



**PENGURANGAN CO₂ DALAM BIOGAS MENGGUNAKAN
KOLOM GELEMBUNG Ca(OH)₂ SECARA KONTINYU**

Oleh:

Putu Adhi Rama Wijaya

NRP. 0221144000058

Ratri Puspita Wardani

NRP. 0221144000076

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

NIP. 195209161980031002

Suci Madhania, S.T., M.T.

NIP. 197502142008122003

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGURANGAN CO₂ DALAM BIOGAS MENGUNAKAN KOLOM GELEMBUNG Ca(OH)₂ SECARA KONTINYU

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

- **Putu Adhi Rama Wijaya** 0221144000058
Ratri Puspita Wardani 0221144000076

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing I)
2. Suci Madhania, S.T., M.T.
(Pembimbing II)
3. Dr. Siti Machmudah, S.T., M. Eng.
(Penguji I)
4. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng.
(Penguji II)
5. Prida Novarita Trisanti, S.T., M.T.
(Penguji III)



SURABAYA
JULI 2018

**PENGURANGAN CO₂ DALAM BIOGAS
MENGUNAKAN KOLOM GELEMBUNG Ca(OH)₂
SECARA KONTINYU**

Nama : Putu Adhi Rama Wijaya
(02 211 440 000 058)
Ratri Puspita Wardani
(02 211 440 000 076)

Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS

Pembimbing : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng.
Suci Madhania, S.T., M.T.

ABSTRAK

Biogas adalah energi hasil konversi dari limbah organik yang dapat membentuk gas metana dapat dijadikan sebagai energi alternatif. Secara umum biogas mengandung CO₂ cukup besar yang menyebabkan penurunan nilai kalori dan timbulnya korosi pada alat sehingga perlu dilakukan purifikasi. Dalam penelitian ini, biogas yang dihasilkan reaktor biogas di Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto dimurnikan dengan dilewatkan melalui larutan Ca(OH)₂ dalam reaktor kolom gelembung secara kontinyu dan menghasilkan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Penelitian ini menggunakan dua jenis gas yaitu CO₂ murni dan biogas. Penggunaan gas CO₂ murni bertujuan untuk mengetahui performa penyerapan CO₂ dalam kolom gelembung. Pengaruh laju alir gas, laju alir larutan Ca(OH)₂, tinggi larutan dalam kolom, dan konsentrasi larutan terhadap penyerapan CO₂ dan konversi Ca(OH)₂ akan dipelajari dalam penelitian ini. Larutan Ca(OH)₂ dengan konsentrasi 2,295-3,825 gram/liter dialirkan dengan laju alir 200-400 mL/menit ke dalam kolom gelembung pada ketinggian 50-80 cm kemudian biogas dialirkan melalui distributor pada laju alir 0,5-0,9 liter/menit. PCC yang terbentuk diendapkan, disaring, dan dikeringkan. Analisa XRF menunjukkan bahwa

komposisi utama pada PCC yang dihasilkan adalah 99,425% CaCO_3 . Penyerapan CO_2 dalam biogas paling tinggi terdapat dengan laju alir 0,5 liter/menit, laju alir larutan Ca(OH)_2 400 mL/menit, tinggi larutan 80 cm, dan konsentrasi 3,825 gram/liter. Sedangkan konversi Ca(OH)_2 dalam biogas paling tinggi terdapat dengan laju alir 0,5 liter/menit, laju alir larutan Ca(OH)_2 200 mL/menit, tinggi larutan 80 cm, dan konsentrasi 3,825 gram/liter. Penyerapan CO_2 dengan biogas memiliki presentase lebih tinggi dari CO_2 murni. Sedangkan konversi Ca(OH)_2 dengan biogas memiliki persentase lebih rendah dari CO_2 murni.

Kata Kunci: Biogas, Kolom gelembung, Penyerapan CO_2 , Larutan Ca(OH)_2 , Precipitated Calcium Carbonate (PCC).

CO₂ REDUCTION IN BIOGAS USING BUBBLE COLOUMN OF Ca(OH)₂ CONTINUOUSLY

Nama : Putu Adhi Rama Wijaya
(02 211 440 000 058)
Ratri Puspita Wardani
(02 211 440 000 076)

Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng.
Suci Madhania, S.T., M.T.

ABSTRACT

Biogas is the energy as the result of conversion from organic waste that form methane gas which can be used as alternative energy. In general, biogas contains large amount of CO₂ which can decrease the caloric value and form the corrosion in equipments so it needs to be purified. In this study, biogas produced by biogas reactor in Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto was purified by passing through Ca(OH)₂ solution in bubble column reactor continuously and producing Precipitated Calcium Carbonate (PCC). This research uses two types of gas that is pure CO₂ and biogas. The pure CO₂ gas aims to determine the performance of CO₂ absorption in bubble columns. The effect of gas flow rate, the flow rate of Ca(OH)₂ solution, the height of the solution in the column, and the concentration of the solution to CO₂ absorption and Ca(OH)₂ conversion will be studied in this research. Ca(OH)₂ solution with concentration of 2,295-3,825 gram/liter was flowed at a flow rate of 200-400 mL/min into bubble column at 50-80 cm height then biogas was flowed through the distributor at a flow rate of 0,5-0,9 liters/minute. The formed PCC is precipitated, filtered, and dried. XRF analysis showed that the main composition of PCC produced was 99,425% CaCO₃. The highest absorption of CO₂ in biogas was found at 0,5 liter/min flow rate, 400 mL/min flow rate

of Ca(OH)₂ solution, 80 cm height, and 3,825 gram/liter concentration. While the highest conversion of Ca(OH)₂ in biogas was found at 0,5 liter/min flow rate of gas, 200 mL/min flow rate of Ca(OH)₂ solution, 80 cm solution, and 3,825 gram/liter concentration. The absorption of CO₂ with biogas has a higher percentage than the pure CO₂. Meanwhile, the Ca(OH)₂ conversion with biogas has a lower percentage than the pure CO₂.

Keyword: Biogas, Bubble column, CO₂ absorption, Ca(OH)₂ solution, Precipitated Calcium Carbonate (PCC).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Skripsi kami yang berjudul:

“PENGURANGAN CO₂ DALAM BIOGAS MENGUNAKAN KOLOM GELEMBUNG Ca(OH)₂ SECARA KONTINYU”

Laporan Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Strata-1 di Departemen Teknik Kimia - Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu diberikan untuk kami.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Ibu Suci Madha Nia, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
5. Bapak Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng. dan Dr. Siti Machmudah S.T., M.Eng., selaku dosen penguji Seminar Proposal Skripsi, Ujian *Poster Paper*, dan Seminar Skripsi.
6. Ibu Prida Novarita Trisanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji Ujian *Poster Paper* dan Seminar Skripsi.

7. Seluruh dosen Teknik Kimia ITS atas semua ilmu serta bimbingan selama kami menempuh pendidikan S1.
8. Karyawan Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, Bang Farid Indra, S.T., atas dedikasinya dalam membantu segala kebutuhan eksperimen skripsi ini.
9. Yukh Ihsana S.T., yang mengawasi dan memberikan pengarahan saat menjalankan penelitian.
10. Teman-teman kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang telah berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir.
11. Teman-teman angkatan K-54 Teknik Kimia ITS yang memberi semangat dan dukungan.
12. Beberapa pihak lain yang tidak bisa kami paparkan satu persatu yang telah membantu kami.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata kami selaku penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Daftar Isi

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Biogas	5
II.2 Teknologi Penangkap CO ₂	6
II.2.1 Post-Conversion Capture.....	6
II.2.2 Pre-Conversion Capture.....	6
II.2.3 Oxy - fuel combustion capture.....	7
II.3 Teknologi Pemurnian Biogas	10
II.3.1 Water Scrubbing	10
II.3.2 Chemical Absorbtion	11
II.3.3 Pressure Swing Adsorption.....	13
II.3.4 Pemisahan Membran	14
II.4 Precipitated Calcium Carbonate (PCC)	15
II.5 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
III.1 Bahan dan Peralatan Penelitian	23
III.1.1 Bahan.....	23
III.1.2 Peralatan	23
III.2 Variabel dan Kondisi Operasi	25
III.3 Prosedur Percobaan	26

III.3.1 Proses Karbonasi	26
III.3.2 Uji Kuantitatif Komposisi Biogas menggunakan <i>Gas Chromatography</i> (GC)	27
III.3.3 Uji Kuantitatif Komposisi PCC menggunakan <i>X-Ray Flourencene</i> (XRF)	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
IV.1 Pengaruh Laju Alir Gas.....	31
IV.1.1 Pengaruh Laju Alir Gas CO ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂	31
IV.1.2 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Proses Penyerapan CO ₂	36
IV.1.3 Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO ₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO ₂	40
IV.2 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂	43
IV.2.1 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada CO ₂ Murni	43
IV.2.2 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas	47
IV.2.3 Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas dan CO ₂ Murni	49
IV.3 Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH) ₂	53
IV.3.1 Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada CO ₂ Murni	53
IV.3.2 Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas	55
IV.3.3 Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas dan CO ₂ Murni	57
IV.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH) ₂	60
IV.4.1 Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada CO ₂ Murni	60

IV.4.2 Pengaruh Konsentrasi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas	63
IV.4.3 Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni	68
IV.5 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
V.1 Kesimpulan	73
V.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	x
DAFTAR NOTASI	xiii
APPENDIKS	xvi
LAMPIRAN	xviii

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Skema metode penangkap CO ₂	10
Gambar 2.2 Diagram alir teknologi <i>water scrubbing</i>	11
Gambar 2.3 Diagram alir teknologi penyerapan kimiawi	12
Gambar 2.4 Diagram alir <i>pressure-swing adsorption</i>	13
Gambar 2.5 Diagram alir pemisahan membran.....	14
Gambar 2.6 Sintesa PCC melalui metoda kaustik soda.....	17
Gambar 2.7 Sintesa PCC dengan metode karbonasi	18
Gambar 3.1 Skema alat Pembuatan PCC	24
Gambar 3.2 Pola distributor 0.5 mm	25
Gambar 3.3 Skema Alat <i>Gas Chromatography</i>	28
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas CO ₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO ₂	33
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas CO ₂ terhadap Konversi Ca(OH) ₂	35
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Proses Penyerapan CO ₂	37
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Konversi Ca(OH) ₂	39
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO ₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO ₂	40
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO ₂ Murni terhadap Konversi Ca(OH) ₂	42
Gambar 4.7 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada CO ₂ Murni	44
Gambar 4.8 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Konversi Ca(OH) ₂ pada CO ₂ Murni.....	46
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas	47
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Konversi Ca(OH) ₂ pada Biogas.....	48
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Proses Penyerapan CO ₂ pada Biogas dan CO ₂ Murni ..	50

Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas dan CO_2 Murni	51
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada CO_2 Murni.....	53
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada CO_2 Murni.....	54
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas	55
Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas.....	56
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni.....	57
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas dan CO_2 Murni	59
Gambar 4.19 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada CO_2 Murni	61
Gambar 4.20 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada CO_2 Murni	63
Gambar 4.21 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas	64
Gambar 4.22 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas	67
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni.....	69
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas dan CO_2 Murni	70
Gambar 4.25 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF	71

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Komposisi Biogas Secara Umum	5
Tabel 2.2 Metode penangkap CO ₂	7
Tabel 4.1 Rasio mol Ca(OH) ₂ dan CO ₂ Pada Variabel Laju Alir Gas untuk CO ₂ Murni	36
Tabel 4.2 Rasio Ca(OH) ₂ dan CO ₂ Pada Variabel Laju Alir Gas untuk Biogas	38
Tabel 4.3 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Kandungan CO ₂ dan CH ₄ dalam Biogas	43
Tabel 4.4 Rasio Ca(OH) ₂ /CO ₂ Pada Variabel Laju Alir Ca(OH) ₂ untuk CO ₂ Murni	45
Tabel 4.5 Rasio Ca(OH) ₂ /CO ₂ pada Variabel Laju Alir Ca(OH) ₂ untuk Biogas.....	48
Tabel 4.6 Pengaruh Laju Alir Ca(OH) ₂ terhadap Kandungan CO ₂ dan CH ₄ dalam Biogas.....	52
Tabel 4.7 Data massa Ca(OH) ₂ dan PCC yang terbentuk	67
Tabel 4.8 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF	72

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi biogas adalah energi hasil konversi dari limbah organik yang dapat membentuk gas metana. Biogas ini dapat dijadikan sebagai energi alternatif karena proses pembuatan dan pemeliharaan pada pembangkit biogas yang sederhana dan energi yang dihasilkan bersahabat dengan lingkungan. Dalam aplikasinya, biogas banyak digunakan sebagai sumber panas, uap dan listrik, bahan bakar rumah untuk memasak, sel bahan bakar, dan dapat ditingkatkan lebih lanjut menjadi bahan bakar kendaraan, atau untuk produksi bahan kimia. Dengan memperhitungkan semua aspek ini, biogas menjadi sebuah teknologi yang mampu untuk menghasilkan bioenergi.

Secara umum biogas memiliki kandungan 55% - 70% metana (CH_4), 30% - 45% karbondioksida (CO_2), uap air dan H_2S . keberadaan CO_2 yang cukup besar dalam kandungan biogas tidak hanya menyebabkan penurunan nilai kalorinya, tetapi juga menyebabkan timbulnya korosi pada alat untuk memproduksi biogas. Pemurnian pada biogas merupakan kunci teknologi dalam pengembangan utilisasi biogas. Secara khusus, penghilangan CO_2 dalam biogas dilakukan untuk memenuhi standar *pipeline gas* dan meningkatkan nilai jualnya.

Teknologi yang saat ini banyak digunakan dalam menghilangkan kandungan gas CO_2 antara lain *water scrubbing*, *chemical absorption*, *pressure swing adsorption*, *cryogenic separation* dll. Akan tetapi kebanyakan teknologi ini akan membutuhkan biaya yang mahal dan menyebabkan kehilangan CH_4 yang banyak. Selain itu, proses proses yang telah disebutkan tidak dapat memanfaatkan CO_2 sehingga terbuang ke atmosfer. Oleh karena itu, sangat penting untuk menemukan metode pemurnian biogas yang tidak mahal dan mudah diaplikasikan khususnya di sektor pertanian kecil daerah pedesaan. Pemurnian biogas menggunakan CaO telah banyak dikembangkan dalam

penghilangan CO₂ dikarenakan pengaturan kondisi operasi yang mudah. Dalam pemurnian ini, nantinya CaO akan dilarutkan dalam air sehingga terjadi reaksi pembentukan Ca(OH)₂. Selanjutnya Ca(OH)₂ akan direaksikan dengan CO₂ dan menghasilkan produk samping *precipitated calcium carbonate* (PCC) (Liu et al., 2015).

Precipitated calcium carbonate (PCC) digunakan sebagai bahan tambahan untuk tinta, plastik, lem. Kertas dan industri karet. Dalam aplikasinya, PCC yang dibutuhkan dalam industri memiliki distribusi ukuran yang kecil, seragam, dan memiliki kristalinitas yang baik. PCC murni mempunyai 3 bentuk kristal yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit yang masing-masing memiliki morfologi *rhombohedral*, *hexagonal*, dan *orthorhombic*. Kalsit lebih stabil dari kristal pada suhu dan tekanan ambien. Sedangkan vaterit adalah fase yang paling tidak stabil dari kedua fase kristal yang telah disebutkan (Tai & Chen, 2008).

