

LOMBA KARYA TULIS ILMIAH

LKTI 4th Edition Chemical Expo 2018

***Dry Reforming* Pengubah Emisi Gas CO₂ Sebagai Alternatif Bahan Bakar
Pembangkit Listrik**



Diusulkan Oleh:

Siti Hasna Rachmawati Syarif	151424030	2015
Heri Kurniawan	171411045	2017
Intan Puspitarini	171411046	2017

POLITEKNIK NEGERI BANDUNG

Kabupaten Bandung Barat

2018

LEMBAR PENGESAHAN
LOMBA KARYA TULIS ILMIAH (LKTI) TINGKAT NASIONAL
Himpunan Mahasiswa Jurusan Kimia
Universitas Negeri Medan

1. Judul Karya Tulis : *Dry Reforming* Pengubah Emisi Gas CO₂ sebagai Alternatif Bahan Bakar Pembangkit Listrik
2. Subtema : Energi
3. Ketua Pelaksana Kegiatan
- a. Nama Lengkap : Siti Hasna Rachmawati Syarif
 - b. NIM : 151424030
 - c. Jurusan/Fakultas : Teknik Kimia/Teknik
 - d. Universitas : Politeknik Negeri Bandung
 - e. Alamat Rumah : Jl. Sariwangi No.21 RT01/RW09, Kec. Parongpong, Kab. Bandung Barat.
 - f. No. Telp / HP : 089615531004
 - g. Alamat email : hasnarsyarif@gmail.com
4. Anggota Tim : 1. Heri Kurniawan
2. Intan Puspitarini
5. Dosen Pembimbing :
- a. Nama Lengkap : Ir. Mukhtar Ghozali, M.Sc
 - b. NIP : 19570302 198811 1 001
 - c. No. Telp / HP : 0818434612

Bandung, 4 Februari 2018

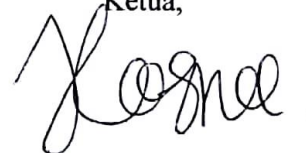
Mengetahui,

Dosen Pembimbing,



Ir. Mukhtar Ghozali, M.Sc
NIP. 19570302 198811 1 001

Ketua,



Siti Hasna Rachmawati Syarif
NIM. 151424030

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Bintang Iwhan Moehady, M.Sc
NIP. 19551120 198403 1 002

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini,

Nama Ketua : Siti Hasna Rachmawati Syarif
Tempat, Tanggal Lahir : Bandung, 12 Januari 1996
Jurusan / Fakultas : Teknik Kimia
Universitas : Politeknik Negeri Bandung
Nama Anggota 1 : Heri Kurniawan
Tempat, Tanggal Lahir : Majalengka, 28 Agustus 1997
Jurusan / Fakultas : Teknik Kimia
Universitas : Politeknik Negeri Bandung
Nama Anggota 2 : Intan Puspitarini
Tempat, Tanggal Lahir : Bekasi, 28 September 1999
Jurusan / Fakultas : Teknik Kimia/ Teknik
Universitas : Politeknik Negeri Bandung

Dengan ini bahwa karya tulis dengan judul, *Dry reforming Pengubah Emisi Gas CO₂ sebagai Alternatif Bahan Bakar Pembangkit Listrik* adalah benar - benar hasil karya sendiri dan bukan merupakan plagiat atau saduran dari karya tulis orang lain serta belum pernah menjuarai di kompetisi serupa. Apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh panitia LKTI 4th Edition Chemical Expo 2018 berupa diskualifikasi dari kompetisi.

Demikian surat ini dibuat dengan sebenar – benarnya, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 4 Februari 2018



Siti Hasna Rachmawati Syarif

NIM : 151424030

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Karya Ilmiah yang berjudul “*Dry Reforming* Pengubah Emisi Gas CO₂ Sebagai Alternatif Bahan Bakar Pembangkit Listrik”.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan karya tulis ini, untuk memenuhi upaya penulis dalam mengembangkan dan meningkatkan ilmu pengetahuan tentang materi yang sedang penulis pelajari.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan menuju kesempurnaan karya tulis ini. Akhir kata, penulis berharap karya tulis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Dengan menyelesaikan karya tulis ini penulis mengharapkan banyak manfaat yang dapat diambil dari karya ini. Semoga dengan adanya karya tulis ini dapat mengurangi dan mengolah polutan pada industri yaitu emisi gas CO₂, maupun limbah cair yaitu pada air lindi di TPA.

Bandung, 4 Februari 2018

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Lembar Pernyataan	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Abstrak	1

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penulisan	7
1.4 Manfaat Penulisan	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emisi Gas Karbon Dioksida (CO ₂)	8
2.1.1 Karakteristik gas CO ₂	9
2.2 Emisi Gas Metana (CH ₄)	10
2.2.1 Gas CH ₄ dari sampah	11
2.2.2 Karakteristik Gas Metana (CH ₄)	13
2.3 Gas Sintetis (<i>Syngas</i>)	14
2.4 Pembuatan Gas Sintetis dengan CO ₂ <i>Reforming</i> (<i>Dry Reforming</i>)	15
2.4.1 CO ₂ <i>Reforming</i> (<i>Dry Reforming</i>)	16
2.4.2 Penggunaan Katalis dan Bahan Pendukung	17
2.4.3 Peran Katalis Nikel (Ni/Al ₂ O ₃) dalam <i>Dry Reforming</i>	18
2.4.4 Proses Simulasi Dry Reforming menggunakan Aspen HYSYS V.8.8	18

BAB III METODE PENULISAN

3.1 Sumber dan Jenis Data	20
---------------------------------	----

3.2 Pengumpulan Data	20
3.4 Penarikan Kesimpulan	20

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi	21
4.1.1 <i>Dry Reforming</i>	21
4.1.2 <i>CO- Shift Conversion</i>	23
4.2 Pembahasan	25

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran.....	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Potensi Gas Metana dari 10 kota besar di Indonesia.....	4
Gambar 2. Proyeksi Potensi Gas Metana Total dari 10 Kota Besar di Indonesia.....	5
Gambar 3. Proses CO ₂ Reforming (<i>Dry Reforming</i>).....	17
Gambar 4. Proses Flow Diagram Simulasi	19
Gambar 5. Proses Flow Diagram Simulasi	21
Gambar 6. Laju pembentukan komponen H ₂ dan CO pada <i>dry reforming</i>	23
Gambar 7. Laju pembentukan komponen gas H ₂ dan CO	24

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Emisi CO ₂ dari beberapa jenis bahan bakar	8
Tabel 2. Sifat dan Karakteristik Karbon Dioksida	9
Tabel 3. Komposisi Air Lindi	12
Tabel 4. Sifat dan Karakteristik Metana	13
Tabel 5. Perbedaan Berbagai Proses Pembuatan <i>Syngas</i>	15
Tabel 6. Kondisi Operasi <i>Syngas</i> pada P = 0.9 bar	22
Tabel 7. Kondisi operasi <i>syngas</i> pada P = 2bar	22
Tabel 8 . Kondisi operasi hasil CO- Shift Conversion.....	24
Tabel 9. Perbandingan biaya yang dibutuhkan pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik	25

***Dry Reforming* Pengubah Emisi Gas CO₂ Sebagai Alternatif Bahan Bakar
Pembangkit Listrik**

Siti Hasna Rachmawati Syarif

Heri Kurniawan

Intan Puspitarini

Politeknik Negeri Bandung

Abstrak:

