laju reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  berlangsung sangat cepat pada suhu  $850^\circ\text{C}$  sampai  $870^\circ\text{C}$ .

**Pengurangan Kadar Gas  $\text{CO}_2$**

Pengurangan kadar gas  $\text{CO}_2$  pada berbagai suhu pada kondisi tanpa menggunakan  $\text{Ca(OH)}_2$  dan menggunakan  $\text{Ca(OH)}_2$  disajikan pada Tabel 3 dan 4. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gas  $\text{CO}_2$  dapat direduksi dengan gasifikasi batubara. Jika ditinjau dari konsentrasi CO yang terbentuk, konversi berbanding lurus dengan naiknya suhu. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah gas CO yang dihasilkan. Pengurangan gas  $\text{CO}_2$  yang tidak linear dengan kenaikan suhu. Pengurangan gas  $\text{CO}_2$  terbesar terjadi pada suhu  $800^\circ\text{C}$  yaitu sebesar 4,2057 gram  $\text{CO}_2$ /gram arang batubara dengan pengurangan kadar gas  $\text{CO}_2$  sebesar 35,2%. Meningkatnya kadar gas  $\text{CO}_2$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$  diikuti dengan berkurangnya kadar gas lain ( $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$ ). Peningkatan kadar gas  $\text{CO}_2$  tersebut kemungkinan disebabkan karena ada sebagian oksigen yang bereaksi dengan karbon atau gas CO membentuk gas  $\text{CO}_2$ .

Pengurangan gas  $\text{CO}_2$  pada gasifikasi dengan menambahkan  $\text{Ca(OH)}_2$  pada rentang suhu  $600^\circ\text{C}$  sampai  $1000^\circ\text{C}$  mencapai puncaknya pada suhu gasifikasi  $800^\circ\text{C}$  yaitu sebesar 7,2244 gram  $\text{CO}_2$ /g batubara atau sebesar 63,17%. Pada suhu  $700^\circ\text{C}$  pengurangan kadar  $\text{CO}_2$  tidak jauh berbeda dengan suhu  $800^\circ\text{C}$  akan tetapi konversi CO yang dicapai paling besar.

Kapasitas produksi amoniak di seluruh dunia sekitar 14 juta ton/tahun dengan jumlah gas  $\text{CO}_2$

yang diemisikan sekitar 45,8 juta ton. Jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang dapat dimanfaatkan sekitar 21 juta ton/tahun. Terdapat 2 buah pabrik amoniak yang memproduksi di Bontang dengan kapasitas masing-masing 660.000 ton/tahun dan 495.000 ton/tahun. Kedua pabrik tersebut mengemisikan gas  $\text{CO}_2$  sebesar 4.042.500 ton/tahun. Gas  $\text{CO}_2$  yang dapat dimanfaatkan dari kedua pabrik tersebut adalah 1.732.500 ton  $\text{CO}_2$ /tahun. Jika kedua pabrik tersebut menerapkan proses ini, maka gas  $\text{CO}_2$  tersebut dapat dikurangi sebesar 1.094.420 ton  $\text{CO}_2$ /tahun. Penerapan proses ini akan memberikan beberapa dampak positif baik bagi lingkungan hidup maupun perekonomian. Dampak bagi lingkungan hidup adalah berkurangnya jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang dibuang ke atmosfer sehingga akan mengurangi pemanasan global dan dampak turunannya. Pemanfaatan batubara melalui gasifikasi lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan pembakaran batubara yang mengemisikan banyak debu dan gas pencemar seperti  $\text{SO}_x$  dan  $\text{NO}_x$ . Penerapan proses ini akan memberikan keuntungan lain selain lebih ramah lingkungan yaitu menciptakan lapangan pekerjaan baru sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat di sekitarnya. Selain menciptakan lapangan pekerjaan baru, perusahaan juga mendapatkan keuntungan dari *emission trading* dan telah menerapkan mekanisme pembangunan bersih (CDM). Proses ini juga akan meningkatkan nilai ekonomis batubara yang sebagian besar hanya diekspor atau digunakan sebagai bahan bakar saja.

**Tabel 3. Hubungan suhu dan pengurangan  $\text{CO}_2$  (Tanpa  $\text{Ca(OH)}_2$ )**

( $m_{ao}$ =10 gram,  $d_p$ =3,5-5 mesh,  $Q_{CO_2}$  =544 mL/L,  $q$ =  $20^\circ\text{C}$ /menit)

| Suhu ( $^\circ\text{C}$ ) | Input                     | Output                    |                | Pengurangan $\text{CO}_2$                      |       | CO hasil                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--|-------|------------------------------------|
|                           | $\text{CO}_2$ (mol/menit) | $\text{CO}_2$ (mol/menit) | CO (mol/menit) | (gram $\text{CO}_2$ /gram arang batubara awal) | % mol | (gram CO/gram arang batubara awal) |
| 700                       | 0,0217                    | 0,0158                    | 0,0267         | 3,0756   | 26,89 | 0,8983                             |
| 800                       | 0,0217                    | 0,0140                    | 0,0412         | 4,0257   | 35,20 | 1,3851                             |
| 900                       | 0,0217                    | 0,0172                    | 0,0750         | 2,3334   | 20,40 | 2,5199                             |