Precipitated calcium carbonate (PCC) dapat disintesis dari batu kapur dengan tiga metode yaitu metode karbonasi, metode kaustik soda, dan metode *solway*. Metoda karbonasi banyak digunakan di berbagai industri dikarenakan memiliki prosedur pembuatan yang sederhana, biaya pembuatan rendah, produk yang dihasilkan lebih banyak, dan kemurnian yang lebih tinggi. Namun, proses pada metode karbonasi lebih lambat jika dibandingkan dengan metoda kaustik soda, karena rendahnya kelarutan CO₂ yang digunakan untuk sintesis PCC dalam air. Sintesis *precipitated calcium carbonate* oleh metode karbonasi adalah salah satu yang paling efisien dan sederhana sehingga banyak digunakan oleh berbagai industri saat ini (Jimoh, Otitoju, Hussin, Ariffin, & Baharun, 2017).

Penelitian sebelumnya mengembangkan proses purifikasi biogas dan sintesis *precipitated calcium carbonate* dengan metode karbonasi (Bonifalih & Imran, 2018). Namun, mode operasi yang digunakan pada penelitian tersebut adalah sistem semi kontinyu. Larutan Ca(OH)₂ dimasukkan terlebih dahulu ke dalam reaktor kolom gelembung dan biogas disirkulasikan ke dalam kolom hingga bereaksi. Sistem ini tidak cocok untuk diterapkan pada

skala industri yang lebih besar. Oleh karena itu, penelitian ini mengubah sistem dari semi kontinyu menjadi kontinyu dengan mendesain ulang proses dan skema peralatan. Larutan Ca(OH)_2 dan biogas akan disirkulasikan ke dalam reaktor kolom gelembung.

Beberapa faktor dalam sistem kontinyu seperti flow rate biogas dan Ca(OH)_2 , diameter distributor gas, konsentrasi Ca(OH)_2 , dan waktu tinggal pelarut di dalam tangki berpengaruh terhadap pembentukan partikel PCC yang dihasilkan pada kondisi operasi yang berbeda. Selain itu belum banyak studi yang menyediakan banyak informasi mengenai pemurnian biogas yang disertai pembentukan PCC. Oleh karena itu, perlu adanya investigasi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh pemurnian biogas disertai pembentukan PCC dalam reaktor kolom gelembung dengan sistem kontinyu.

I.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, pemurnian biogas dilakukan dengan cara mereaksikan CO_2 terkandung dalam biogas dengan larutan Ca(OH)_2 menggunakan kolom gelembung untuk menghasilkan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan sistem kontinyu. Beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan PCC antara lain: laju alir biogas, laju alir Ca(OH)_2 , tinggi larutan dalam kolom gelembung, konsentrasi larutan Ca(OH)_2 . Gas CO_2 murni juga digunakan sebagai pembanding.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh laju alir biogas dan larutan Ca(OH)_2 terhadap kuantitas PCC yang terbentuk dan kualitas biogas yang dihasilkan
2. Mengetahui pengaruh tinggi larutan Ca(OH)_2 dalam kolom gelembung dan konsentrasi larutan Ca(OH)_2 terhadap proses karbonasi.
3. Membandingkan proses karbonasi menggunakan biogas dan CO_2 murni.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan biogas yang lebih murni dan *precipitated calcium carbonate* (PCC).
2. Memberikan informasi mengenai kondisi optimum pemurnian biogas dengan metode karbonasi menggunakan kolom gelembung secara kontinyu.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biogas

Limbah material organik seperti hewan dan tumbuhan mati, kotoran hewan, dan limbah dapur dapat di konversi menjadi bahan bakar gas disebut biogas. Biogas dapat dihasilkan dari pengolahan secara anaerobik (anaerobic digestion) dengan bahan baku berupa limbah organik, seperti kotoran hewan, limbah cair kelapa sawit (POME), dan limbah pengolahan sagu. Bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah tersebut didekomposisi oleh bakteri anaerobik fakultatif maupun obligat dalam suatu reaktor tertutup pada suhu $35^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$. Hasil dekomposisi bakteri yang berupa biogas akan keluar melalui bagian atas reaktor, sedangkan bahan yang tidak terdekomposisi akan keluar melalui bagian bawah reaktor. Biogas bisa menjadi solusi pengganti energi bahan bakar yang murah dan ramah lingkungan.

Gas metan atau CH_4 adalah unsur utama dalam biogas dan merupakan komponen penting dalam pembakaran, tetapi juga mengandung beberapa pengotor. Kandungan biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Biogas Secara Umum

Komposisi Biogas	Persentase (%)
Metana (CH_4)	55 – 70
Karbon dioksida (CO_2)	30 – 45
Nitrogen (N_2)	0 - 0.3
Hidrogen Sulfida (H_2S)	1 – 5

(Deublein & Steinhauer, 2010)

Karbon dioksida (CO_2) dalam biogas memberi beberapa dampak pada hasil biogas seperti: menurunkan nilai kalor, meningkatkan jumlah metana dan sifat *anti-knock* pada mesin, dan merusak sel bahan bakar alkali. Melalui serangkaian alat purifikasi

untuk menghilangkan pengotor, biogas dapat dijadikan natural gas. Sehingga produk akhir biogas yang merupakan campuran antara CH₄ dan CO₂ dapat digunakan sebagai energi terbarukan.

II.2 Teknologi Penangkap CO₂

Pembangkit listrik, kilang minyak, pemurnian biogas, dan juga produksi ammonia, etilena oksida, semen, besi, dan baja adalah sumber industri utama CO₂. Misalnya, lebih dari 40% dari emisi CO₂ di seluruh dunia disebabkan oleh listrik generasi di pembangkit listrik bahan bakar fosil. Karena itu, sumber ini adalah kandidat utama untuk aplikasi potensial *carbon capture utilization* (CCU).

pilihan dalam menangkap CO₂ dapat diklasifikasikan kedalam *post-conversion*, *pre-conversion* dan *oxy-fuel combustion*.

II.2.1 Post-Conversion Capture

Post-conversion capture melibatkan pemisahan CO₂ dari limbah gas setelah konversi sumber karbon menjadi CO₂ misalnya, melalui pembakaran bahan bakar fosil atau pencernaan air limbah *sludge*. Metode ini dapat digunakan untuk menghilangkan CO₂ dari berbagai industri. Absorpsi dengan *monoethanolamine* (MEA) merupakan umum yang digunakan, tetapi metode ini tidak ekonomis untuk diaplikasikan ke semua industri sebab regenerasi MEA membutuhkan pemakaian panas tinggi. Sebagai contoh, absorpsi MEA CO₂ pada pabrik semen kurang baik digunakan dibandingkan dengan pabrik yang menggunakan gabungan panas dan daya sebab bentuk kurangnya pemulih panas, sehingga adanya biaya energi tambahan.

II.2.2 Pre-Conversion Capture

Pre-conversion capture melibatkan pada penangkapan CO₂ yang dihasilkan sebagai co-produk yang tidak diinginkan dari reaksi perantara konversi proses. Beberapa contoh termasuk produksi ammonia dan gasifikasi batubara di pembangkit listrik.

Dalam ammonia produksi, CO₂ yang diproduksi Bersama dengan hydrogen selama uap reformai harus dihilangkan sebelum sintesis ammonia terjadi. Penyerapan di MEA yang biasa digunakan untuk tujuan ini. Begitu pula dengan *integrated gasification combined cycle* (IGCC) pembangkit listrik, CO₂ harus dipisahkan dari hidrogen biasanya dapat dicapai dengan menggunakan pelarut fisik seperti selexol dan rectisol. *Porous organic framework* membran dapat digunakan untuk menangkap CO₂ karena selektivitas CO₂ dan memiliki daya serapan tinggi. Namun, tidak ada aplikasi telah dilaporkan sampai saat ini.

Seperti dengan *post-conversion*, penangkapan CO₂ melalui *pre-conversion* juga melibati denda energi untuk regenerasi pelarut kimia (seperti MEA) lebih rendah untuk pelarut fisik sebagai mana adanya diregenerasi dengan mengurangi tekanan bukan dengan panas. Oleh karena itu, pelarut lebih sesuai untuk diaplikasikan dengan operasi tekanan tinggi dan lebih efisien untuk aliran CO₂ yang tinggi.

II.2.3 Oxy - fuel combustion capture

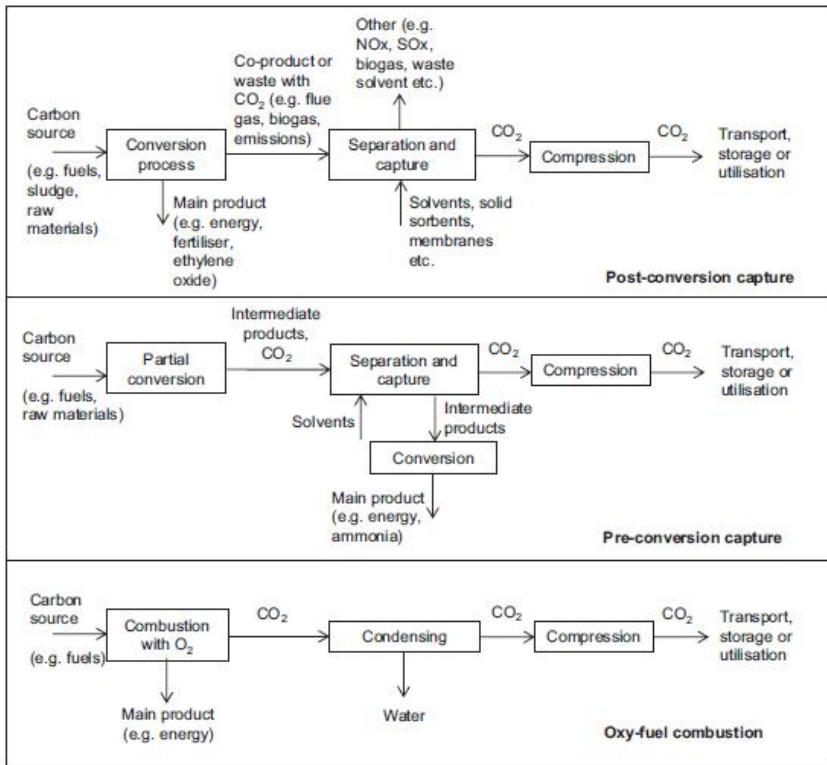
Oxy – fuel combustion dapat diaplikasikan kedalam proses yang melibati pembakaran, seperti pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil, industri produksi semen, besi dan baja. Pada metode ini, bahan bakar dibakar dengan oksigen murni untuk menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO₂ tinggi dan bebas dari nitrogen dan senyawanya NO dan NO₂. Sementara untuk menghindari kebutuhan akan bahan kimia atau cara pemisahan CO₂ lainnya dari gas buang, kerugiannya adalah mahalnnya oksigen dan dampak lingkungan, termasuk emisi CO₂, terkait dengan produksi tinggi karena pemisahan udara yang intensif (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2015).

Tabel 2.2 Metode penangkap CO₂

Capture option	Separation Technology	Method
----------------	-----------------------	--------

<p>Post-conversion</p>	<p>Absorption by chemical solvent</p> <p>Adsorption by solid sorbents</p> <p>Membrane separation</p> <p>Cryogenic separation Pressure/vacuum swing adsorption</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Amine-based solvent, e.g. monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), and hindered amine (KS-1) • Alkaline solvents, e.g. NaOH and Ca(OH)₂ • Ionic liquids • Amine-based solid sorbents • Alkali earth metal-based solid sorbents, e.g. CaCO₃ • Alkali metal carbonate solid sorbents, e.g. Na₂CO₃ and K₂CO₃ • Porous organic frameworks - polymers • Polymeric membranes, e.g. polymeric gas permeation membranes • Inorganic membranes, e.g. zeolites • Hybrid membranes
------------------------	---	---

		<ul style="list-style-type: none"> • Cryogenic separation • Zeolites • Activated carbon
Pre-conversion	Absorption by physical solvents Absorption by chemical solvent	<ul style="list-style-type: none"> • Selexol, rectisol • Amine-based solvent, e.g. (MEA)
Oxy-fuel combustion	Separation of oxygen from air	<ul style="list-style-type: none"> • Oxy-fuel process • Chemical looping combustion • Chemical looping reforming



Gambar 2.1 Skema metode penangkap CO₂

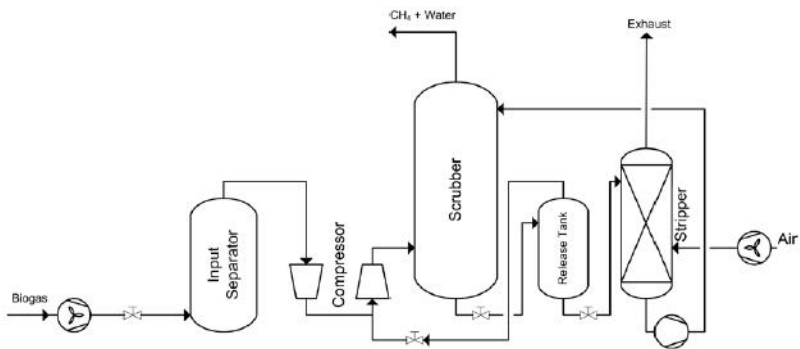
II.3 Teknologi Pemurnian Biogas

II.3.1 Water Scrubbing

Water scrubbing biasa digunakan untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S dari biogas karena gas tersebut lebih larut dalam air daripada metana. Proses absorpsi bersifat fisik. Biasanya biogas bertekanan diumpungkan ke dasar *packed column* sementara air di alirkan dari atas kolom sehingga proses absorpsi berjalan secara *counter-current*. *Water scrubbing* juga dapat digunakan untuk menghilangkan H₂S karena H₂S lebih mudah larut daripada CO₂ dalam air. Air yang keluar dari kolom dengan CO₂ dan H₂S yang

diserap dapat di regenerasi dan disirkulasi ulang kembali ke kolom absorpsi.

Regenerasi dilakukan dengan penurunan tekanan atau *stripping* dengan udara pada kolom yang sama. *Stripping* dengan udara tidak disarankan saat kadar H_2S tinggi karena air akan terkontaminasi dengan dasar sulfur dapat menyebabkan masalah operasional. Jika ketersediaan air dapat digunakan, misalnya air keluar dari instalasi pengolahan limbah, metode ini membutuhkan biaya yang paling efisien.