Di era modern ini, khususnya di Indonesia, jumlah industri semakin meningkat kurang lebih hingga 7% setiap tahunnya. Hal ini dapat berakibat sangat buruk bagi lingkungan karena emisi gas buang yang dikeluarkan, terutama gas CO₂ yang dihasilkan sebanyak 57% dari penyumbang totalnya. Contohnya, seperti industri yang berada di Cimahi yang menggunakan 15-75 ton batubara yang akan menghasilkan emisi gas CO₂ sekitar 10-20%. Tercatat pada tahun 2015, jumlah emisi gas CO₂ mencapai 1720 juta ton CO₂ ekuivalen. Tentunya keadaan tersebut dapat menyebabkan pemanasan global. Berdasarkan situs *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), konsentrasi standar CO₂ di atmosfer adalah 250 – 350 ppm. Namun pada tahun 2016, konsentrasi gas CO₂ meningkat menjadi 402,6 ppm yang sudah melebihi nilai standar konsentrasi gas CO₂. Sejauh ini belum ada teknologi yang benar – benar dapat mengatasi hasil dari emisi gas CO₂ buangan industri. Berdasarkan *study literature*, kandungan gas CO₂ dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menjadi bahan bakar alternatif pembangkit listrik. Tujuan dari penulisan karya tulis ini adalah menganalisis dan mengembangkan suatu inovasi yaitu menjadikan emisi gas industri sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan teknik *dry reforming*. Gas CH₄ yang dihasilkan dari air lindi TPA Sarimukti akan direaksikan dengan CO₂ yang berasal dari industri-industri di Cimahi dengan menggunakan pemanasan dan akan membentuk gas CO dan H₂. Pada reaksi ini digunakan katalis Ni/Al₂O₃. Reaksi tersebut menghasilkan produk gas yang disebut dengan *synthetic natural gas (syngas)*. *Syngas* inilah yang akan dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Berdasarkan

penelitian dengan teknik *dry reforming*, rasio volume gas CO dan H₂ mendekati 1:1 dan menghasilkan kadar karbon (C) yang relatif kecil, sehingga ramah terhadap lingkungan. Diharapkan pemanfaatan emisi gas industri dan emisi gas air lindi ini dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pembangkit listrik dan menjadi solusi terhadap permasalahan lingkungan saat ini.

Kata Kunci : *emisi gas, karbon dioksida, dry reforming, bahan bakar alternative, synthetic natural gas*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

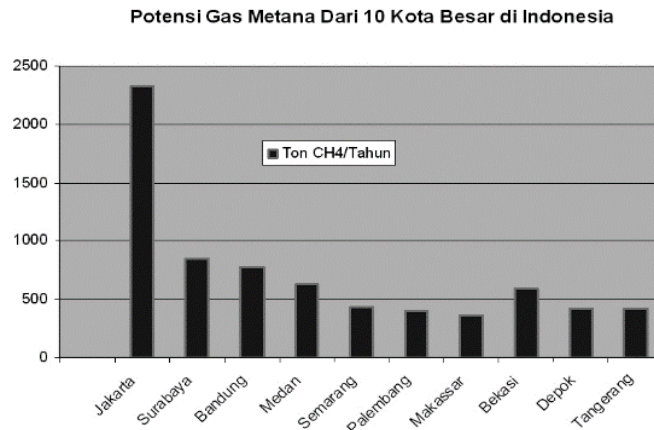
Dewasa ini, pertumbuhan penduduk selalu mengalami peningkatan yang diimbangi juga oleh peningkatan kebutuhan manusia yang ditandai dengan pesatnya pertumbuhan industri sebanyak 7% (kemenperin.go.id). Bertambahnya jumlah industri sangat berdampak pada kenaikan polusi udara, terutama gas CO₂. Tercatat pada tahun 2015, jumlah emisi gas CO₂ mencapai 1720 juta ton CO₂ ekuivalen (kemenperin.go.id).

Industri merupakan penyumbang gas CO₂ terbesar dibandingkan dari kendaraan bermotor, pembakaran sampah, maupun kebakaran hutan, yaitu sebesar 57% (Wangsenja, 2013). Kadar CO₂ yang semula 400 ppm pada tahun 2015 menjadi 403,333 ppm di tahun berikutnya (Erel, 2017).

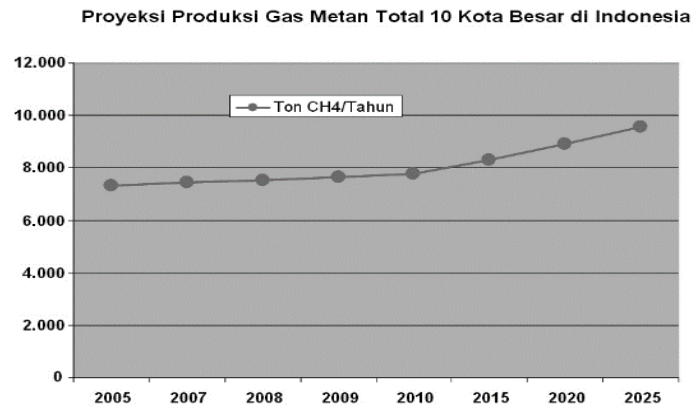
Di Kota Cimahi, Jawa Barat, sedikitnya 50 industri menggunakan batubara sebagai bahan bakar boiler. Kota Cimahi merupakan 3 terbesar yang menggunakan bahan bakar batubara setelah Kab. Bandung dan Kab. Purwakarta (tekmira.esdm.go.id). Industri pengguna batubara sebagian besar adalah industri tekstil dan industri kertas. Setiap harinya rata-rata industri di Kota Cimahi, Jawa Barat, menggunakan 15 - 75 ton batubara. Dari jumlah tersebut setidaknya 10 – 20% menghasilkan emisi gas CO₂ dan berbagai senyawa yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) (Rachman, 2009).

Disisi lain, permasalahan pengolahan sampah di Indonesia masih harus banyak dibenahi. Banyaknya sampah yang menumpuk di TPA dapat menjadi salah satu faktor pencemaran lingkungan. Terutama air lindi yang terbentuk dari tumpukan sampah tersebut. Air lindi terbentuk karena terjadinya proses pembusukan oleh aktivitas mikroba setelah adanya air hujan yang masuk kedalam tumpukan sampah. Apabila air lindi dibiarkan, akan menghasilkan emisi gas metana (CH₄) yang tidak terkendali. Gas metana memiliki efek pemanasan global 25 kali lebih besar dibandingkan gas CO₂ (Setiano, 2016). Potensi gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari sampah mencapai 11.390 ton CH₄ / tahun atau setara dengan 239.199 ton CO₂ /tahun, jumlah ini merupakan 64% dari total emisi sampah dari 10 kota besar yang terdapat pada gambar 1. dan gambar 2. (Arie

Herlambang, dkk., 2009). Berdasarkan gambar 1. dapat dilihat bahwa Kota Bandung, Jawa Barat, memiliki potensi gas metana sekitar 750 ton CH₄ / tahun.



Gambar 1. Potensi Gas Metana dari 10 kota besar di Indonesia



Gambar 2. Proyeksi Potensi Gas Metana Total dari 10 Kota Besar di Indonesia

Di daerah Sarimukti, Cipatat, Kab. Bandung Barat, terdapat Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang memiliki daya tampung 1.962.637 m³ dengan luas lahan 25,2 Ha. TPA Sarimukti setiap harinya menampung sampah sebanyak kurang lebih 1.700 ton (Junari, 2017). Hal tersebut akan menjadi masalah jika dibiarkan menumpuk. Air lindi dari sampah di TPA Sarimukti memiliki debit kurang lebih 10 L/detik, dan 70% dari air lindi tersebut akan terkonversi menjadi gas CH₄ sebesar 604.8 m³/ hari.

Hingga saat ini, belum ada inovasi yang memanfaatkan emisi gas CO₂ hasil buang pabrik dan emisi gas CH₄ dari air lindi di TPA. Gas CH₄ dan CO₂ akan direaksikan dan menghasilkan *syngas* (H₂ dan CO) dengan metode *dry*

reforming. Syngas yang telah terbentuk, selanjutnya akan digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik.