**Tabel 4. Hubungan suhu dan pengurangan  $\text{CO}_2$  (dengan  $\text{Ca(OH)}_2$ )**

( $m_{ao}$ =10 gram,  $d_p$ =3,5-5 mesh,  $Q_{CO_2}$  =544 mL/L,  $q$ =  $20^\circ\text{C}$ /menit)

| Suhu ( $^\circ\text{C}$ ) | Input                     | Output                    |                | Pengurangan $\text{CO}_2$                      |       | CO hasil                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--|-------|------------------------------------|
|                           | $\text{CO}_2$ (mol/menit) | $\text{CO}_2$ (mol/menit) | CO (mol/menit) | (gram $\text{CO}_2$ /gram arang batubara awal) | % mol | (gram CO/gram arang batubara awal) |
| 600                       | 0,0217                    | 0,0199                    | 0,0007         | 0,8993   | 7,86  | 0,2213                             |
| 700                       | 0,0217                    | 0,0083                    | 0,0083         | 7,0443   | 61,59 | 4,3922                             |
| 800                       | 0,0217                    | 0,0080                    | 0,0029         | 7,2244   | 63,17 | 1,5232                             |
| 900                       | 0,0217                    | 0,0147                    | 0,0048         | 3,6732   | 32,12 | 2,5318                             |
| 1000                      | 0,0217                    | 0,0182                    | 0,0048         | 1,8028   | 15,76 | 2,5488                             |

## Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Gasifikasi arang batubara bituminus dengan medium gas CO<sub>2</sub> dapat mengurangi kadar gas CO<sub>2</sub> yang dibuang ke atmosfer dan memberikan dampak positif bagi lingkungan hidup dan perekonomian.
2. Penambahan Ca(OH)<sub>2</sub> pada proses pirolisis dapat meningkatkan konversi reaksi Boudouard (C-CO<sub>2</sub>) pada gasifikasi batubara.
3. Gasifikasi arang batubara bituminus yang berasal dari Kalimantan Timur dengan medium gas CO<sub>2</sub> menghasilkan pengurangan jumlah gas CO<sub>2</sub> sebesar 63,17% pada kondisi suhu 800°C dan laju gas CO<sub>2</sub> 544 mL/menit dengan penambahan Ca(OH)<sub>2</sub> pada proses pirolisis dan sebesar 35,2% untuk gasifikasi tanpa penambahan Ca(OH)<sub>2</sub> dengan kondisi operasi yang sama.

## Daftar Pustaka

- Ariyono, B. G., 2011. Indonesian Coal Mining Up Date, International Symposium Clean Coal Day in Japan 2011, Japan Coal Energy Centre, Japan.
- Boer, R., Dewi, R. G., Siagian, W. R., 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, Hal 8.
- Cortés, C. G., Tzimas, E., dan Peteves, S. D., 2009. Technologies for Coal Based Hydrogen and Electricity Co-production Power Plants with CO<sub>2</sub> Capture, 10.2790/23969.
- Djajadilaga, M., Tejalaksana, A., Harnowo, H., Gusthi, dan A. S., Sudarmanto, 2009. Emisi Gas Rumah Kaca dalam Angka, Asisten Deputi Urusan Data dan Informasi Lingkungan, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, Hal 7.
- Franklin, H. D., Peter, W. A., dan Howard, J. B., 1981. Mineral Matter Effects on The Rapid Pyrolysis Hydrolysis of Bituminous Coal, American Society National Meeting, fuel Chemistry Division Preprints 26 (23), 35-42.
- Halikia, I., Zoumpoulakis, L., Christodoulou, E., dan Pratis, D., 2001. Kinetic study of the thermal decomposition of calcium carbonate by isothermal methods of analysis, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection Vol.1 (2), 1303-0868, 2001, pp. 89-102.
- Hutagaol, T., 1990. Gasifikasi Batubara Kalimantan Timur, Master Thesis, Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia.
- Ismail, S., 1995. Batubara Indonesia: Potensi dan Harapan, Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap dalam Ilmu Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Kodama, T., Funatoh, A., Shimizu, K., dan Kitayama, Y., 2001. Kinetics of Metal Oxide-Catalyzed CO<sub>2</sub> Gasification of Coal in a Fluidized-Bed Reactor for Solar Thermochemical Process, Japan, Energy and Fuel, 15, 1200-1206.
- National Climate Data Center, National Oceanic and Atmospheric administration, 2011. 28-6-2011, <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/gases>.
- Sawetaporn, S., Bunyakiat, K., dan Kitiyanan, B., 2009. CO<sub>2</sub> Gasification of Thai Coal Chars: Kinetics and Reactivity Studies, Korean J. Chem. Eng., 26 (4), 1009-1015.
- Sobah, S., 2012. Gasifikasi Arang Batubara Bituminus dengan Gas CO<sub>2</sub> menggunakan Ca(OH)<sub>2</sub> pada Proses Pirolisis, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Solano, L. A., Alarcon, M. A., De Lecea, S. M., dan Amoros, D. C., Calcium Deactivation in CO<sub>2</sub> and Steam Gasification Reaction, Department of Inorganic Chemistry in the Science Faculty of the University of Alicante, 136-143.
- Sudaryanto, Y., 2000. Gasifikasi Arang Batubara menggunakan Gas CO<sub>2</sub>, Tesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wang, J., Yao, Y., Cao, J., dan Jiang, M., 2010. Enhanced catalysis of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> for steam gasification of coal char by using Ca(OH)<sub>2</sub> in char preparation, Fuel, 89 (2), 310-317.
- Wiwoho, D., 2001. Emisi Gas Rumah Kaca Pabrik Amoniak, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol.3 (5), 110-115.
- Wood, B. J., dan Sancier, K. M., 1980. A Current View of The Mechanism for The Catalytic Gasification of Coal Char, Material Research Laboratory, SRI International, 104-108.