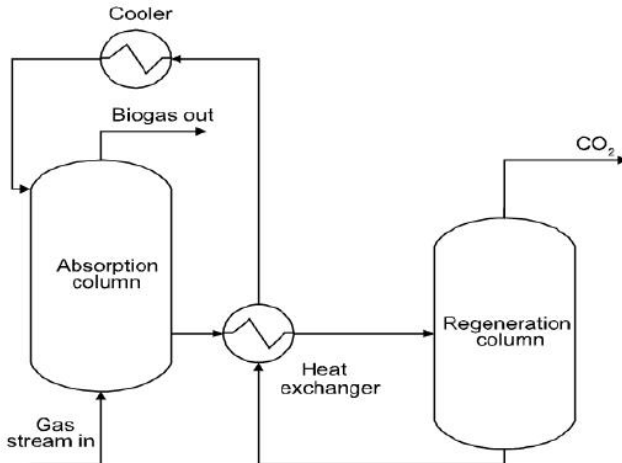
Gambar 2.2 Diagram alir teknologi *water scrubbing*

Keuntungan menggunakan *water scrubbing* tidak membutuhkan bahan kimia khusus dan penghilangan ke dua gas CO_2 dan H_2S . kerugian pada *water scrubbing* adalah membutuhkan banyak air pada regenerasi, juga keterbatasan penghilangan H_2S , karena menurunnya CO_2 pada pH larutan dan korosi peralatan disebabkan oleh H_2S . Menurut (Hullu, Meel, Shazad, & Bini, 2008), biaya metode *water scrubbing* adalah 0.13 €/Nm^3 biogas.

II.3.2 Chemical Absorbtion

Penyerapan kimiawi melibatkan pembentukan ikatan kimia reversibel antara zat terlarut dan pelarut. Regenerasi pelarut melibatkan pemutusan ikatan dan membutuhkan energi yang relatif tinggi. pelarut kimia umumnya menggunakan larutan *aqueous*

amine (yaitu mono-, di- atau tri-ethanolamine) atau larutan garam alkali (yaitu natrium, kalium dan kalsium hidroksida).

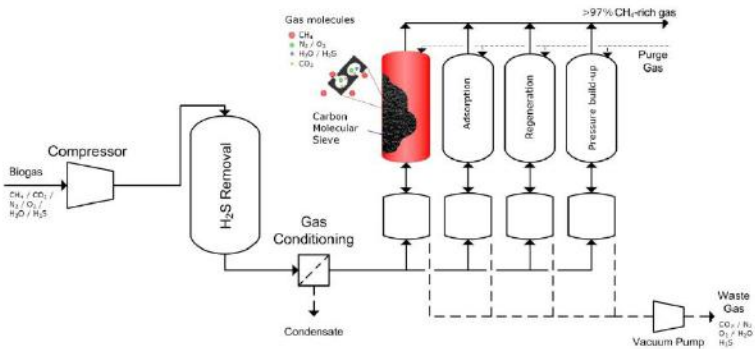


Gambar 2. 3 Diagram alir teknologi penyerapan kimiawi

(Mandal, Guha, Biswas, & Bandyopadhyay, 2001) melaporkan metode *bubbling* biogas melewati 10% larutan *aqueous mono-ethanolamine* dapat menurunkan kandungan CO₂ pada biogas 40 menjadi 0.5-1.0% volumenya. Larutan MEA dapat regenerasi secara sempurna dengan didihkan selama 5 menit sebelum dapat digunakan kembali. Keuntungan penyerapan kimiawi adalah penghilangan kadungan H₂S sempurna, efisiensi tinggi dan laju reaksi dibandingkan *water scrubbing*, dan memiliki kemampuan bekerja pada tekanan rendah. Karena keuntungan tersebut, proses ini secara umum di aplikasi oleh banyak industri, termasuk pemurnian gas alam (Palmeri, Cavallaro, & Bart, 2008). Kerugiannya adalah perlu adanya bahan kimia dan memiliki utilitas untuk mengolah bahan kimia tersebut. Biaya yang diperlukan pada metode ini diperkirakan 0.17 €/Nm³ biogas, menurut (Hullu et al., 2008).

II.3.3 Pressure Swing Adsorption

Pressure swing adsorption adalah teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa spesies gas dari campuran gas yang berada di bawah tekanan sesuai dengan karakteristik molekuler spesies dan afinitas bahan adsorben. teknologi ini beroperasi pada suhu ambien terdekat dan sangat berbeda dari teknik distilasi kriogenik pada pemisahan gas. Bahan adsorptif khusus (misalnya, zeolit dan karbon aktif) digunakan sebagai sieve molekuler, secara khusus mengadsorpsi spesies gas pada tekanan tinggi. Proses kemudian beralih ke tekanan rendah untuk menghilangkan bahan adsorben (Cavenati, Grande, & Rodrigues, 2005).



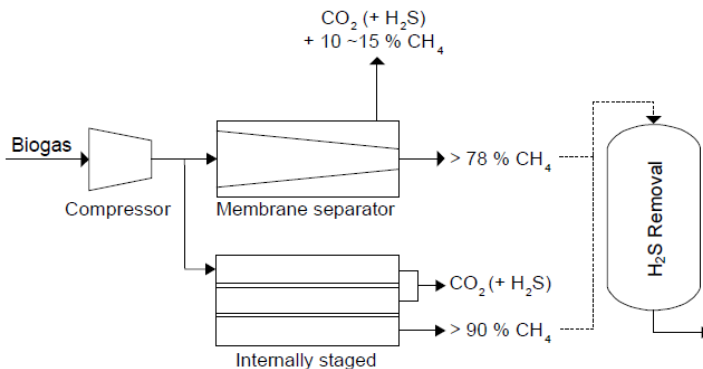
Gambar 2.4 Diagram alir *pressure-swing adsorption*

Pressure swing adsorption menggunakan zeolite atau karbon aktif pada tingkat tekanan yang berbeda merupakan metode efektif dalam pemisahan CO₂ dari metana (Grande & Rodrigues, 2007; Pinto, Pires, & Rocha, 2008). Karbon aktif yang diresapi oleh potassium iodide dapat secara katalitis bereaksi dengan oksigen dan H₂S untuk menghasilkan air dan sulfur (Pipatmanomai, Kaewluan, & Vitidsant, 2009). Reaksi paling baik dicapai pada 7 hingga 8 bar dan suhu 50 hingga 70°C. karbon aktif diperlukan untuk regenerasi atau digantikan ketika mencapai jenuh. Keuntungan penggunaan teknologi PSA lebih dari 97% CH₄ dapat di murnikan, emisi rendah dan menghilangkan nitrogen dan

oksigen. Kerugian teknologi PSA penghilangan kandungan H₂S tambahan diperlukan sebelum proses PSA. Selain itu, gas sisa dari PSA masih perlu diolah kembali. Teknologi ini relatif lebih mahal dibandingkan teknologi yang lain, menurut (Hullu et al., 2008), biaya instalasi metode PSA adalah 0.40 €/Nm³ biogas.

II.3.4 Pemisahan Membran

Prinsip teknologi pemisahan membran adalah beberapa komponen gas mentah di alirkan melalui membran tipis sementara komponen lainnya dipertahankan. Permeabilitas adalah fungsi langsung dari kelarutan kimia dari komponen dalam membran. Membran padat dapat dibangun sebagai modul serat berongga atau struktur lainnya yang memberikan permukaan membran besar per volume. tekanan operasi yang biasa digunakan berkisar 25 hingga 40 bar. Prinsip dasar pemisahan membran menghasilkan pertukaran antara kemurnian metana tinggi pada gas yang ditingkatkan dan hasil metana yang tinggi. Kemurnian gas yang ditingkatkan dapat diperbaiki dengan meningkatkan ukuran atau jumlah modul membran, namun lebih banyak metana yang akan menembus melalui membran dan menghilang.



Gambar 2. 5 Diagram alir pemisahan membran

Keuntungan teknologi pemisahan membran adalah prosesnya ringan, pengolahan yang mudah, memiliki persyaratan

energi dan perawatan yang rendah. Kelemahan pemisahan membran adalah hasil CH_4 relatif rendah dan biaya membran yang tinggi. Menurut (Hullu et al., 2008), biaya metode membran adalah $0,12 \text{ €/Nm}^3$ biogas. Meskipun biaya ini rendah dibanding dengan metode lain yang ditinjau, kesulitan dengan hasil dan kemurnian serta potensi *membrane fouling* (pergantian membran) meningkatkan biaya operasi dan sangat mempengaruhi ekonomi proyek.

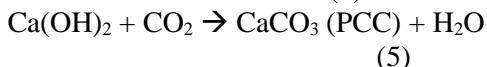
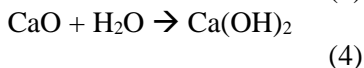
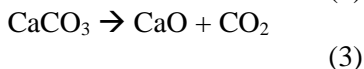
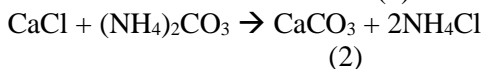
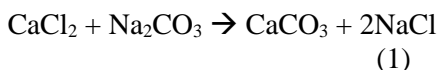
II.4 Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

Calcium Carbonate (CaCO_3) dapat ditemukan pada kebanyakan makhluk hidup. CaCO_3 *biodegradable*, *biocompatible*, dan material dengan sensitifitas pH yang baik. Properti CaCO_3 cocok untuk kemampuan dekomposisi terkontrol baik dalam vitro dan vivo.

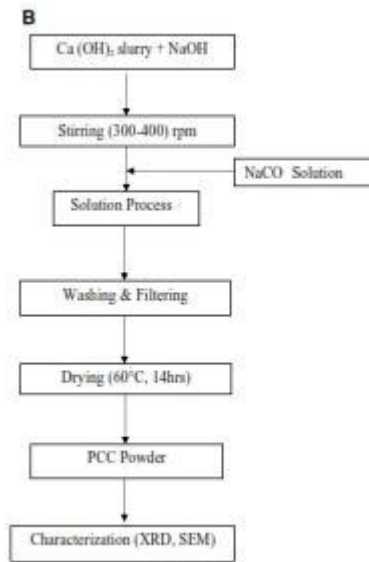
Dalam industri makanan, kalsium karbonat dimanfaatkan tidak hanya untuk menyediakan sistem tubuh dengan nutrisi penting (kalsium), tetapi juga sebagai kondisioner dalam pencegahan bubuk makanan menjadi kering. Selain itu, *precipitated calcium carbonate* sering digunakan dalam pasta gigi yang berfungsi sebagai abrasif dan fillers. PCC jauh lebih murah dari bahan abrasif yang lain seperti silika dan *dicalcium phosphate*. PCC mempunyai banyak kelebihan dibanding *ground calcium carbonate* dengan ukuran partikel yang lebih kecil, kemurnian tinggi, distribusi ukuran partikel kecil dan bentuk kristal biasa. Tidak seperti *ground calcium carbonate*, PCC dapat diproduksi dalam berbagai bentuk partikel dan dalam ukuran partikel halus. PCC semakin banyak digunakan di industri seperti kertas, karet, cat, tekstil, plastik dan lain-lain. *Calcium carbonate* terdapat dalam tiga mineral yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dapat diproduksi melalui 2 metode utama yaitu: solid-liquid route yang melibatkan reaksi langsung antara Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan, dan solid-liquid-gas route dimana gas CO_2 direaksikan dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

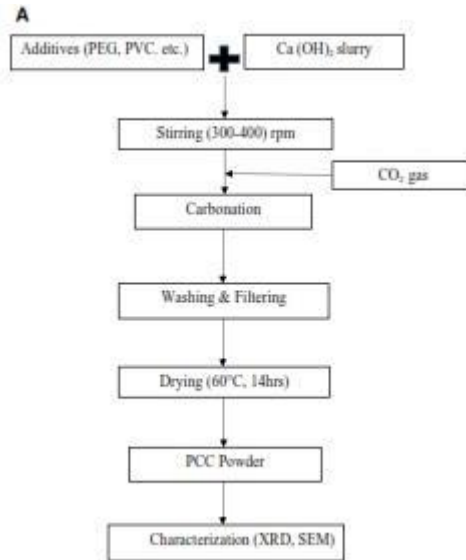
Pada *liquid-liquid route* larutan garam karbonat digunakan sebagai pengganti gas CO yang ditambahkan ke reaktan dalam proses karbonasi sebelumnya. Proses ini sering digunakan dalam produksi laboratorium karena mudah dalam mengendalikan variabel operasinya. Polimorf PCC yang paling umum diperoleh melalui *solid-liquid route* adalah kalsit rhombohedral. Dalam proses ini, kalsium karbonat dapat terbentuk melalui reaksi berikut:



Solid-liquid-gas route, juga dikenal sebagai metode karbonasi, banyak digunakan di industri karena prosedur yang sederhana, biaya rendah, hasil lebih banyak dan kemurnian yang lebih tinggi. Namun, metode karbonasi membutuhkan waktu yang cukup lama karena kelarutan CO yang rendah digunakan untuk sintesis PCC. Dalam proses ini batuan karbonat dikalsinasi dengan menggunakan *furnace* antara suhu 900-1000°C, kemudian diolah dengan air untuk menghasilkan Ca(OH)₂ atau susu kapur. Susu kapur dikarbonasi dengan karbonasi dengan CO₂ yang diperoleh dari proses kalsinasi.



Gambar 2.6 Sintesa PCC melalui metoda kaustik soda



Gambar 2.7 Sintesa PCC dengan metode karbonasi
(Onimisi, 2017)

II.5 Penelitian Terdahulu

(Ofori-Boateng & Kwofie, 2009), melakukan penghilangan CO₂ dari biogas dengan menggunakan *water scrubbing*. Biogas dikompresi pada tekanan 1.0 MPa sehingga meningkatkan kelarutan karbon dioksida dalam air. Air dilepaskan pada tekanan 1.3 MPa untuk memenuhi tekanan gas yang masuk kedalam kolom secara berlawanan arah. Dari beberapa metode pemurnian biogas, *water scrubbing* merupakan yang paling sederhana serta memiliki biaya operasi dan perawatan yang rendah. Namun, membutuhkan banyak air pada regenerasi, juga keterbatasan penghilangan H₂S, karena menurunnya CO₂ pada pH larutan dan korosi peralatan disebabkan oleh H₂S (Ofori-Boateng & Kwofie, 2009).

(Liu et al., 2015) melakukan pemurnian biogas dan sintesis *calcium carbonate* dengan reaktor *multi stage membrane*. Pada

penelitian ini *slurry* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dialirkan menuju reaktor *multi stage membrane* untuk memurnikan biogas dan sitensis nano *precipitated calcium carbonates* (PCC). Reaktor *multi stage membrane* berhasil memurnikan biogas (dengan kandungan keluaran CO_2 kurang dari 3%) dan menghasilkan nano *calcium carbonate* dengan ukuran diameter rata-rata 72.8 nm. Namun, biaya dalam pembuatan reaktor *multi stage membrane* membutuhkan biaya yang cukup tinggi (Liu et al., 2015).

(Mel, Sharuzaman, & Setyobudi, 2016), melakukan penghilangan CO_2 dari *plant* biogas dengan menggunakan kolom absorpsi kimiawi. Pada penelitian ini CO_2 dan H_2S dimurnikan dengan menggunakan larutan sodium hidroksida (NaOH). Konsentrasi sodium hidroksida bervariasi sebagaimana laju alir biogasnya. Penelitian ini mengungkapkan efisiensi penghilangan tertinggi telah dilakukan pada konsentrasi 14% larutan sodium hidroksida yang digunakan dan kapasitas penyerapan maksimum tercapai bila CH_4 meningkat 54.9 % dari awalnya. Namun, metana yang telah dimurnikan tidak terlalu tinggi dikarenakan konsentrasi metana di dalam biogas menjadi jenuh secara cepat (Mel et al., 2016).