Diketahui bahwa pemakaian listrik di Kota Cimahi dan sekitarnya mencapai 990 MW pada tahun 2016 (Oche, 2016). Pertambahan pelanggan baru terus bertambah mengikuti pertumbuhan rumah baru, industri dan kebutuhan rumah tangga karena tambahan peralatan elektronik. Hal ini tidak sejalan dengan kapasitas pembangkit listrik sehingga mengakibatkan biaya pokok produksi listrik Indonesia mahal, yaitu Rp. 1.300 per kwh (Wicaksono, 2015). Disisi lain, bahan bakar yang digunakan PLN adalah bensin dan batu bara low grade. Tercatat batubara yang digunakan hingga akhir tahun 2016 sebanyak 28,45 milyar ton (Gumelar, 2017). Penggunaan batubara ini tentunya memiliki dampak buruk bagi lingkungan. Maka dari itu, pemanfaatan emisi gas buang CO₂ dan CH₄ sebagai bahan bakar pembangkit listrik sangat cocok dengan permasalahan ini.

Metode *dry reforming* dipilih karena metode ini menggunakan biaya bahan baku yang rendah dan menghasilkan produk samping (karbon) yang cukup sedikit dan cocok untuk skala besar serta rasio volume CO dan H₂ mendekati 1:1 (Kirk & Othmer, 1977). Produk yang dihasilkan dari penelitian ini adalah gas CO dan H₂ yang dianggap tepat untuk digunakan sebagai energi alternatif pembangkit listrik di Indonesia, khususnya Kota Cimahi, Jawa Barat.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka didapat permasalahan yaitu:

1. Hasil pembakaran batubara di industri Kota Cimahi menghasilkan gas CO₂ yang memiliki dampak negatif bagi. Sehingga dibutuhkan solusi untuk mengurangi kandungan gas CO₂ di udara.
2. Air lindi yang dihasilkan oleh tumpukan sampah di TPA menghasilkan emisi gas metana (CH₄) yang berbahaya bagi lingkungan. Sehingga perlunya pengolahan dan pemanfaatan dari gas metana.
3. Tingginya konsumsi listrik yang tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber pembangkit listrik menjadi permasalahan utama. Sementara bahan bakar bensin dan batubara yang digunakan sebagai pembangkit listrik menghasilkan emisi gas CO₂ yang berbahaya bagi lingkungan dan memiliki

biaya mahal..Maka perlu dicarinya bahan bakar pembangkit listrik yang ramah lingkungan.

1.3 Tujuan Penulisan

Dengan dilaksanakannya penerapan teknologi pengolahan polutan gas CO₂ dan gas CH₄ pada kegiatan ini, diharapkan akan tercapainya tujuan sebagai berikut.

1. Pemanfaatan emisi gas CO₂ hasil pembakaran batubara pada industri sehingga dapat meminimalisir kandungan gas CO₂ di udara.
2. Pemanfaatan emisi gas CH₄ dari air lindi hasil pembusukan sampah oleh mikroorganisme, sehingga tidak mencemari lingkungan.
3. Mengatasi keterbatasan sumber bahan bakar pembangkit listrik dengan cara pengoptimalan gas CO dan gas H₂ yang berasal dari pengolahan gas CO₂ dan CH₄.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat yang didapat dari penulisan karya tulis ilmiah ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan wawasan mengenai pencemaran udara yang diakibatkan emisi gas CO₂ hasil pembakaran batubara di industri.
2. Memberikan wawasan mengenai pemanfaatan gas CH₄ yang berasal dari air lindi sampah.
3. Memberikan wawasan tentang sumber bahan bakar alternatif pembangkit listrik yang berasal dari pengolahan gas CO₂ dan CH₄ dengan metode *dry reforming*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida (rumus kimia CO₂) adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen pada atom karbon dan banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil atau material organik. (Fatrian, 2010). Gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran dapat terakumulasi di atmosfer dan mengakibatkan *global warming*. Dibutuhkan sekitar 1 dekade bagi emisi gas metana (CH₄) untuk meninggalkan atmosfer (dan terurai menjadi CO₂) dan membutuhkan waktu 1 abad untuk gas N₂O. Untuk gas CO₂, dengan jumlah emisi gas saat ini diperlukan waktu 1 abad, namun 20 persen darinya masih akan tetap tinggal di atmosfer sekitar 800 tahun ke depan. Berikut adalah emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari bahan bakar.

Tabel 1. Emisi CO₂ dari beberapa jenis bahan bakar

Bahan Bakar	Emisi CO ₂ (lbm/ 10 ⁶ Btu)
Gas Alam	117
LPG	139
Bensin otomotif	156
Minyak tanah	159
Batu bara (Bituminous)	205
Batu bara (Subbituminous)	213
Batu bara (Lignite)	215
Jalaga	225

Sumber : Ikhsan Fatrian (2010)

Banyaknya industri yang menggunakan bahan bakar batubara mengakibatkan meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer. Tercatat konsentrasi Gas CO₂ di atmosfer pada tahun 1950 sekitar 260 – 280 ppm, dan semenjak revolusi industri konsentrasi gas CO₂ di atmosfer meningkat hingga 402.6 ppm pada tahun 2016 (Teddy, 2017).

2.1.1 Karakteristik gas CO₂

Pada temperatur dan tekanan normal (1 atm, 25°C) CO₂ berada pada fasa gas , sedangkan pada tempratur yang lebih rendah CO₂ akan berbentuk padatan. Apabila CO₂ dalam bentuk padatan dipanaskan pada tekanan dibawah dari 5,1 bar, maka terjadi perubahan dari padatan menyublim menjadi uap. Pada tempratur diantara tempratur *triple point* (-56,5°C) dan temperatur kritisnya (31,1°C) akan terjadi perubahan dari fasa uap menjadi liquid dengan cara diberi tekanan sebesar tekanan liquifaksinya dan melepaskan panas. Ada beberapa sifat yang dimiliki oleh karbon dioksida,

Tabel 2. Sifat dan Karakteristik Karbon Dioksida

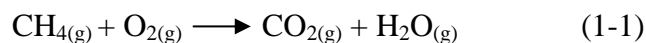
Karbon Dioksida	
Nama IUPAC	Karbon Dioksida
Nama Lain	Gas Asam Karbonat ;Karbon anhidrida ; es kering (padat)
Rumus	CO ₂
Massa Molar	44,010 gr/mol
Penampilan	Gas tidak berwarna, gas tidak berbau
Titik lebur	-78 °C, 194,7 K, -109 °F (Subl.)
Titik didih	-57 C, 216,6 K, -70 °F (at 5,185 bar)
Kelarutan dalam air	1,45 g/ L pada 25 °C 100 kPa

Sumber : Ikhsan Fatrian (2010)

Secara umum CO₂ tidak mampu untuk bereaksi pada reaktor konvensional, sehingga pada saat ini masih diarahkan pada pereduksian. Namun dengan adanya metode *Dry Reforming*, CO₂ mampu untuk dimanfaatkan menjadi gas sintetis (*syngas*).

2.2 Emisi Gas Metana (CH₄)

Metana merupakan gas yang terbentuk oleh adanya ikatan kovalen antara empat atom H dengan satu atom C. Metana merupakan suatu alkana. Sifat alkana adalah mudah mengalami reaksi pembakaran sempurna dengan oksigen menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) dengan reaksi:



Gas metana (CH_4) terbentuk dari proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri metana yang membuat terjadinya pembusukan pada sampah bahan organik sehingga terbentuk gas metana (CH_4). Karakteristik gas metana hampir sama dengan gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) (Pardede, 2009).

Emisi gas metana yang dihasilkan akibat aktivitas manusia merupakan penyumbang metana terbesar, khususnya berasal dari pembakaran tanaman organik (pembakaran hutan), limbah sampah organik yang tidak diolah dan dibiarkan membusuk, serta industri peternakan. Metana dari industri pertambangan batubara, kilang minyak, dan kebocoran saluran pipa gas dapat diminimalkan melalui perubahan dan kemajuan teknologi. Akan tetapi metana dari limbah sampah organik dan industri peternakan merupakan penyumbang emisi terbesar dari aktivitas manusia (Geoff, 2008).