(Novesar, 1984), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dari batu kapur dengan menggunakan metoda kaustik soda. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan larutan HNO_3 1 – 2 M dan penambahan larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 0.25 – 2 M, reaksi dilakukan dengan variasi 30, 45, 60, 90 dan 120 menit. Waktu reaksi yang terlalu cepat akan menyebabkan kesempurnaan reaksi belum tercapai sehingga produk yang dihasilkan lebih kecil dari yang seharusnya. Pengaruh konsentrasi HNO_3 pada rendemen PCC yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi HNO_3 maka rendemen yang dihasilkan semakin tinggi. Namun, penambahan larutan HNO_3 menyisakan residu berupa serbuk yang berwarna lebih kuning dibandingkan dengan CaO awal (Novesar, 1984).

(Tai & Chen, 2008), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metoda *reverse micro-emulsion*

technique. Penelitian ini dilakukan dengan mempersiapkan CaCl_2 dan Na_2CO_3 *reverse microemulsions* dengan mencampurkan isooktan, surfaktan, larutan encer CaCl_2 dan Na_2CO_3 pada suhu 25°C . besar ukuran PCC yang terbentuk memiliki ukuran mikrometer, dengan bentuk *rod-like*, bola, dan cincin. Untuk menghasilkan partikel CaCO_3 yang submicron dan bentuk yang bermacam-macam maka dilakukan upaya perubahan konsentrasi reaktan, memvariasikan jumlah relatif kedua mikroemulsi atau penambahan sejumlah kecil zat aditif (Tai & Chen, 2008).

(Lailiyah & Baqiya, 2012), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metoda *bubbling*. Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan larutan CaCl_2 yang dilakukan dengan mereaksikan CaO hasil kalsinasi dengan HCl 10 M dan penambahan larutan NH_4OH hingga pH 10. Proses karbonasi (*bubbling*) dilakukan dengan variasi suhu 30°C , 50°C , 70°C dan laju alir CO_2 2, 5, dan 7 SCFH. Pada suhu 30°C terbentuk fasa kalsit dan vaterit. Pada suhu 50°C terbentuk fasa kalsit, aragonit, dan vaterit. Pada suhu 70°C hanya fasa aragonit yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa temperature mempengaruhi pembentukan fase dari CaCO_3 . Peningkatan laju aliran gas CO_2 fase metastabil menghilang dan hanya terdapat fase kalsit di mana fase kalsit merupakan fase yang paling stabil (Lailiyah & Baqiya, 2012).

(Othman, Isa, & Othman, 2015) melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metode karbonasi. Penelitian ini dilakukan dengan mempersiapkan larutan kalsium sukrosa dengan mencampurkan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan larutan sukrosa. Variasi laju alir CO_2 yang digunakan adalah 0.2 dan 1 L/min. PCC yang terbentuk tanpa zat aditif memiliki bentuk ukuran yang baik dan seragam dibandingkan adanya zat aditif. Tetapi, jumlah PCC yang dihasilkan menggunakan zat aditif memiliki jumlah yang lebih banyak dibandingkan tanpa aditif. Peningkatan laju alir gas CO_2 akan menurunkan ukuran partikel PCC. Penggunaan aditif seperti sukrosa dapat meningkatkan produk

PCC karena kelarutan kapur hidrat dalam larutan sukrosa lebih tinggi dibandingkan dengan air (Othman et al., 2015).

(Bonifalih & Imran, 2018) melakukan proses purifikasi biogas dan sintesis *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metode karbonasi. Penelitian ini dilakukan dengan mereaksikan CaO dengan aquadest untuk menghasilkan larutan Ca(OH)₂. Larutan Ca(OH)₂ dimasukkan ke reaktor kolom gelembung. Kemudian biogas disirkulasikan ke dalam reaktor kolom gelembung. Variasi laju alir biogas dan CO₂ murni yang digunakan adalah 0.1 L/min hingga 0.5 L/min dengan interval 0.1 L/min. Pada penelitian ini, berhasil membandingkan proses karbonasi menggunakan biogas dan CO₂ murni dimana konversi PCC rata-rata dari biogas lebih besar yaitu 58% dibandingkan dengan gas CO₂ murni yaitu 49%. Tetapi, belum dilakukan analisa kandungan gas sebelum dan sesudah proses karbonasi (Bonifalih & Imran, 2018).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, sintesis *Precipitated calcium carbonate* (PCC) akan di proses menggunakan metode karbonasi dengan menggunakan reaktor kolom gelembung secara kontinyu. Biogas yang digunakan berasal dari Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto yang didanai oleh ITS. Biogas ini memiliki kandungan gas 67,8% metana (CH₄), 32,2% karbon dioksida (CO₂). Larutan Ca(OH)₂ dipersiapkan dengan cara melarutkan serbuk Ca(OH)₂ ke dalam air dimeneralisasi berdasarkan kelarutannya. CO₂ murni digunakan sebagai pebanding dalam penelitian ini.

III.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

III.1.1 Bahan

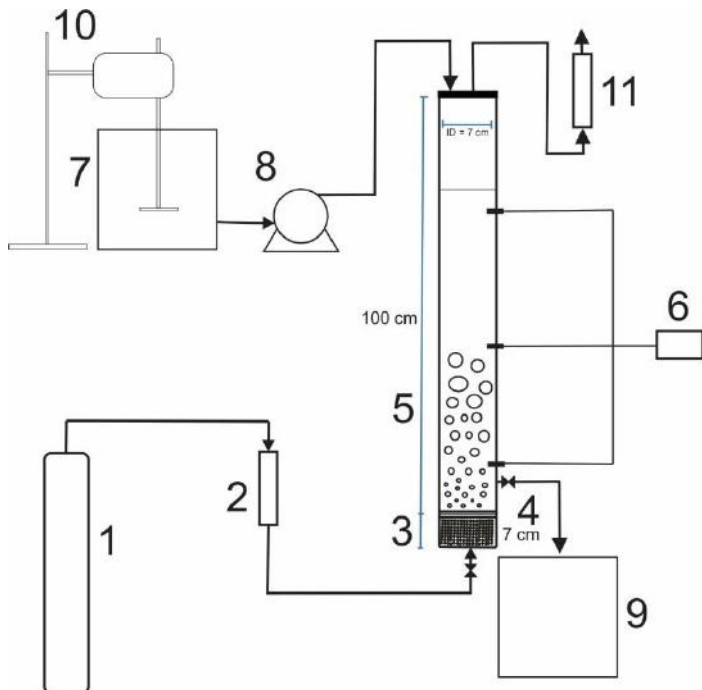
1. Serbuk Ca(OH)₂
2. Biogas
3. Gas CO₂
4. Aquades

III.1.2 Peralatan

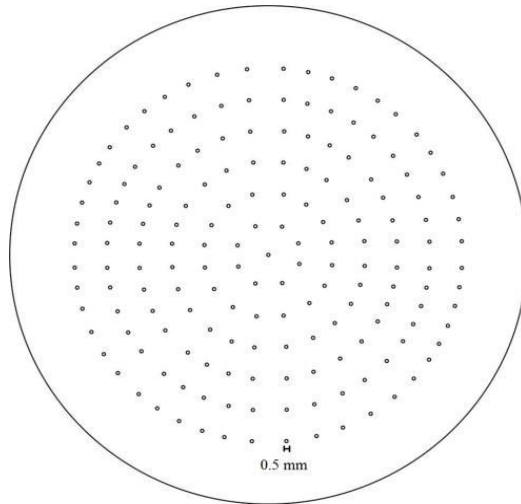
III.1.2.1 Alat Pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

1. Tabung gas berfungsi penampung biogas.
2. *Flowmeter gas in* (Wiebrock) berfungsi sebagai pengukur laju aliran gas masuk.
3. *Glass Bead* (diameter 1 - 2 mm) berfungsi sebagai packing untuk distributor gas.
4. *Perforated Plat* (diameter lubang 0.5 dan 1 mm) berfungsi sebagai distributor gas.
5. *Cylindrical column* berfungsi sebagai tempat reaksi pembentukan PCC.
6. pH meter (Testo 206) berfungsi mengukur pH larutan.

7. Feed Tank berfungsi untuk tempat larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebelum dipompa ke dalam *Cylindrical Column*.
8. Diaphragm Pump berfungsi memompakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ke dalam *Cylindrical Column*.
9. PCC tank, berfungsi menampung PCC hasil yang terbentuk.
10. Stirrer and Motor, berfungsi untuk pengadukan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam *Feed Tank*
11. *Flowmeter gas out* (Wiebrock) berfungsi sebagai pengukur laju aliran gas keluar



Gambar 3.1 Skema alat Pembuatan PCC



Gambar 3.2 Pola distributor 0.5 mm

III.2 Variabel dan Kondisi Operasi

Variabel penelitian yang digunakan adalah laju alir gas (CO_2 dan biogas), ukuran diameter lubang pada *perforated plat distributor gas*, dan tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam kolom gelembung. laju alir gas yang digunakan adalah 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1,1 liter/min, Laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan adalah 200, 250, 300, 350, 400 mL/menit, tinggi cairan dalam kolom gelembung yang di digunakan adalah 50, 60, 70, dan 80 cm, dan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan adalah 23,2; 30,6; 38,25 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$ liter air.

Kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disertai dengan pengadukan dilakukan pada suhu 60°C .
2. Untuk mengetahui pengaruh laju alir biogas: konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam kolom dan laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- dikontrol (konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 30,6 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2/10$ liter air, ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 50 cm dan laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 200 mL/menit).
3. Untuk mengetahui pengaruh laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$: konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam kolom dan laju alir biogas dikontrol (konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 30,6 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2/10$ liter air, ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 50 cm dan laju alir biogas 0,7 L/menit).
 4. Untuk mengetahui pengaruh ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam kolom gelembung: konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan laju alir biogas dikontrol (konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 30,6 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2/10$ liter air, laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 200 mL/menit dan laju alir biogas 0,7 L/menit).
 5. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$: ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan laju alir biogas dikontrol (ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 50cm, laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 200 mL/menit dan laju alir biogas 0,7 L/menit).
 6. Hal yang sama juga dilakukan pada CO_2 murni sebagai pebanding.

III.3 Prosedur Percobaan

Percobaan ini dibagi menjadi 2 tahapan yaitu:

1. Sintesis *precipitated calcium carbonates* (PCC)
2. Uji sampel PCC dan mengukur kandungan Biogas

III.3.1 Proses Karbonasi

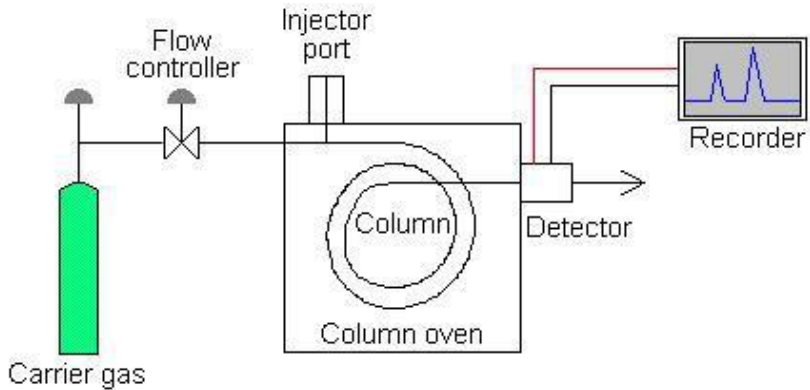
Pertama larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dipersiapkan dengan melarutkan 30,6 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam 1 liter air. Larutan ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan konstan 450 rpm hingga suhu larutan menjadi 60°C . Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dimasukkan kedalam tangki feed dan ditambahkan 9 liter air untuk nantinya dilakukan pengadukan dengan motor stirrer lalu dialirkan dengan

pompa diaphragma ke dalam kolom gelembung. Sedangkan untuk biogas diumpankan ke dalam kolom gelembung secara berlawanan dari bawah kolom gelembung. Proses dilakukan secara kontinyu. Kemudian sampel dari reaktor dikumpulkan dan dipisahkan dengan filtrasi setelah didiamkan dan didinginkan selama 12 jam. *Precipitated calcium carbonate* (PCC) dikeringkan pada suhu 60°C selama 12 jam sebelum diukur massanya dan salah satu sample digunakan untuk uji *X-Ray Flourence*. Untuk percobaan biogas, gas hasil reaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan ditampung menggunakan *Tedlar Bag* untuk digunakan uji *Gas Chromatography*. Untuk percobaan CO_2 , gas keluaran hasil reaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan diukur langsung menggunakan *flow metter*.

III.3.2 Uji Kuantitatif Komposisi Biogas menggunakan *Gas Chromatography* (GC)

Kandungan CH_4 dan CO_2 pada biogas setelah melewati kolom gelembung dianalisa menggunakan gas chromatography tipe Shimadzu GC-2010 Plus (Kyoto, Japan) dengan *Thermal conductivity detector* (TCD). *Gas chromatography* (GC) merupakan alat untuk analisa konten dari macam-macam komponen dalam sampel. Fase gerak dari GC berupa gas inert (*carrier gas*) seperti helium, argon, atau nitrogen dan fase diamnya berupa gas. Hampir seluruh GC menggunakan kolom kapiler dimana fase diam menyelimuti dinding kolom.

Pemisahan komponen berdasarkan perbedaan kekuatan interaksi komponen dengan fase diam. Semakin kuat interaksi maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk melalui kolom (semakin lama *retention time*). Detektor akan mengukur kuantitas komponen-komponen yang keluar dari kolom. Untuk mengukur sampel dengan konsentrasi yang tidak diketahui, sampel standar yang diketahui konsentrasinya diinjeksi ke instrumen GC, kemudian puncak *retention time* dari sampel standar dibandingkan dengan sampel uji untuk menghitung konsentrasi sampel uji.



Gambar 3.3 Skema Alat *Gas Chromatography*

Analisa kuantitatif dilakukan pada gas chromatography yang dilengkapi dengan *thermal conductivity detector*. Separasi dilakukan dengan DB-WAX ultra inert *column* (30 m x 0,25 mm i.d.; dengan ketebalan film 0,25 μm). Temperatur injektor dan detector diatur pada suhu 50°C *split mode*. Carrier gas menggunakan N_2 dengan *flow rate* 3 mL/menit. Program temperatur oven: 50°C selama 3 menit.

III.3.3 Uji Kuantitatif Komposisi PCC menggunakan *X-Ray Fluorencene (XRF)*

Untuk mengetahui komposisi yang terdapat di dalam PCC yang di hasilkan, sampel dari keluaran reaktor kolom gelembung dikumpulkan untuk dianalisa menggunakan metode uji *X-Ray Fluorencene (XRF)*. Analisa menggunakan CRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena electron dalam atom target (sampel) terkena beras berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi pada energi ikat electron orbit K, L atau M atom target, maka electron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian

atom target akan mengalami kekosongan electron. Kekosongan electron ini akan diisi oleh electron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X.

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (discreet) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discreet yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

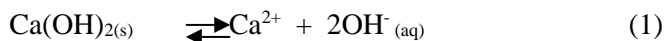
Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir biogas dan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap kualitas biogas yang dihasilkan dan kuantitas PCC yang terbentuk, mengetahui pengaruh tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam kolom gelembung dan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap proses karbonasi dan membandingkan proses karbonasi menggunakan biogas dan CO_2 murni. Biogas pada penelitian ini memiliki kandungan gas 67,8% metana (CH_4), 32,2% karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 murni digunakan sebagai pembanding. Sementara larutan biogas akan dikontakkan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ secara *counter current* dan kontinyu.

IV.1 Pengaruh Laju Alir Gas

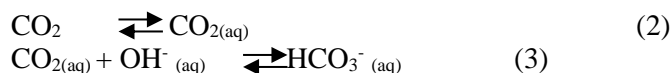
IV.1.1 Pengaruh Laju Alir Gas CO_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2

Pada penelitian ini, Gas Biogas akan dialirkan dari bawah kolom gelembung secara counter current terhadap larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dialirkan dari bagian atas kolom gelembung. Di dalam kolom gelembung akan terjadi reaksi antara Ca^{2+} bereaksi dengan CO_2 pada biogas untuk membentuk endapan CaCO_3 . Mekanisme pembentukan PCC dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

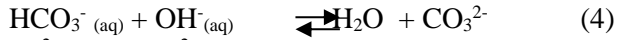
- a) Disolusi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi ion Ca^{2+} dan OH^-



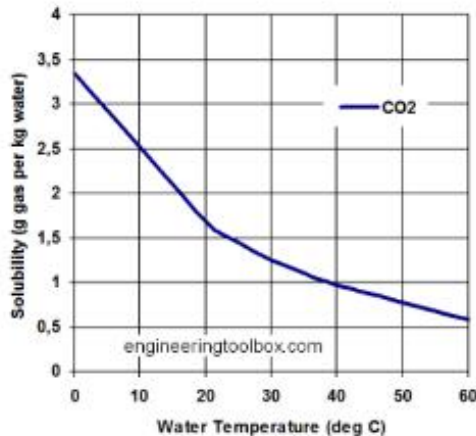
- b) Penyerapan CO_2 di dalam air



- c) Reaksi ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-}



Perubahan PH ketika proses karbonasi dibagi menjadi dua tahap: (1) laju penyerapan konstan dan (2) laju penurunan penyerapan (*falling rate*). Laju konstan terjadi ketika lebih dari 75% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berubah menjadi partikel PCC seiring dengan penambahan CO_2 yang diberikan ke dalam larutan, sedangkan tahap laju penurunan penyerapan (*falling rate*) terjadi saat pembentukan partikel PCC selesai. Menurunnya pH dengan cepat tergantung pada tingkat penurunan CO_2 . Pada tahap penyerapan CO_2 dalam air, CO_2 yang terserap dalam air ditunjukkan pada grafik berikut.



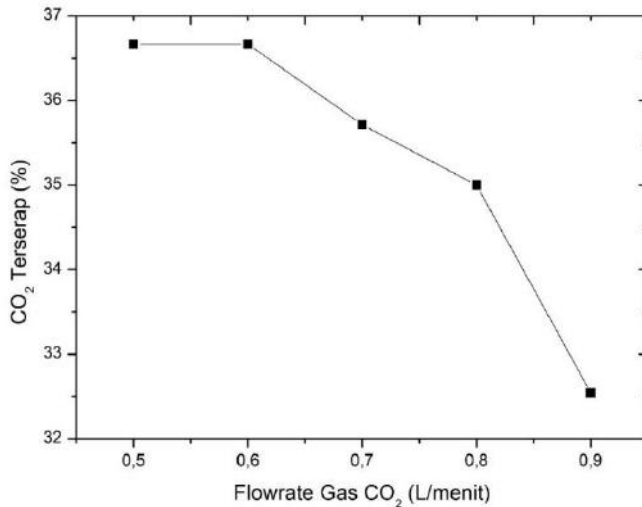
Gambar 4.a 1 Grafik Kelarutan gas CO_2 terhadap Suhu Air

Jumlah CO_2 yang terserap dalam 1 kg air adalah 1,3 gram CO_2 . Selanjutnya, CO_2 yang terlarut ini akan bereaksi dengan ion Ca^{2+} untuk membentuk endapan CaCO_3 . Reaksi inilah yang akan menyebabkan penurunan pH pada larutan. Perubahan pH larutan pada karbonasi telah dipelajari pada penelitian sebelumnya oleh Bang et al, 2011. Daerah hatched region (HR)

diidentifikasi dengan perubahan pH yang curam. Kecenderungan pH menunjukkan bahwa waktu terpendek yang dibutuhkan untuk mencapai HR terjadi pada laju penyerapan CO₂ yang besar atau disolusi CO₂ yang besar. Kenaikan laju disolusi CO₂ yang besar ini dapat terjadi dikarenakan terjadinya reaksi antara CO₂ dan Ca(OH)₂ yang selaras. Hal ini akan menyebabkan proses reaksi karbonasi berjalan dengan cepat.

Pengaruh laju alir gas terhadap penyerapan diamati pada laju alir CO₂ murni dan biogas yang bervariasi antara 0,1 sampai 0,5 LPM pada suhu ruang (30°C). Sedangkan konsentrasi, laju alir Ca(OH)₂, dan ketinggian larutan dijaga konstan masing-masing sebesar 3,06 gram/liter, 200 mL/menit dan 50 cm.

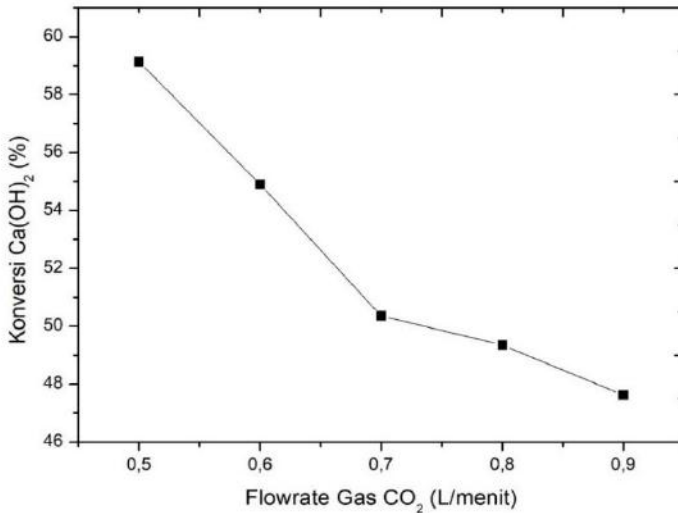
Secara umum, penyerapan yang terjadi antara gas CO₂ murni menunjukkan bahwa penyerapan CO₂ semakin menurun



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas CO₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO₂

ketika laju alir gas ditingkatkan. Hal ini bisa disebabkan semakin cepat laju alir gas yang semakin meningkat akan menyebabkan waktu kontak antara gas dan larutan semakin cepat, sehingga gas akan mudah keluar dari larutan sebelum terabsorpsi. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Dapat dilihat bahwa dengan ketinggian yang sama yaitu pada 50 cm dengan diameter lubang 0,5 mm dengan luas area aktif perforated plate 0,8 %, kecepatan supervisial gas pada laju alir 0,5-0,9 LPM masing-masing sebesar 25, 30, 35, 40 dan 45 cm/detik. Artinya semakin besar laju alir gas, maka semakin cepat pula waktu yang dibutuhkan gas untuk meninggalkan reaktor kolom gelembung, sehingga waktu kontak dengan liquid semakin cepat. Waktu kontak yang cepat ini mempengaruhi perubahan pH untuk menuju netral semakin cepat. Perubahan pH larutan pada karbonasi telah dipelajari pada penelitian sebelumnya oleh (Bonifalih & Imran, 2018). Dalam penelitiannya melaporkan semakin besar laju alir gas yang digunakan akan membuat perubahan pH menuju netral semakin cepat.

Dimana pada saat pH lebih dari 10, PCC terkonversi lebih banyak, karena ion karbonat dominan pada saat pH tersebut. Sebaliknya pada saat pH yang rendah presipitasi akan semakin berkurang dengan adanya H_2CO_3 tanpa adanya ion bikarbonat dan karbonat. Pada pH netral, ion bikarbonat terbentuk dan sulit membentuk karbonat dengan ion *divalent* sehingga akan sulit terbentuknya presipitasi membentuk $CaCO_3$ (Bang et al., 2011). Hal ini juga yang menyebabkan konversi yang didapat semakin rendah pada laju alir gas yang semakin meningkat, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas CO₂ terhadap Konversi Ca(OH)₂

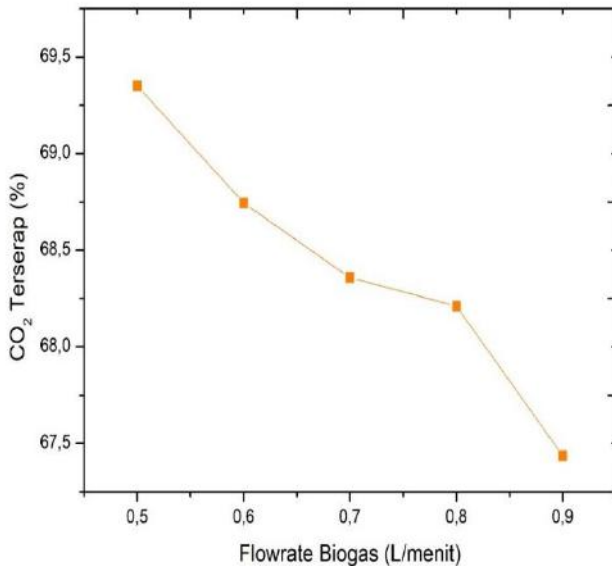
Seperti yang terlihat pada **Tabel 4.1**, proses karbonasi dengan menggunakan kolom gelembung ini, pada laju alir gas 0,5 LPM dengan konsentrasi Ca(OH)₂ 3,06 gram/liter larutan pada laju alir 200 mL/menit, didapat rasio mol Ca(OH)₂ dan CO₂ yang masuk yaitu rasio 0,370 ,kemampuan penyerapan yang bisa diberikan pada proses ini yaitu sebesar 36, 67%. Sedangkan ketika pada pada laju alir yang lebih besar pada 0,9 LPM didapat rasio mol Ca(OH)₂ dan CO₂ yang masuk yaitu 0,205 kemampuan penyerapan yang bisa diberikan pada proses ini yaitu sebesar 32,54%. Semakin cepat laju alir gas, akan memberikan rasio mol yang semakin kecil. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Tippayawong & Thanompongchart, 2010) menggunakan *packed column*, rasio mol yang digunakan antara Ca(OH)₂ dan CO₂ untuk mendapatkan kandungan CH₄ > 80% yaitu 2:1.

Tabel 4. 1 Rasio mol Ca(OH)_2 dan CO_2 Pada Variabel Laju Alir Gas untuk CO_2 Murni

Flowrate Gas (LPM)	Rasio $\text{Ca(OH)}_2/\text{CO}_2$ (mol/mol)	CO_2 terserap (%)
0,5	0,37	36,67
0,6	0,31	36,66
0,7	0,26	35,714
0,8	0,23	35
0,9	0,21	32,54

IV.1.2 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Proses Penyerapan CO_2

Secara umum **Gambar 4.3** menunjukkan penyerapan CO_2 yang terjadi pada biogas menunjukkan penurunan, ketika laju alir gas meningkat. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kandungan biogas terdiri dari 67,8% metana dan 32,2% karbon dioksida. Adanya kandungan metana yang besar, akan menjadikan inert dalam proses absorpsi CO_2 dalam larutan sehingga membatasi ruang gerak gas CO_2 untuk bereaksi dengan larutan Ca(OH)_2 meskipun gas metana tidak bereaksi dan mempengaruhi proses karbonasi melainkan berpengaruh terhadap waktu penyerapan, sehingga hasil penyerapan yang didapatkan cukup besar.



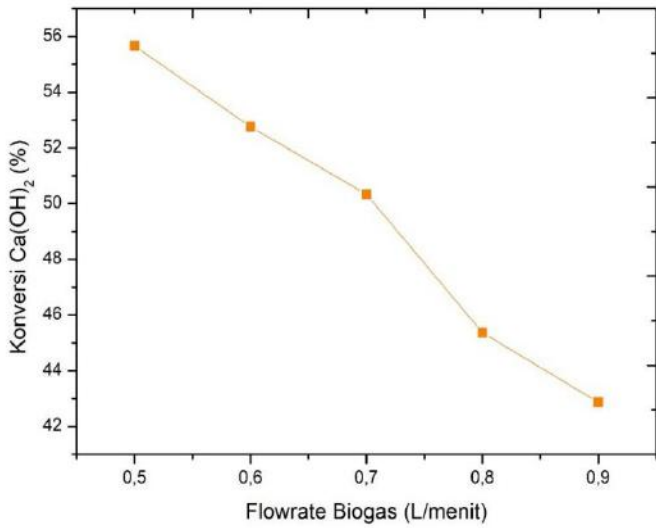
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Proses Penyerapan CO₂

Jika dilihat dari rasio mol antara Ca(OH)₂ dan CO₂ masuk pada **Tabel 4.2**, laju alir biogas 0,5 LPM memiliki rasio mol 1,15 dengan penyerapan CO₂ 69,351 %. Untuk mendapatkan penyerapan yang maksimal, Ca(OH)₂ yang masuk harus lebih besar dari CO₂ yang masuk dengan rasio lebih besar dari 1. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Tippayawong & Thanompongchart, 2010) menyebutkan untuk mendapatkan hasil penyerapan yang tinggi disarankan menggunakan konsentrasi absorbent yang rendah tetapi dengan meningkatkan *flowrate* absorbent dan menurunkan *flowrate* gas sehingga menghindari jumlah dosis absorbent yang terlalu tinggi

Tabel 4. 2 Rasio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CO_2 Pada Variabel Laju Alir Gas untuk Biogas

Flowrate Gas (LPM)	Rasio $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CO}_2$ (mol/mol)	CO_2 terserap %
0,5	1,150	69,351
0,6	0,959	68,744
0,7	0,822	68,358
0,8	0,719	68,210
0,9	0,639	67,436

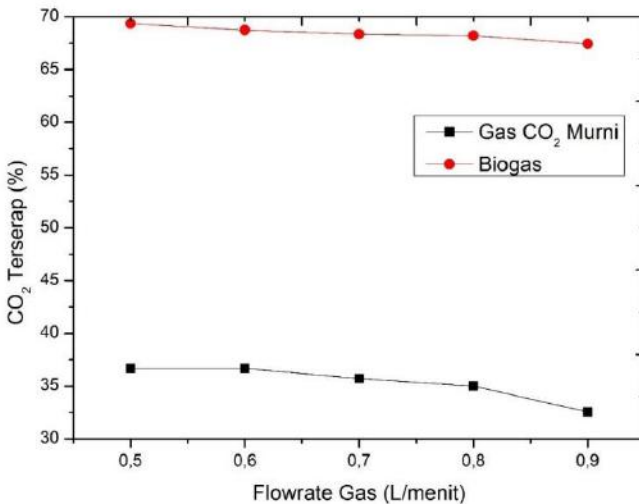
Pada **Gambar 4.4** menunjukkan bahwa semakin meningkat laju alir, konversi yang dihasilkan akan semakin kecil. Ketika laju alir gas ditingkatkan, maka kapasitas penyerapan oleh $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan rate yang konstan akan semakin menurun. Kapasitas penyerapan yang semakin menurun ini disebabkan karena ketika laju alir gas meningkat perubahan pH menjadi netral akan lebih cepat, artinya larutan absorben akan semakin jenuh. Keberadaan HCO_3^{2-} pada pH yang rendah menyebabkan pembentukan CaCO_3 semakin kecil, sehingga konversi akan menurun ketika laju alir gas ditingkatkan.