Emisi gas metana yang dihasilkan dari limbah sampah organik dan industri peternakan hingga 76.32% vol, Sedangkan gas metana yang dihasilkan dari hasil pembakaran batubara sebesar 25% vol. Banyaknya gas metana di atmosfer dapat mengakibatkan pemanasan global dengan efek 25 kali lebih besar dibandingkan gas CO_2 (Setiano, 2016). Konsentrasi emisi gas metana yang tinggi di atmosfer, dapat mengurangi kadar oksigen di atmosfer hingga di bawah 19,5% dan juga menyebabkan kebakaran dan ledakan apabila bercampur dengan udara (Smith, 1999).

2.2.1 Gas CH_4 dari sampah

Sampah yang berasal dari aktivitas penduduk sangat besar jumlahnya dan berpotensi sebagai sumber gas metana (Herlambang, 2010) Gas metan yang terakumulasi pada lapisan – lapisan tumpukan sampah yang berada pada lahan TPA (Sutriyono dan Rusdi, 2010).

Saat ini terdapat kurang lebih 450 TPA di kota besar dengan sistem open dumping dan baru sebagian kecil yang menjadi controled landfill. Sampah di *landfill* akan mengalami pembusukan dan menghasilkan gas Metan (CH_4) dengan komposisi sebesar 45-70%. (Mutia, 2011).

Potensi sampah yang dapat dihasilkan dari 45 kota besar di Indonesia mencapai 4 juta ton/tahun. Potensi gas metana yang bisa dihasilkan mencapai

11.390 ton CH₄ /tahun, jumlah ini merupakan 64% dari total emisi sampah berasal dari 10 kota besar, antara lain : Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan, Semarang, Palembang, Makasar, Bekasi, Depok, dan Tangerang (Herlambang, 2010).

Pada *landfill* akan terbentuk air lindi dengan konsentrasi kandungan organik tinggi akibat air hujan yang masuk ke dalam *landfill* di kawasan TPA. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut. Air lindi memiliki kandungan sebagai berikut:

Tabel 3. Komposisi Air Lindi

Parameter	Nilai
BOD	2000-30000mg/L
TOC	1500-20000mg/L
Nitrogen Organik	200-1000mg/L
Nitrogen Amonia	10-600mg/L
Nitrat	5-40mg/L
CH ₄	52%

2.2.2 Karakteristik Gas Metana (CH₄)

Metana (Methane) adalah hidrokarbon organik paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH₄. Metana murni *extremely flammable*, *asphyxian* (mampu menggeser oxygen), *non toxic* dan *non corrosive*.

Gas metana dapat diproduksi pada tiga *range* temperatur sesuai dengan bakteri yang ada. Bakteri *psychrophilic* temperatur 0 – 7°C, bakteri *mesophilic* pada temperatur 13 – 40°C sedangkan *thermophilic* pada temperatur 55 – 60°C. Untuk bakteri *psychrophilic* selang perubahan temperatur berkisar antara 2 °C/ jam, bakteri *mesophilic* 1 °C/jam dan bakteri *thermophilic* 0.5 °C/jam (Pardede, 2009).

Tabel 4. Sifat dan Karakteristik Metana

Metana	
Nama IUPAC	Metana
Nama lain	Karbon tetrahidrida Marsh gas Metil hidrida
Rumus	CH ₄
Massa Molar	16 gr/mol
Penampilan	Gas tidak berwarna, gas tidak berbau
Titik Leleh	-182 °C
Titik Didih	-162 °C

Sifat kimia gas Metana (CH₄):

- Merupakan komponen utama gas alam, sekitar 87%.
- Metana sangat mudah terbakar, karena unsur penyusunnya (karbon dan hidrogen) merupakan unsur yang mudah terbakar dan merupakan salah satu senyawa hidrokarbon alkana. Campuran dari metana dengan udara yang eksplosif dalam kisaran 5-15% volume metana. Reaksi pembakaran sempurna gas metana :

Sumber: (Alviyanti, 2013)

2.3 Gas Sintetis (*Syngas*)

Gas sintetis (*Syngas*) merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. *Syngas* memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. (Iswanto dan Rifa'i, 2015)

Syngas yang dihasilkan oleh reaksi *dry reforming* memiliki rasio CO:H₂ sekitar 1: 1 yang digunakan untuk banyak aplikasi gas untuk cairan (GTL). Proses GTL memungkinkan mengubah gas alam menjadi bahan bakar diesel yang bersih, berkualitas dan mengurangi emisi gas buangan secara signifikan. Produksi GTL

dapat membantu negara-negara dengan sumber daya gas alam yang melimpah untuk menumbuhkan ekonominya karena pasokan gas beroperasi untuk memenuhi permintaan global akan produk cair (Shell, 2014). Pada saat reaksi pembentukan *syngas* senyawa sulfur harus dihilangkan untuk menghindari korosi pada alat dan menghindari lepasnya senyawa sulfur ke lingkungan saat proses pembakaran, *carbon oxide* (CO dan CO₂), dan air.

Ada beberapa keuntungan dari pembuatan *syngas* pertama, produk *syngas* sangat komersial, banyak digunakan oleh industri-industri, baik untuk bahan kimia, energi, dan bahan bakar transportasi dan kedua, *syngas* lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan gas alam maupun minyak bumi dengan rendahnya emisi CO₂, SO_x, dan NO_x (Iswanto dkk, 2015).

2.4 Pembuatan Gas Sintesis dengan CO₂ Reforming (Dry Reforming)

Dalam pembuatan gas sintesis (*syngas*) ada beberapa cara atau metode dalam pembuatannya, yaitu dengan proses *steam reforming*, oksidasi parsial, CO₂ reforming, gasifikasi biomassa dan *autothermal reforming*.

Tabel 5. Perbedaan Berbagai Proses Pembuatan *Syngas*

No	Parameter	Gasifikasi Biomassa	<i>Steam Reforming</i>	CO ₂ Reforming	<i>Catalytic Partial Oxidation</i>
Aspek Teknis					
1	Bahan Baku	Sampah Udara Steam	Methane Steam	Methane CO ₂	Methane Udara
2	Tekanan Reaksi	30-80 bar	20-30 bar	20-40 bar	25-80 bar
3	Suhu Reaksi	800-1800°C	500-900°C	500-950°C	1150°-1500°C
4	Sarana Pembantu	Katalis Pt/Ni Katalis Fe ₃ O ₄	Katalis Ni	Katalis Ni/Pt dan Al	Katalis Ni dan Co
5	Produk	Syngas (Rasio H ₂ /CO = 2:1) Karbon (Abu) + tar H ₂ O CO ₂	Syngas (Rasio H ₂ /CO = 3:1) CO ₂	Syngas (Rasio H ₂ /CO = 1:1) CO ₂ Karbon	Syngas (Rasio H ₂ /CO = 2:1) CO ₂ Karbon
Aspek Ekonomi					
1	Investasi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
2	Biaya operasi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
3	Harga bahan baku	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
4	Jumlah produk samping	Sangat Banyak	Banyak	Sedikit	Banyak

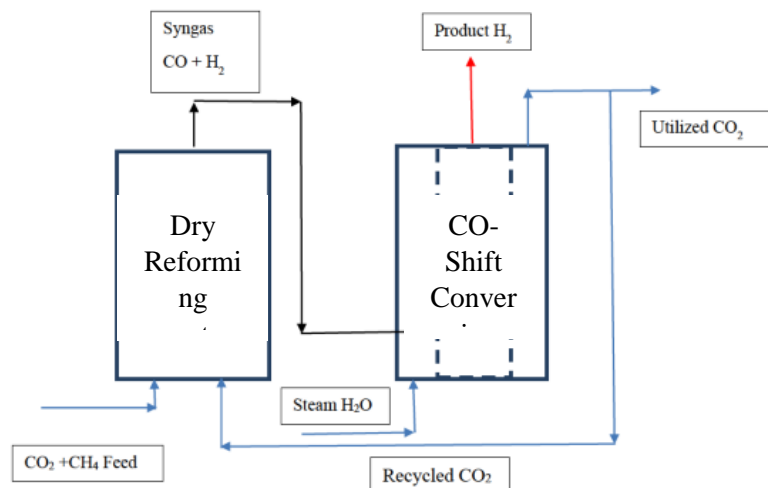
Dry reforming dipilih dengan pertimbangan menghasilkan produk samping (karbon) yang cukup sedikit sehingga ramah lingkungan dan cocok untuk produksi skala besar.

2.4.1 CO₂ Reforming (*Dry Reforming*)

Dry reforming merupakan reaksi antara gas alam (metana) dan CO₂ dengan bantuan katalis. Hasil dari reaksi ini berupa gas H₂ dan gas CO dengan rasio volume H₂/CO pada produk *syngas* sebesar 1 (Rostrup-Nielsen, 1984; Lercher *et al.*, 1999)(dalam Neiva & Gama, 2010). Rasio ini disarankan untuk pembuatan hidrokarbon fraksi lebih tinggi lewat reaksi Fischer-Tropsch, yang mengeliminasi kebutuhan penyesuaian rasio H₂/CO dalam reaksi Water Gas Shift (Fidalgo & Menéndez, 2013). Reaksi pembentukan *syngas* sebagai berikut:



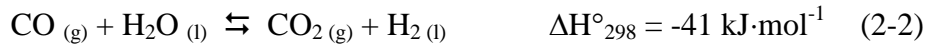
Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar cair penting yang membutuhkan H₂ dan CO, salah satu contohnya yaitu sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Reaksi ini bersifat endotermis (247 kJ/mol), sehingga membutuhkan banyak energi. Selain itu, permasalahan utama pada *dry reforming* terletak pada pembentukan secara signifikan zat padat karbon (coke) yang terdesposisi pada permukaan katalis (sisi aktif), sehingga dapat mereduksi umur katalis yang disebabkan gas CO₂ sebagai bahan baku (Rostrup-Nielsen, 1984; Chen *et al.*, 2008; Lercher *et al.*, 1999) (dalam Neiva & Gama, 2010).



Gambar 3. Proses CO₂ Reforming (*Dry Reforming*)

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa umpan gas CO₂ dan CH₄ masuk ke dalam reaktor *dry reforming* bereaksi menghasilkan gas CO dan H₂. Setelah melewati

proses *dry reforming*, konsentrasi H₂ yang terbentuk akan ditingkatkan dalam reactor CO – *Shift Conversion*. Hasil samping gas CO₂ akan di *recycle* ke reaktor *dry reforming* untuk meningkatkan efisiensi. Reaksi yang terjadi pada CO – *Shift Conversion* sebagai berikut:



2.4.2 Peran Katalis Nikel (Ni/Al₂O₃) dalam *Dry Reforming*

Beberapa jenis katalis dapat digunakan untuk mengaktifkan reaksi *dry reforming*. Sifat utama katalis adalah aktivitas ke arah reformasi reaksi, dan ketahanan terhadap pembentukan karbon. Katalis harus memiliki stabilitas termal tinggi untuk mempertahankan aktivitas reformasi di bawah kondisi proses (Neiva dan Gama, 2010), dan katalis juga harus memiliki ketahanan terhadap penonaktifan dari keracunan. Secara khusus, stabilitas termal sangat penting untuk kinerja yang baik dari sistem katalitik, karena proses harus terjadi pada suhu yang relatif tinggi.

Proses pembentukan *syngas* dari CH₄ dan CO₂ dapat menggunakan katalis Nikel. Logam Ni memiliki keaktifan yang cukup, stabilitas termal yang baik, dan semakin banyak penggunaan logam Ni dapat meningkatkan keaktifan per volume katalis.

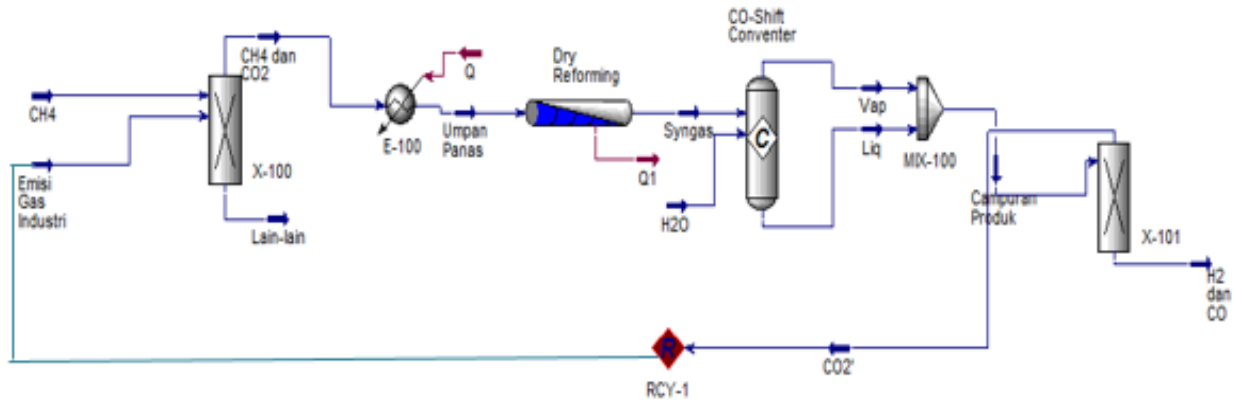
2.4.3 Proses Simulasi Dry Reforming menggunakan Aspen HYSYS V.8.8

Aspen HYSYS merupakan program yang dirancang untuk mensimulasikan proses di dalam suatu pabrik. Dengan menggunakan program ini, perhitungan-perhitungan untuk mendesain suatu proses yang rumit (karena melibatkan banyak rumus) dan memerlukan waktu yang lama bila dikerjakan secara manual (*by hand*) dapat dengan cepat dilakukan. Aspen HYSYS sendiri adalah singkatan dari *Hyphothetical System* (sistem hipotesa). Simulasi proses artinya membuat suatu proses produksi suatu bahan ke dalam diagram alir proses (*Process Flow Diagram*) dan menghitung neraca massa dan neraca panas/energi pada masing-masing peralatan yang digunakan (Ahmad, 2016).

Aspen HYSYS V8.8 telah digunakan untuk melakukan simulasi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Amin dkk.,2013). Prosedur

untuk pengembangan proses simulasi terdiri dari pemilihan komponen bahan kimia untuk proses dan juga model termodinamikanya. Selain itu unit operasi dan kondisi operasi, kapasitas dan input kondisi harus semuanya dipilih dan dispesifikasi.

Secara umum, rangkaian proses simulasi *dry reforming* menggunakan simulator HYSYS V8.8 dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Proses Flow Diagram Simulasi

BAB III

METODE PENULISAN

3.1 Sumber dan Jenis Data

Data-data yang dipergunakan dalam penyusunan karya tulis ini berasal dari berbagai literatur kepustakaan yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas. Beberapa jenis referensi utama yang digunakan adalah jurnal penelitian edisi cetak maupun edisi *online*, dan artikel ilmiah yang bersumber dari internet. Jenis data yang diperoleh variatif, bersifat kualitatif maupun kuantitatif.

3.2 Pengumpulan Data

Metode penulisan bersifat studi pustaka. Informasi didapatkan dari berbagai literatur dan disusun berdasarkan hasil studi dari informasi yang diperoleh. Penulisan diupayakan saling terkait antar satu sama lain dan sesuai dengan topik yang dibahas.

3.3 Analisis Data dan Pengolahan Data

Data yang terkumpul diseleksi dan diurutkan sesuai dengan topik kajian. Kemudian dilakukan pengolahan dengan metode simulasi proses *dry reforming* dengan menggunakan *software* Aspen HYSYS V8.8. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar % vol gas H₂ dan gas CO yang dihasilkan dari proses *dry reforming* yang nantinya akan dijadikan bahan bakar pembangkit listrik. Teknik analisis data bersifat deskriptif argumentatif.