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Konversi

IV.1.3 Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO₂

Jika dibandingkan penyerapan gas CO₂ murni dan biogas, penyerapan pada CO₂ murni tidak terlalu signifikan dibandingkan pada biogas. Diketahui bahwa pada CO₂ murni, penyerapan dengan laju alir gas dari 0,5-0,9 LPM yaitu 36,67%, 36,66%, 35,71% dan 32,53%. Lain halnya dengan biogas dengan

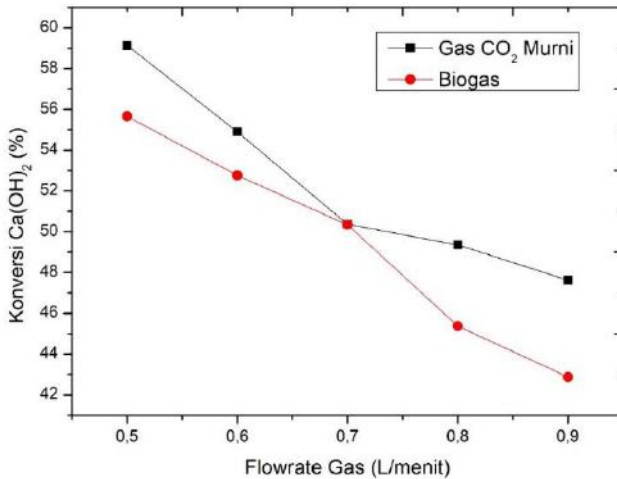


Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO₂ Murni terhadap Proses Penyerapan CO₂

laju alir gas dari 0,5-0,9 LPM, terjadi penyerapan yang signifikan yaitu 69,351%, 68,744%, 68,358%, 68,210%, 67,436%. Hal ini bisa terjadi disebabkan pengaruh perbedaan konsentrasi gas CO₂ antara biogas dan CO₂ murni. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Guo and Niu, 2011) melaporkan bahwa dengan adanya peningkatan konsentrasi gas CO₂ akan menurunkan efisiensi penyerapan.

Diketahui bahwa gaya penggerak fase gas dan koefisien perpindahan massa fase gas akan meningkat dengan meningkatnya tekanan parsial CO₂, untuk meningkatkan penyerapan. Jadi, peningkatan konsentrasi inlet CO₂ memungkinkan lebih banyak molekul CO₂ untuk melakukan perjalanan gas bulk ke antarmuka gas-cair, yang menghasilkan efisiensi penyerapan yang lebih tinggi. Namun, dengan konsentrasi flowrate masuk CO₂ meningkat, rasio mol absorben terhadap karbon dioksida menurun, yang menyebabkan pengurangan efisiensi. Dengan demikian, efisiensi penghilangan CO₂ menurun dengan konsentrasi flowrate masuk CO₂ meningkat (Guo and Niu, 2011).

Dalam paper yang dilakukan oleh Yong seng Han juga menyebutkan bahwa pengaruh kandungan CO₂ signifikan terhadap perubahan morfologi PCC yang terbentuk. Semakin tinggi kandungan CO₂ akan menyebabkan terbentuknya vaterit lebih banyak dibandingkan kalsit. Akan tetapi penyerapan yang terjadi lebih rendah jika menggunakan kandungan CO₂ yang tinggi.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Biogas dan CO₂ Murni terhadap Konversi Ca(OH)₂

Pada perbandingan data konversi Ca(OH)₂ di atas menunjukkan kecenderungan data yang sama antara percobaan dengan menggunakan karbon dioksida murni dan percobaan dengan menggunakan biogas. Terjadi kecenderungan penyerapan karbon dioksida di dalam biogas memiliki persentase yang lebih besar dibandingkan persentase penyerapan karbon dioksida pada percobaan dengan karbon dioksida murni yang dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.5. Grafik ini menunjukkan kesamaan pada grafik di variabel-variabel sebelumnya. Begitu juga pada grafik persentase konversi kalsium hidroksida menjadi endapan kalsium karbonat yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Kecenderungan yang sama ditunjukkan pada kedua kurva, akan tetapi konversi yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan biogas menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan dengan konversi menggunakan karbon dioksida murni. Hal ini dapat terjadi

dikarenakan pada laju alir yang sama antara biogas dan karbon dioksida murni, jumlah CO₂ yang terserap dalam larutan Ca(OH)₂ dengan biogas lebih sedikit dimana kandungan CO₂ dalam biogas sebesar 32,2%.

Tabel 4. 3 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Kandungan CO₂ dan CH₄ dalam Biogas

Laju Alir (L/menit)	Persentase CO ₂ Masuk	Persentase CO ₂ Keluar	Persentase CH ₄ Masuk	Persentase CH ₄ Keluar
0,5	32,2%	9,87%	67,8%	90,13%
0,6		10,06%		89,94%
0,7		10,19%		89,81%
0,8		10,23%		89,77%
0,9		10,48%		89,52%

Dari hasil analisa *gas chromatography*, komposisi antara CO₂ dan CH₄ dalam biogas inlet adalah 32,2% dan 67,8%. Komposisi ini berubah setelah proses karbonasi pada reaktor kolom gelembung. Komposisi CO₂ menurun menjadi 9,87%, 10,06%, 10,19%, 10,23%, dan 10,48% seiring dengan meningkatnya laju alir CO₂ dari 0,5-0,9 L/menit. Sedangkan komposisi CH₄ meningkat menjadi 90,13%, 89,94%, 89,81%, 89,77%, dan 89,52%.

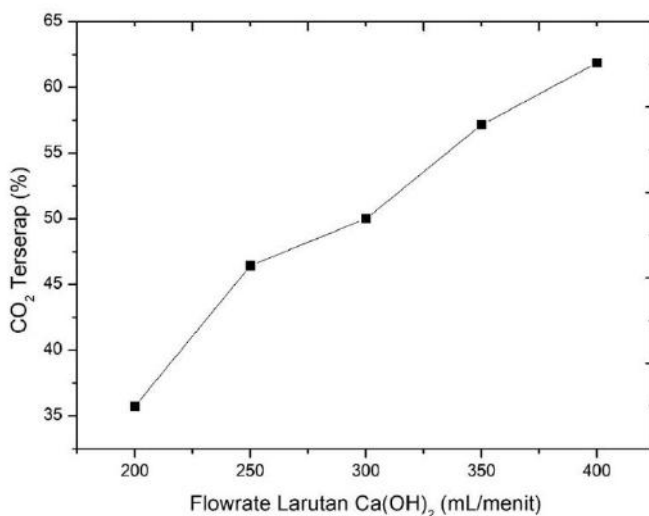
IV.2 Pengaruh Laju Alir Ca(OH)₂

IV.2.1 Pengaruh Laju Alir Ca(OH)₂ terhadap Proses Penyerapan CO₂ pada CO₂ Murni

Untuk mengetahui pengaruh laju alir Ca(OH)₂, maka divariasikan sebesar 200, 250, 300, 350, dan 400 mL/menit. Sedangkan konsentrasi Ca(OH)₂, laju alir gas, dan ketinggian larutan dijaga konstan masing-masing sebesar 3,06 gram Ca(OH)₂/liter, 0,7 LPM, dan 50 cm.

Proses absorpsi pada CO₂ murni menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan laju alir Ca(OH)₂ akan menaikkan

banyaknya CO_2 yang terserap. Penyerapan CO_2 terbanyak dihasilkan pada laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 400 mL/menit yaitu sebesar 61,9%. Pada beberapa penelitian seperti yang telah dilakukan oleh (Liu et al., 2015) menunjukkan bahwa penyerapan gas CO_2 akan semakin meningkat ketika laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditingkatkan. Dengan meningkatnya laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan meningkatkan friksi interface fase dan menurunkan tahanan ke liquid film sehingga akan menyebabkan difusi CO_2 dan laju reaksi meningkat.



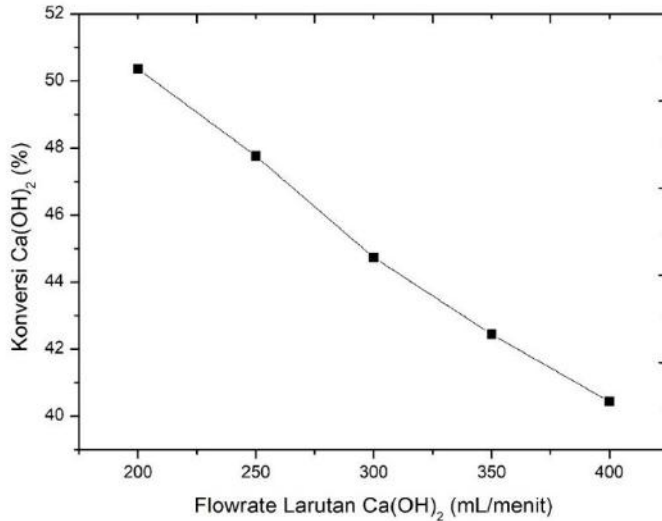
Gambar 4. 7 Pengaruh Laju Alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada CO_2 Murni

Jika dilihat dari rasio mol antara $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CO_2 masuk pada **Tabel 4.4**, laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 400 mL/menit memiliki rasio mol 0,529 dengan penyerapan CO_2 61,857%. Dengan konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang sama, pada laju alir absorben yang meningkat memberikan rasio mol yang semakin besar pula. Meningkatkan

penyerapan CO₂ dengan meningkatkan laju alir absorben menjadi pilihan yang efisien untuk menghindari penggunaan konsentrasi absorben yang tinggi. Hal ini akan berguna untuk mengurangi beban regenerasi dari absorben yang digunakan serta mengurangi penggunaan bahan baku CaO yang tersedia di alam.

Tabel 4. 4 Rasio Ca(OH)₂/CO₂ Pada Variabel Laju Alir Ca(OH)₂ untuk CO₂ Murni

Flowrate Ca(OH) ₂ mL/menit	Rasio Ca(OH) ₂ /CO ₂ (mol/mol)	CO ₂ terserap %
200	0,264	35,714
250	0,330	46,428
300	0,396	50
350	0,463	57,142
400	0,529	61,857

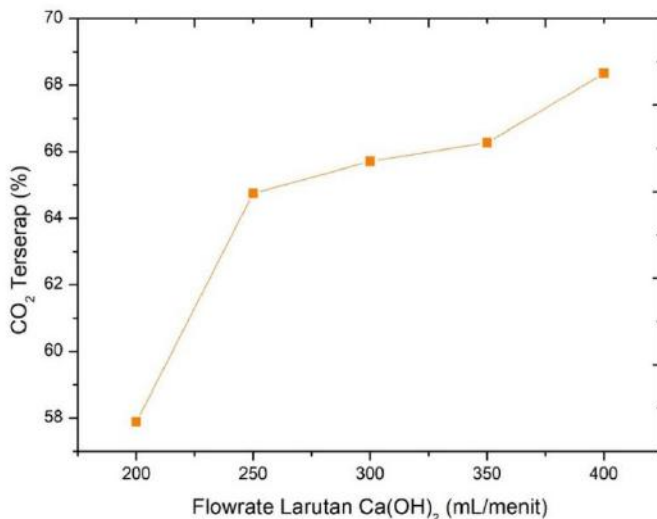


Gambar 4. 8 Pengaruh Laju Alir Ca(OH)₂ terhadap Konversi Ca(OH)₂ pada CO₂ Murni

Grafik di atas menunjukkan kecenderungan konversi Ca(OH)₂ yang menurun seiring dengan meningkatnya laju alir larutan Ca(OH)₂. Konversi Ca(OH)₂ menurun dari 50,36%, 47,77%, 44,73%, 42,45%, hingga 40,43% seiring dengan bertambahnya laju alir larutan Ca(OH)₂ dari 200 mL/menit hingga 400 mL/menit dengan interval 50 mL/menit. Hal ini terjadi karena pada laju alir gas yang sama, terdapat lebih banyak massa Ca(OH)₂ seiring bertambahnya laju alir larutan Ca(OH)₂ sehingga terjadi penurunan konversi Ca(OH)₂.

IV.2.2 Pengaruh Laju Alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas

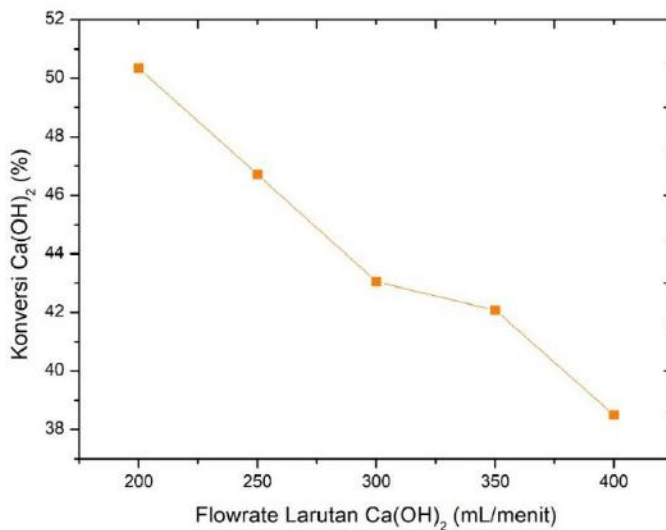
Pada **Gambar 4.9** menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan menaikkan banyaknya CO_2 yang terserap. Adanya inert yang cukup besar dalam biogas memberikan rasio mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CO_2 yang besar pada laju alir absorben yang semakin besar. Jika dilihat rasio mol antara $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CO_2 , pada **Tabel 4.5**, laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 400 mL/menit memiliki rasio mol 1,644 dengan penyerapan CO_2 68,350%. Kebutuhan absorben akan lebih besar jika pada inlet gas memiliki kandungan CO_2 yang lebih rendah, seperti pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yincheng dengan menggunakan *spray column* dan NaOH sebagai absorben. Untuk mendapatkan efisiensi penyerapan CO_2 90% rasio mol absorben dan CO_2 yang digunakan yaitu 4,43. Hal ini disebabkan kandungan CO_2 inlet yang digunakan yaitu sebesar 15%.



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Laju Alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas

Tabel 4. 5 Rasio $\text{Ca(OH)}_2/\text{CO}_2$ pada Variabel Laju Alir Ca(OH)_2 untuk Biogas

Flowrate Ca(OH)_2 (LPM)	Rasio $\text{Ca(OH)}_2/\text{CO}_2$ (mol/mol)	CO_2 terserap %
200	0,822	57,882%
250	1,027	64,747%
300	1,233	65,710%
350	1,438	66,269%
400	1,644	68,350%



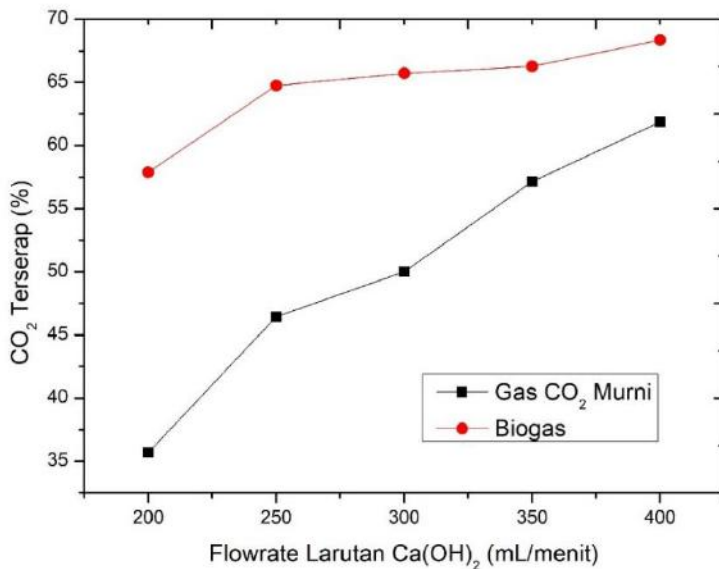
Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Laju Alir Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas

Grafik di atas menunjukkan kecenderungan konversi Ca(OH)_2 yang menurun seiring dengan meningkatnya laju alir larutan Ca(OH)_2 . Konversi Ca(OH)_2 menurun dari 50,34%, 46,71%, 43,05%, 42,08%, hingga 38,5% seiring dengan bertambahnya laju alir larutan Ca(OH)_2 dari 200 mL/menit hingga 400 mL/menit dengan interval 50 mL/menit. Hal ini terjadi karena pada laju alir gas yang sama, terdapat lebih banyak massa Ca(OH)_2 seiring bertambahnya laju alir larutan Ca(OH)_2 sehingga terjadi penurunan konversi Ca(OH)_2 .

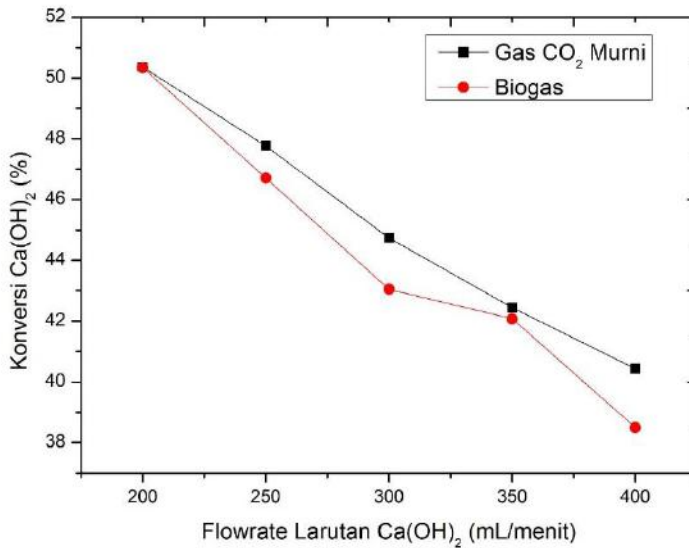
IV.2.3 Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni

Secara umum, pada **Gambar 4.11** menunjukkan bahwa ketika laju alir Ca(OH)_2 ditingkatkan, maka penyerapan CO_2 akan semakin besar. Jika dibandingkan penyerapan gas CO_2 murni dan biogas, penyerapan pada CO_2 murni tidak terlalu signifikan dibandingkan pada biogas. Diketahui bahwa pada CO_2 murni, penyerapan dengan laju alir Ca(OH)_2 dari 200-400 mL/menit yaitu 35,714%, 46,428 %, 50 %, 57, 142 % dan 61,857 %. Lain halnya dengan biogas pada laju Ca(OH)_2 gas dari 200-400 mL/menit, terjadi penyerapan yang signifikan yaitu 57,882 %, 64,747%, 65,710%, 66,269%, 68,350%. Hal ini bisa terjadi disebabkan pengaruh perbedaan konsentrasi gas CO_2 antara biogas dan CO_2 murni. Pada laju alir absorben yang rendah yaitu pada 200 mL/menit, rasio mol antara absorben dan CO_2 yaitu 0,264 dan 0,822 masing-masing pada CO_2 murni dan biogas dengan penyerapan CO_2 35,714% dan 57,882 %. Sedangkan pada laju alir Ca(OH)_2 400 mL/menit, menunjukkan penyerapan yang tidak jauh berbeda yaitu 61,857% dan 68,359% masing-masing pada CO_2 murni dan biogas. Dimana pada laju alir yang sama yaitu 400 mL/menit, rasio mol Ca(OH)_2 dan CO_2 pada biogas hampir 2 kali lipat dari CO_2 murni. Artinya rasio mol antara absorben dan CO_2

pada proses absorpsi gas yang memiliki kandungan inlet CO_2 yang lebih rendah, harus lebih besar dengan meningkatkan laju alir untuk mendapatkan penyerapan yang lebih tinggi.



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Pengaruh Laju Alir Ca(OH)₂ terhadap Konversi Ca(OH)₂ pada Biogas dan CO₂ Murni

Pada perbandingan data konversi Ca(OH)₂ di atas menunjukkan kecenderungan data yang sama antara percobaan dengan menggunakan karbon dioksida murni dan percobaan dengan menggunakan biogas. Terjadi kecenderungan penyerapan karbon dioksida di dalam biogas memiliki persentase yang lebih besar dibandingkan persentase penyerapan karbon dioksida pada percobaan dengan karbon dioksida murni yang dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.11. Grafik ini menunjukkan kesamaan pada grafik di variabel-variabel sebelumnya. Begitu juga pada grafik persentase konversi kalsium hidroksida menjadi endapan kalsium karbonat yang ditunjukkan pada gambar 4.12. Kecenderungan yang sama ditunjukkan pada kedua kurva, akan tetapi konversi yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan biogas

menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan dengan konversi menggunakan karbon dioksida murni. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang sama, jumlah CO_2 yang terserap dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan biogas lebih sedikit dimana kandungan CO_2 dalam biogas sebesar 32,2%.

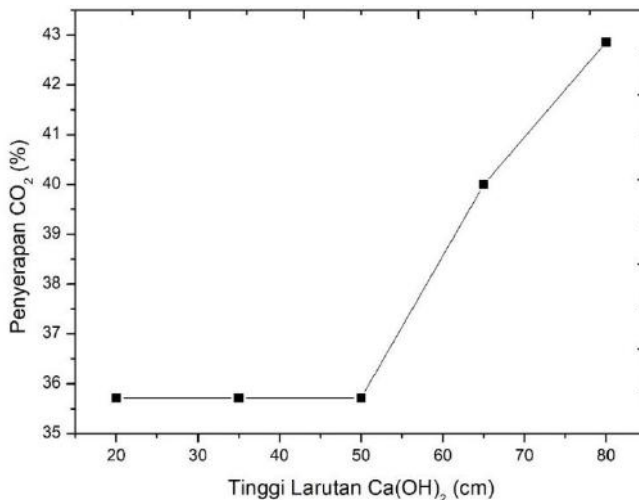
Tabel 4. 6 Pengaruh Laju Alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Kandungan CO_2 dan CH_4 dalam Biogas

Laju Alir (L/menit)	Persentase CO_2 Masuk	Persentase CO_2 Keluar	Persentase CH_4 Masuk	Persentase CH_4 Keluar
200	32,2%	13,56%	67,8%	86,44%
250		11,35%		88,65%
300		11,04%		88,96%
350		10,86%		89,14%
400		10,19%		89,81%

Dari hasil analisa *gas chromatography*, komposisi antara CO_2 dan CH_4 dalam biogas inlet adalah 32,2% dan 67,8%. Komposisi ini berubah setelah proses karbonasi pada reaktor kolom gelembung. Komposisi CO_2 menurun menjadi 13,56%, 11,35%, 11,04%, 10,86%, dan 10,19 % seiring dengan meningkatnya laju alir larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari 200-400 mL/menit. Sedangkan komposisi CH_4 meningkat menjadi 86,44%, 88,65%, 88,96%, 89,14%, dan 89,81%.

IV.3 Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

IV.3.1 Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada CO_2 Murni



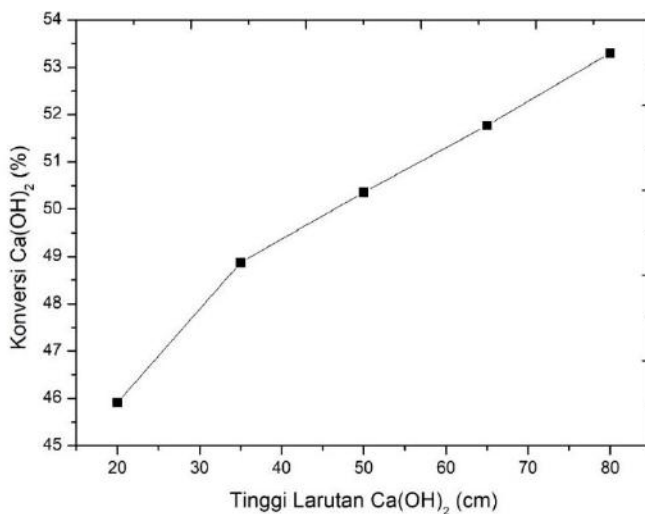
Gambar 4. 13 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada CO_2 Murni

Ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bervariasi dari 20 cm hingga 80 cm dengan interval 15 cm. Pemilihan variabel ketinggian pada 20 cm, 35 cm, 50 cm, 65 cm, dan 80 cm ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyerapan CO_2 pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan perbedaan volume larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tersebut seiring dengan perbedaan ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kolom. Sedangkan ketinggian maksimum pada variabel ini adalah 80 cm karena tinggi reaktor kolom gelembung sebesar 100 cm.

Kondisi operasi lain yang ditetapkan pada variabel ini adalah antara lain laju alir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 200 mL/menit, laju alir gas CO_2 0,7 L/menit, dan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 3,06 gr/L. Berdasarkan perhitungan, kondisi operasi ini akan bereaksi sempurna pada tinggi kolom 50 cm. Oleh karena itu, pada variabel

ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh penyerapan CO_2 pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saat tinggi larutan diturunkan dan ditingkatkan.

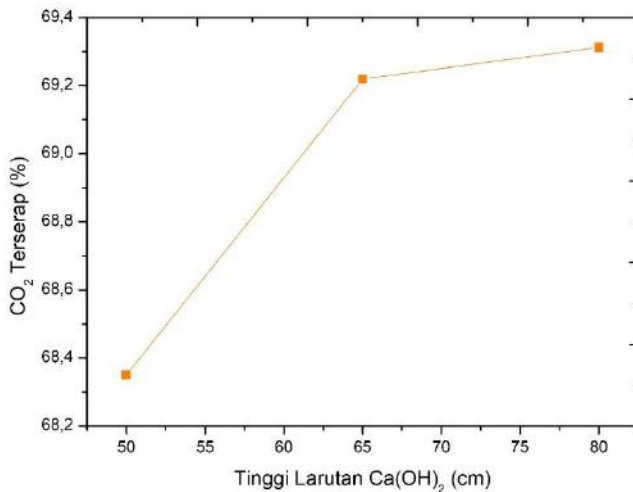
Gambar 4.13 menunjukkan bahwa penyerapan CO_2 pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di ketinggian 20 cm sama dengan ketinggian 35 cm dan 50 cm sebesar 35,7%. Sedangkan penyerapan CO_2 pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di ketinggian 50 cm hingga 80 cm naik perlahan dari 35,7%, 40%, hingga 42,9%. Grafik di atas menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menghasilkan penyerapan CO_2 yang lebih baik. Hal ini disebabkan semakin tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menghasilkan waktu tinggal yang semakin lama dan meningkatnya luas *interfacial*. Hasil yang serupa juga didapatkan pada penelitian (Liu et al., 2015). Sedangkan pada ketinggian 20 cm hingga 50 cm tidak menunjukkan adanya perubahan penyerapan CO_2 dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.



Gambar 4. 14 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada CO_2 Murni

Grafik di atas menunjukkan semakin tinggi larutan Ca(OH)_2 akan meningkatkan konversi Ca(OH)_2 yang diperoleh. Konversi meningkat dari 45,9%, 49%, 50,36%, 51,77% hingga 53,3% seiring dengan meningkatnya ketinggian 20 cm hingga 80 cm. Hal ini sejalan dengan gambar 13 dimana semakin tinggi penyerapan CO_2 dalam larutan Ca(OH)_2 akan meningkatkan konversi Ca(OH)_2 pula.

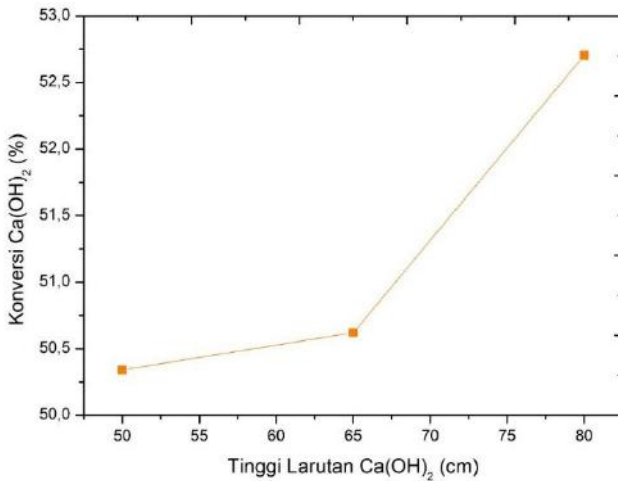
IV.3.2 Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas



Gambar 4. 15 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas

Pada variabel biogas, ketinggian larutan Ca(OH)_2 bervariasi dari 50 cm hingga 80 cm dengan interval 15 cm.