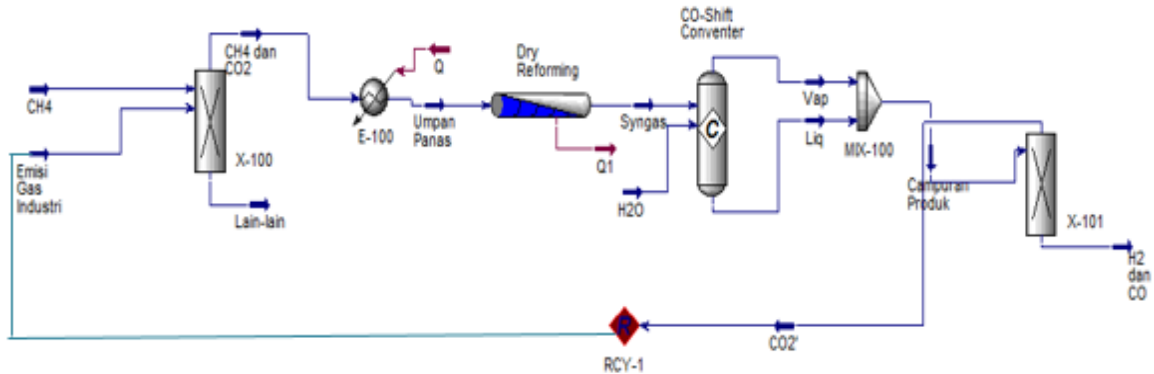
3.4 Penarikan Kesimpulan

Simpulan didapatkan setelah merujuk kembali pada rumusan masalah, tujuan penulisan, serta pembahasan. Simpulan yang ditarik mempresentasikan pokok bahasan karya tulis, serta didukung dengan saran praktis sebagai rekomendasi selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

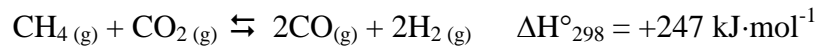
4.2 Hasil Simulasi



Gambar 5. Proses Flow Diagram Simulasi

4.1.1 *Dry Reforming*

Proses *Dry Reforming* menggunakan reaktor berkatalis dengan jenis *Plug Flow Reactor* (PFR). Pada PFR terjadi konversi antara gas alam (CH₄) dicampur dengan CO₂ dengan rasio tertentu, campuran CH₄ dan CO₂ (1 atm, 25°C) ini dipanaskan hingga T = 700°C dan P = 2 bar agar dapat bereaksi menghasilkan gas CO dan H₂ sesuai dengan persamaan reaksi:



Campuran panas lalu masuk kedalam PFR dan didistribusikan ke *tube-tube* yang berada dalam reaktor agar katalis dapat bekerja sempurna. Campuran umpan panas masuk melewati katalis nikel (Ni/Al₂O₃) dan bereaksi membentuk hidrogen (H₂), karbon dioksida (CO₂), dan karbon monoksida (CO) (PIM, 2004).

Gas CO, H₂, dan CO₂ yang terbentuk dari proses *dry reforming* dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Kondisi operasi pada proses *dry reforming* sangat mempengaruhi konversi, terutama kondisi tekanan. Gas metana (CH₄) yang terkonversi menjadi *syngas* pada P= 0.9 bar sebesar 90.6% sedangkan pada P= 2bar sebesar 96.72% dengan rasio CO:H₂ mendekati 1. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat komposisi CO dan H₂. Sehingga proses simulasi menggunakan P = 2 bar untuk melanjutkan rangkaian proses pembuatan *syngas*

Tabel 6. Kondisi Operasi *Syngas* pada P = 0.9 bar

Syngas		
Temperature	550.0	C
Pressure	90.00	kPa
Master Comp Volume Flow (Methane)	1.4339	m3/h
Master Comp Volume Flow (CO2)	0.0000	m3/h
Master Comp Volume Flow (CO)	5.1913	m3/h
Master Comp Volume Flow (Hydrogen)	4.2754	m3/h
Master Comp Volume Frac (Methane)	0.1315	
Master Comp Volume Frac (CO2)	0.0000	
Master Comp Volume Frac (CO)	0.4762	
Master Comp Volume Frac (Hydrogen)	0.3922	

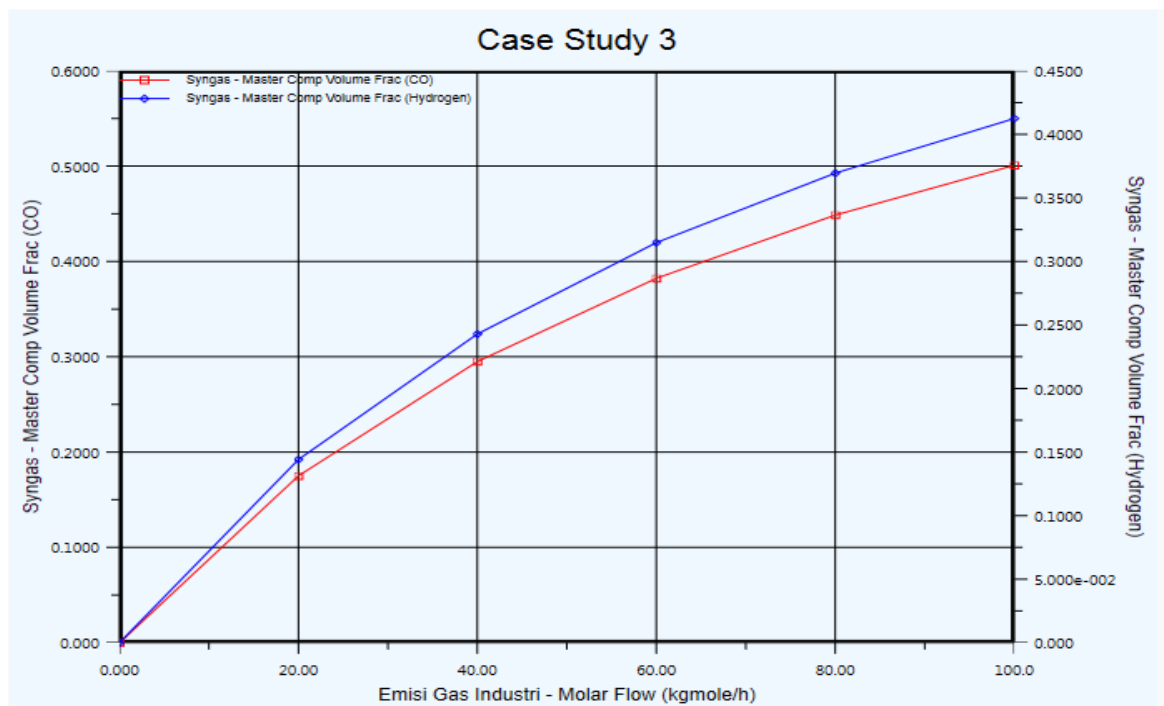
Tabel 7. Kondisi operasi *syngas* pada P = 2bar

Syngas		
Temperature	550.0	C
Pressure	200.0	kPa
Master Comp Volume Flow (Methane)	0.9978	m3/h
Master Comp Volume Flow (CO2)	0.0000	m3/h
Master Comp Volume Flow (CO)	5.7681	m3/h
Master Comp Volume Flow (Hydrogen)	4.7504	m3/h
Master Comp Volume Frac (Methane)	0.0866	
Master Comp Volume Frac (CO2)	0.0000	
Master Comp Volume Frac (CO)	0.5009	
Master Comp Volume Frac (Hydrogen)	0.4125	

Kondisi operasi sangat mempengaruhi konversi, terutama kondisi tekanan. Gas metana yang terkonversi menjadi *syngas* pada P= 0.9 bar sebesar 90.6% sedangkan pada P= 2bar sebesar 96.72% dengan rasio CO:H₂ mendekati 1. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat komposisi CO dan H₂. Sehingga proses simulasi menggunakan P = 2 bar untuk melanjutkan rangkaian proses pembuatan *syngas*.

Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan volumentrik karbon dioksida (CO₂) dalam gas umpan akan menurunkan laju pembentukan komponen H₂ dan CO₂. Sebaliknya, laju pembentukan CO meningkat. Penurunan dan peningkatan laju ketiga komponen rata-rata adalah 0.42 m³/h tiap kenaikan 1% vol CO₂. Profil laju pembentukan komponen pada *dry reforming* ditunjukkan pada gambar 6.

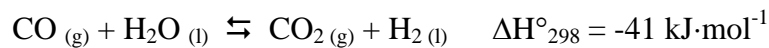
Gambar 6. Laju pembentukan komponen H₂ dan CO pada *dry reforming*



Pada proses *dry reforming* ini, menghasilkan gas H₂ sebesar 41.25% vol, dan gas CO sebesar 50.09% vol dengan laju alir gas masing-masing komponen sebesar 4.7504 m³/h dan 5.7681 m³/h.

4.1.2 CO- Shift Conversion

Syngas hasil proses *dry rerforming* memiliki komponen utama berupa H₂, CO, dan sisa metana sebesar 8.66% vol. Untuk meningkatkan konsentrasi H₂, syngas selanjutnya dialirkan ke CO - *Shift Conversion* dimana reaksi *water gas shift* (WGS) merubah CO menjadi CO₂ sesuai dengan persamaan reaksi



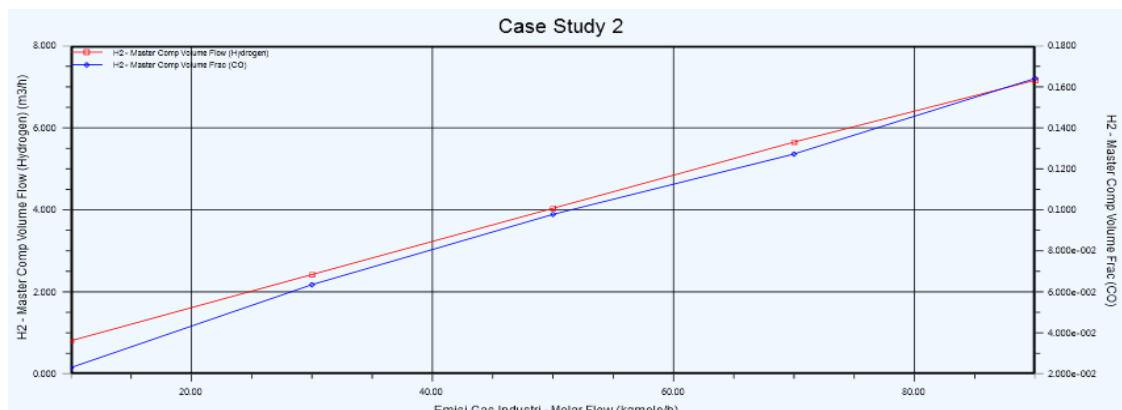
CO- *Shift Conversion* yang digunakan adalah *High Temperatur Shift Converter* (HTSC) dengan suhu operasi sebesar 495.7°C. HTSC dapat mengkonversi CO hingga 2.5% CO, sehingga menghasilkan gas hidrogen dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada proses ini, digunakan kondisi operasi dengan T= 495.7°C dan P=101.3 kPa. Dan menghasilkan komposisi sebagai berikut.

Tabel 8 . Kondisi operasi hasil CO- *Shift Conversion*

H2 dan CO (Syngas)		
Temperature	495.8	C
Pressure	101.3	kPa
Mass Flow	2642	kg/h
Master Comp Volume Flow (Hydrogen)	7.6363	m3/h
Master Comp Volume Flow (CO)	2.2641	m3/h
Master Comp Volume Frac (Hydrogen)	0.7007	
Master Comp Volume Frac (CO)	0.2078	
Master Comp Mass Flow (Hydrogen)	533.4620	kg/h
Master Comp Mass Flow (CO)	1809.8987	kg/h

Terjadi kenaikan konsentrasi hidrogen dari 50.09% vol menjadi 70.07% vol dengan laju alir gas sebesar 7.6363 m³/h. Dengan kondisi operasi ini, didapat konversi CO sebesar 60.75%.

Gambar 7. Laju pembentukan komponen gas H₂ dan CO



4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil dari simulasi didapat laju alir gas H₂ sebesar 7.6363 m³/h dengan konsentrasi 70.07% vol, dan laju alir gas CO sebesar 2.2641 m³/h dengan konsentrasi 20.78% vol. Berdasarkan *literature*, pada suhu 500°C dengan kondisi operasi sama, didapat konsentrasi gas H₂ 18.61% vol dengan kalor sebesar 5.36 MJ/kg. Nilai kalor *syngas* dipengaruhi oleh gas kandungan hidrogen (H₂), karena nilai kalor H₂ sebesar 141 MJ/kg atau 14 kali lebih besar dibandingkan nilai kalor CO (Mujadi, 2012). Pada hasil perhitungan simulasi dengan kondisi operasi 495,8°C dan 101.3 kPa didapat nilai kalor sebesar 20.181 MJ/kg.

Laju alir massa dari *syngas* sebesar 533,462 kg/h dengan nilai kalor sebesar 20,181 MJ/kg setara dengan 2990,5 kW. Dengan kata lain, hasil simulasi pembuatan *syngas* dapat menghasilkan daya sebesar 2990,5 kW.

Secara ekonomi, harga bahan baku pembuat *syngas* gratis dikarenakan polutan udara dari pabrik dan TPA dan harga untuk energi mengolah bahan baku menjadi *syngas* berdasarkan *literature* sebesar Rp 5000 per kWh. Sedangkan harga listrik Rp 1300 per kWh dan harga bensin nonsubsidi Rp 9500 per liter dengan biaya pekerja Rp 6000 per jam dihitung dari upah minimum regional (UMR) Kota Bandung.

Tabel 9 . Perbandingan biaya pembangkit listrik

Bahan bakar pembangkit listrik	Biaya Invenstasi (Rp)	Harga bahan bakar per kg (Rp)	Harga listrik per kWh (Rp)
Bensin	15.700.000	13.500	8.000
<i>Syngas</i>	65.450.000	2500	5.000

Biaya investasi pembangkit listrik dengan *syngas* lebih mahal dibandingkan dengan bensin, karena *syngas* dihasilkan dari proses *dry reforming*. Berbeda dengan bensin yang dapat langsung dibeli di SPBU Pertamina. Harga bahan bakar *syngas* lebih murah dibandingkan bensin nonsubsidi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode *dry reforming* membuat harga bahan bakar *syngas* layak untuk digunakan. Harga listrik per kWh dari bahan bakar *syngas* lebih murah Rp 3.000 dibandingkan bahn bakar bensin.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.3 Kesimpulan

1. Pemanfaatan emisi gas karbon dioksida (CO_2) dari industri dan gas metana (CH_4) dari air lindi di TPA dirasa sangat efektif untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan, karena laju umpan yang dibutuhkan dalam pembuatan *syngas* dengan proses *dry reforming* tergolong banyak yaitu 100 ton/jam.
2. Pembuatan *syngas* dari emisi gas karbon dioksida (CO_2) dan gas metana (CH_4) pada proses *dry reforming* dihasilkan rasio $\text{CO} : \text{H}_2$ mendekati 1 dengan konversi gas metana sebesar 96.72%.
3. *Syngas* yang dihasilkan dengan konsentrasi H_2 70.07% vol dan laju alir gas 7.6363 m^3/h , memiliki nilai kalor sebesar 20.181 MJ/kg yang setara dengan 2990,5 kW. Bahan bakar *syngas* memiliki harga Rp 2500,-/kg dengan harga listrik Rp 5.000,-/kWh, sedangkan bahan bakar bensin nonsubsidi sebesar Rp 13.500,- dengan harga listrik Rp 8.000,-/kWh. Maka bahan bakar *syngas* memiliki harga yang lebih murah dibandingkan bahan bakar bensin.

5.4 Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai efisiensi *syngas* sebagai bahan bakar pembangkit listrik
2. Dalam pengambilan emisi gas CO_2 pada pabrik dan emisi gas CH_4 pada air lindi di TPA dilakukan metode pipanisasi. Sehingga emisi gas-gas tersebut akan mengalir langsung masuk kedalam tangki penyimpanan untuk selanjutnya di proses.

DAFTAR PUSTAKA

Btpal. (2016). Biomentasi Melalui Proses Solid Fermentation Limbah/Sampah Organi. 27 Januari 2018

<http://btpal.org/biometanasi-melalui-proses-solid-fermentation-limbahsampah-organik-detail-20834.html>.

Caprariis, Benedetta de, dkk.(2015). Methane Dry Reforming over of Nike Perovskite Catalysts.

Jurnal of Chemical Engenering Transaction. Vol 43. ISBN 978-88-95608-34-

Chen, Y., Wang, Y., Xu, H., & Xiong, G. Efficient production of hydrogen from natural gas steam reforming in palladium membrane reactor. *Applied Catalysis B: Environmental*

80 (2008) 283–294.

Doddy dan Yuan. 2008. *9 Masalah yang dihadapi PLN*. 22 Januari 2018

<https://agguss.wordpress.com/2008/06/24/9-masalah-yang-dihadapi-pln/>.

Erel. WMO : *Kadar CO₂ di atmosfer meningkat* . 27 Januari 2018

<http://aa.com.tr/id/ekonomi/wmo-kadar-co2-di-atmosfer-meningkat/952401>.

Fatrian, Ikhsan. (2010). *Rancang Bangun Reaktor Plasma Non-Termal dan Uji Kinerja Untuk*

Pengolahan Gas CO₂ Pada Tekanan Rendah. Depok : Universitas Indonesia.

Fidalgo, B. &Menéndez, J.A. Syngas Production by CO₂ Reforming of CH₄Under Microwave

Heating – Challenges and Opportunities. *Syngas: Production, Applications and Environmental Impact* pp. 121-149. 2013 Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-62100-870-5.

Geogrf, Nurman. (2015). *Pembentukan gas metan (methanogenesis)*. 30 Januari 2018

<http://nurmageografi12.blogspot.co.id/2015/06/pembentukan-gas-metan-methanogenesis.html>

Hargen (2004). *Statistik Pembangkit Listrik di Indonesia*. 27 Januari 2018

<http://www.hargen.co.id/news/2014/05/statistik-pembangkit-listrik-di-indonesia>

Herlambang, Arie dkk (2009). *Teknologi Pengolahan Sampah Kota Intermediate Treatment (Cell System)*. DIKTI- BPPT.

Junari, Tri.(2017). Kapasitas TPA Sarimukti Dekati Ambang Batas. 27 Januari 2018

<http://www.rmoljabar.com/read/2017/04/17/40813/Kapasitas-TPA-Sarimukti-Dekati-Ambang-Batas->

Kemenperin. (2010). *Kemenperin Luncurkan Program Pengurangan Emisi CO₂ di sector Industri*.

27 Januari 2018

<http://kemenperin.go.id/artikel/50/Kemenperin-Luncurkan-Program-Pengurangan-Emisi-CO2--di-Sektor-Industri>

Koran Sindo. (2015). Indonesia Penyumbang Polusi Ketiga Terbesar Dunia. 27 Januari 2018

<http://koran-sindo.com/page/news/2015-10-27/0/18>.

Littlewood, Patrick. (2016), *Low Temperature Dry Reforming of Methane with Nickel Manganese Oxide*

Catalysts. Berlin : Universitas Berlin

Neiva, L. S. & Gama, L. A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF THE REFORMING OF

METHANE: A REVIEW. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas V*.
4 n. 3 p. 119-127 (2010). ISSN 1982-0593.

Mantik, Ahmad. (2016). Software aspen hysys mempermudah perhitungan diagram alir proses.

29 Januari 2018

<https://bisakimia.com/2016/08/05/software-aspen-hysys-mempermudah-perhitungan-diagram-alir-proses/>.

Pojok Jabar (2016). *Saat Ramadan penggunaan listrik di Wilayah Cimahi meningkat*. 28 Januari 2018

<http://jabar.pojoksatu.id/bandung/2016/06/05/saat-ramadan-penggunaan-listrik-di-wilayah-cimahi-meningkat/>.

Ranchman. (2009). *Sehari Cimahi Bakar 75 Ton Batu Bara*. 27 Januari 2018

<https://klippingclipping.wordpress.com/2009/08/23/sehari-cimahi-bakar-75-ton-batu-bara/>.

Ratna. (2016). *Ngeri, ini bahaya gas CO dan CO₂ untuk pencemaran udara*. 27 Januari 2018

<https://www.merdeka.com/pendidikan/ngeri-ini-bahaya-gas-co-dan-co2-untuk-pencemaran-udara.html>.

Tekmira. (2008). *Batubara Indonesia*. 25 Januari 2018

www.tekmira.esdm.go.id.

Utami. (2012). *Dampak Yang ditimbulkan Sampah*. 27 Januari 2018

<http://putriutamii.blogspot.co.id/2012/12/dampak-yang-ditimbulkan-sampah.html>.

Wicaksono, Pebrianto Eko. (2015). *Biaya Produksi Listrik RI Termasuk Mahal di Dunia, Ini*

Sebabnya. 28 Januari 2018

<http://bisnis.liputan6.com/read/2191305/biaya-produksi-listrik-ri-termasuk-mahal-di-dunia-ini-sebabnya>.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Biodata Penulis 1

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Siti Hasna Rachmawati Syarif
2.	NIM	151424030
3.	Program Studi / Jurusan	D4-Teknik Kimia Produksi Bersih/Teknik Kimia
4.	Fakultas	Teknik
5.	Tempat dan Tanggal Lahir	Bandung, 21 Januari 1996
6.	Alamat	Jl. Sariwangi No. 21 RT 01/ RW 09 Kec. Parompong Kab. Bandung Barat
7.	E-mail	hasnarsyarif@gmail.com
8.	Nomor Telepon / Hp	089615531004

B. Penghargaan Kepenulisan Selama Menjadi Mahasiswa (dari Pemerintah, Asosiasi, atau Institusi Lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Instirusi Pemberi Penghargaan	Judul Karya	Tahun
1.				
2.				
3.				

Biodata Penulis 2

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Heri Kurniawan
2.	NIM	171411045
3.	Program Studi / Jurusan	D3-Teknik Kimia/Teknik Kimia
4.	Fakultas	Teknik
5.	Tempat dan Tanggal Lahir	Majalengka, 28 Agustus 1997
6.	Alamat	Blok Kamis Desa Garawastu Kec. Sindang Kab. Majalengka
7.	E-mail	Heri10kurniawan10@gmail.com
8.	Nomor Telepon / Hp	081224482221

B. Penghargaan Kepenulisan Selama Menjadi Mahasiswa (dari Pemerintah, Asosiasi, atau Institusi Lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Instirusi Pemberi Penghargaan	Judul Karya	Tahun
1.				
2.				
3.				

Biodata Penulis 3

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Intan Puspitarini
2.	NIM	171411046
3.	Program Studi / Jurusan	D3-Teknik Kimia/Teknik Kimia
4.	Fakultas	Teknik
5.	Tempat dan Tanggal Lahir	Bekasi, 08 September 1999
6.	Alamat	Jalan CCM 5 No. 89 RT 07/16 Ds. Mekarrahayu Kec. Margaasih Kab. Bandung
7.	E-mail	intunzah@gmail.com
8.	Nomor Telepon / Hp	081214796867

B. Penghargaan Kepenulisan Selama Menjadi Mahasiswa (dari Pemerintah, Asosiasi, atau Institusi Lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Instirusi Pemberi Penghargaan	Judul Karya	Tahun
1.	Juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah se-Kabupaten Bandung	Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Bandung	Lubang Resapan Biopori : Si Kecil PEKA(PEmbuat Kompos & Anti Banjir	2015
2.				
3.				