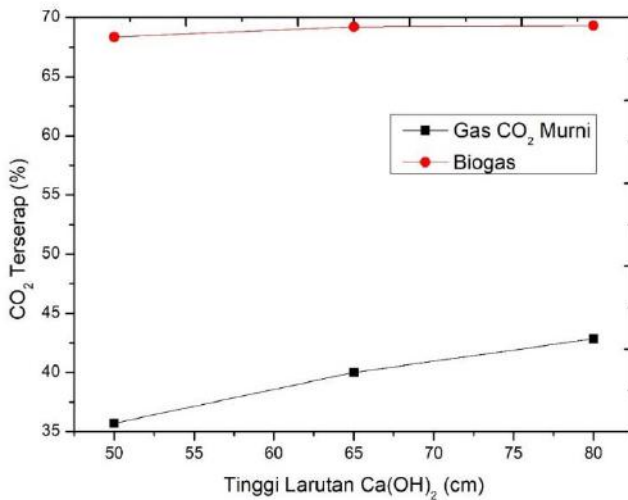
Pemilihan variabel ketinggian pada 50 cm, 65 cm, dan 80 cm ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyerapan CO₂ dalam biogas pada larutan Ca(OH)₂ dengan perbedaan volume larutan Ca(OH)₂ tersebut seiring dengan perbedaan ketinggian larutan Ca(OH)₂ pada kolom. Sedangkan ketinggian minimum pada variabel ini adalah 50 cm karena pada gambar 13 menunjukkan bahwa tinggi reaktor kolom gelembung di bawah 50 cm tidak memberikan pengaruh pada penyerapan CO₂ dalam larutan Ca(OH)₂. Kondisi operasi lain yang ditetapkan pada variabel ini adalah antara lain laju alir Ca(OH)₂ 200 mL/menit, laju alir biogas 0,7 L/menit, dan konsentrasi larutan Ca(OH)₂ 3,06 gr/L. Grafik di atas menunjukkan meningkatnya penyerapan CO₂ dalam larutan Ca(OH)₂ dari 68,35%, 69,22% hingga 69,31%.



Gambar 4. 16 Grafik Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)₂ terhadap Konversi Ca(OH)₂ pada Biogas

Grafik di atas menunjukkan semakin tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan meningkatkan konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diperoleh. Konversi meningkat dari 50,3%, 50,62% hingga 52,7% seiring dengan meningkatnya ketinggian 50 cm hingga 80 cm. Hal ini sejalan dengan gambar 15 dimana semakin tinggi penyerapan CO_2 dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan meningkatkan konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pula.

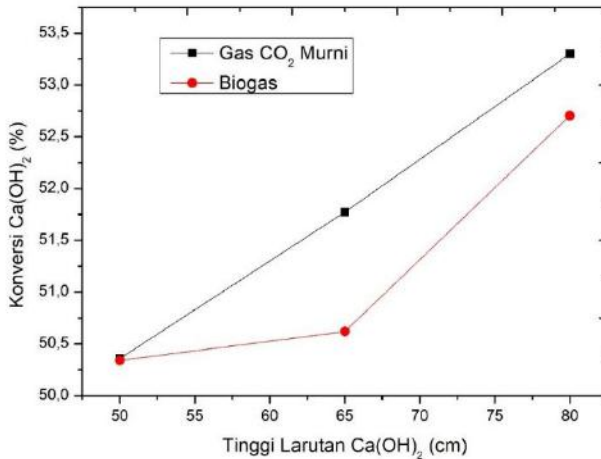
IV.3.3 Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni

Gambar di atas menunjukkan perbandingan CO_2 yang terserap dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oleh gas CO_2 murni dan biogas. Kedua kurva menunjukkan kecenderungan yang sama yakni peningkatan CO_2 terserap seiring dengan meningkatnya ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Namun persentase CO_2 terserap antara kedua kurva berbeda. Kurva penyerapan CO_2 dengan gas CO_2 murni menunjukkan peningkatan dari 35,7% hingga 42%. Sedangkan kurva penyerapan CO_2 dengan biogas menunjukkan peningkatan dari 68,35% hingga 69,3%.

Pada penelitian ini, nilai CO_2 yang terserap dengan biogas lebih tinggi persentasenya hingga dua kali lipat dari gas CO_2 murni. Hal ini disebabkan oleh terdapatnya campuran gas lain pada biogas seperti CH_4 dan H_2 yang tidak bereaksi terhadap larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehingga campuran gas lain pada biogas berfungsi sebagai inert. Terdapatnya inert pada gas memberikan dampak positif dalam meningkatkan penyerapan CO_2 dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Dengan adanya inert, dapat meningkatkan *gas hold-up* pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehingga waktu kontak gas pada larutan semakin lama dan penyerapan CO_2 lebih maksimal.



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Pengaruh Tinggi Larutan Ca(OH)₂ terhadap Konversi Ca(OH)₂ pada Biogas dan CO₂ Murni

Gambar di atas menunjukkan perbandingan konversi Ca(OH)₂ yang diperoleh menggunakan gas CO₂ murni dan biogas. Kedua kurva menunjukkan kecenderungan yang sama yakni peningkatan konversi Ca(OH)₂ seiring dengan meningkatnya ketinggian larutan Ca(OH)₂. Namun konversi Ca(OH)₂ yang diperoleh antara kedua kurva berbeda. Kurva konversi Ca(OH)₂ dengan gas CO₂ murni menunjukkan peningkatan dari 50,36% hingga 53,3%. Sedangkan kurva konversi Ca(OH)₂ dengan biogas menunjukkan peningkatan dari 50,34% hingga 57%.

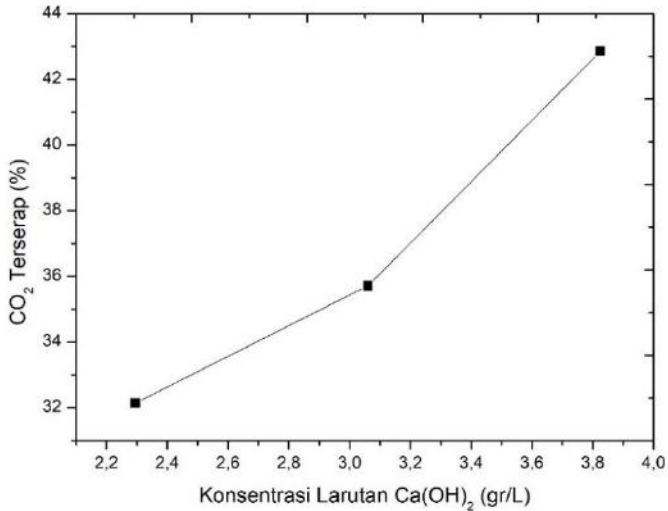
Pada penelitian ini, persentase konversi Ca(OH)₂ yang diperoleh dengan biogas lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan gas CO₂ murni. Hal ini disebabkan oleh lebih sedikitnya jumlah CO₂ terserap dalam larutan Ca(OH)₂ pada biogas dibandingkan dengan menggunakan gas CO₂ murni.

IV.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)₂

IV.4.1 Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)₂ terhadap Proses Penyerapan CO₂ pada CO₂ Murni

Efek dari konsentrasi kalsium hidroksida pada pengurangan karbon dioksida murni menggunakan kolom gelembung Ca(OH)₂ secara kontinyu pada penelitian ini dilakukan dengan variabel konsentrasi 2,295 gram/Liter, 3,06 gram/Liter, dan 3,825 gram/Liter. Laju alir kalsium hidroksida dijaga konstan pada 200 mL Ca(OH)₂/menit. Begitu juga laju alir untuk gas karbon dioksida murni dijaga konstan pada 0,7 L/menit. Untuk ketinggian larutan pada kolom gelembung diatur pada ketinggian 50 cm untuk eksperimen di ketiga konsentrasi.

Persentase gas terserap ditunjukkan pada sumbu-Y dan konsentrasi larutan kalsium hidroksida pada sumbu-X, sehingga menghasilkan grafik pada **Gambar 4.19**. Grafik ini menunjukkan peningkatan karbon dioksida terserap untuk setiap kenaikan konsentrasi kalsium hidroksida yang digunakan. Pada konsentrasi larutan Ca(OH)₂ 2,295 gram/Liter menunjukkan persentase konversi CO₂ terserap sebesar 32.14% dan mengalami peningkatan hingga pada konsentrasi larutan Ca(OH)₂ 3.825 gram/Liter menunjukkan persentase penyerapan CO₂ sebesar 42.86%.



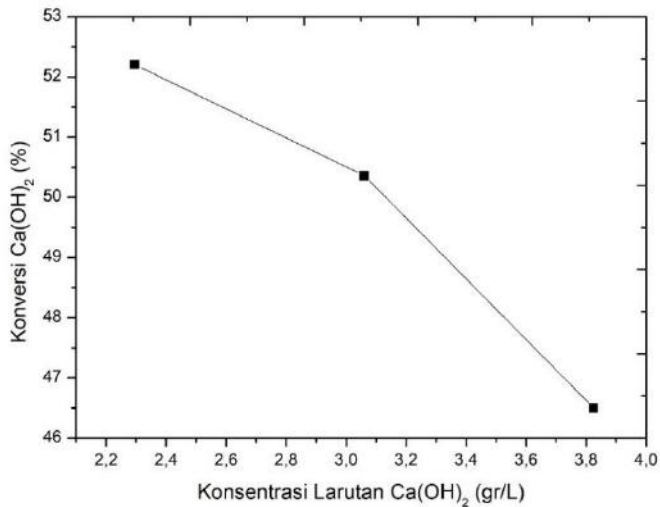
Gambar 4. 19 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)₂ terhadap Proses Penyerapan CO₂ pada CO₂ Murni

Pada kenyataannya, kelarutan dari kalsium hidroksida cenderung rendah yaitu 1,53 gram/L larutan. Namun, saat reaksi antara karbon dioksida dan kalsium hidroksida di dalam kolom gelembung dimulai, kalsium hidroksida yang terlarut di dalam air akan secara konstan dikonsumsi, dan fase *solid* yang belum terlarut di awal akan secara kontinyu terlarut. Kalsium hidroksida bereaksi dengan karbon dioksida berdasarkan reaksi berikut : Dimana reaksi ini secara ionik dapat direpresentasikan sebagai berikut:



berdasarkan reaksi antara karbon dioksida dan kalsium hidroksida ini, dapat diamati bahwa peningkatan konsentrasi larutan membuat semakin meningkatnya ion OH^- yang ada di dalam larutan dan hal ini akan menimbulkan peningkatan jumlah karbon dioksida yang terserap. Semakin banyak karbon dioksida yang terserap, jumlah dari ion $\text{CO}_3^{2-(s)}$ juga mengalami peningkatan.

Akan tetapi hal ini berbanding terbalik dengan konversi kalsium hidroksida yang berubah menjadi endapan kalsium karbonat (PCC). Untuk peningkatan konsentrasi kalsium hidroksida, konversi menjadi PCC mengalami penurunan. Konversi kalsium hidroksida menjadi PCC dihitung berdasarkan massa hasil PCC yang didapatkan berbanding dengan massa kalsium hidroksida awal. Walaupun massa hasil PCC mengalami peningkatan untuk konsentrasi kalsium hidroksida yang meningkat, namun faktor pembaginya (massa kalsium hidroksida) juga ikut meningkat. Hal ini membuat konversi kalsium hidroksida mengalami penurunan seiring meningkatnya konsentrasi kalsium hidroksida yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada grafik di



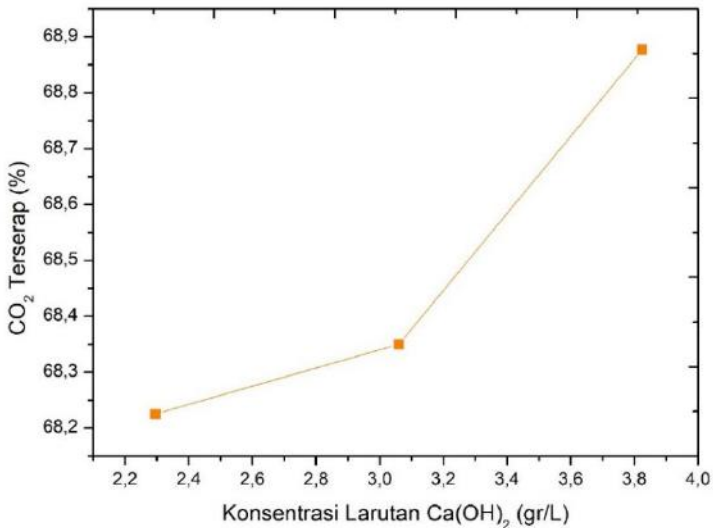
Gambar 4. 20 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada CO_2 Murni

IV.4.2 Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas

Penelitian yang sama juga dilakukan dengan mengganti gas yang digunakan menjadi biogas untuk melihat pengaruh konsentrasi kalsium hidroksida saat bereaksi dengan karbon dioksida. Efek dari konsentrasi kalsium hidroksida pada pengurangan karbon dioksida pada biogas ini dilakukan dengan kolom gelembung Ca(OH)_2 secara kontinyu. Pada penelitian variabel konsentrasi yang digunakan adalah sama seperti penelitian dengan menggunakan karbon dioksida murni yaitu 2,295 gram/Liter, 3,06 gram/Liter, dan 3,825 gram/Liter. Laju alir Ca(OH)_2 dibuat konstan pada 200 mL Ca(OH)_2 /menit dan laju alir untuk gas CO_2 dibuat konstan pada 0.7 L gas/menit. Untuk ketinggian larutan pada kolom gelembung diatur pada ketinggian

50 cm untuk eksperimen di ketiga konsentrasi. Variabel tetap pada penelitian dengan biogas diatur sama seperti pada penelitian dengan karbon dioksida murni agar nantinya hasil dari kedua penelitian ini dapat dibandingkan.

Konsentrasi biogas sebelum dan sesudah dialirkan ke dalam kolom gelembung kalsium hidroksida diuji menggunakan *Gas Chromatography* untuk mengetahui komposisi karbon dioksida di dalam biogas. Didapatkan perbedaan persentase komposisi karbon dioksida setelah dialirkan ke dalam kolom gelembung dikarenakan terjadinya penyerapan karbon dioksida pada larutan kalsium hidroksida. Penambahan konsentrasi kalsium hidroksida membuat penyerapan karbon dioksida menjadi lebih besar.



Gambar 4. 21 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas

Persentase gas terserap ditunjukkan pada sumbu-Y dan konsentrasi larutan Ca(OH)_2 pada sumbu-X, sehingga menghasilkan grafik pada **Gambar 4.21**. Di grafik ini menunjukkan peningkatan CO_2 terserap untuk kenaikan konsentrasi Ca(OH)_2 yang digunakan. Pada konsentrasi larutan Ca(OH)_2 2,295 gram/Liter menunjukkan persentase konversi CO_2 terserap sebesar 68,23% dan mengalami peningkatan hingga pada konsentrasi larutan Ca(OH)_2 3,825 gram/Liter yang menunjukkan persentase penyerapan CO_2 sebesar 68,87%.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bonif dan Fuad, tipe dari perubahan pH pada larutan Ca(OH)_2 dapat diklasifikasikan ke tiga periode. Pada periode awal, pH akan menunjukkan penurunan yang relatif lambat. Pada periode kedua terjadi peningkatan yang cukup drastis pada pH larutan dalam jangka waktu yang kecil. Dan selanjutnya akan terlihat pH menunjukkan kestabilan. Penyerapan CO_2 pada kolom gelembung juga akan bergantung pada fasa-fasa pH tersebut.

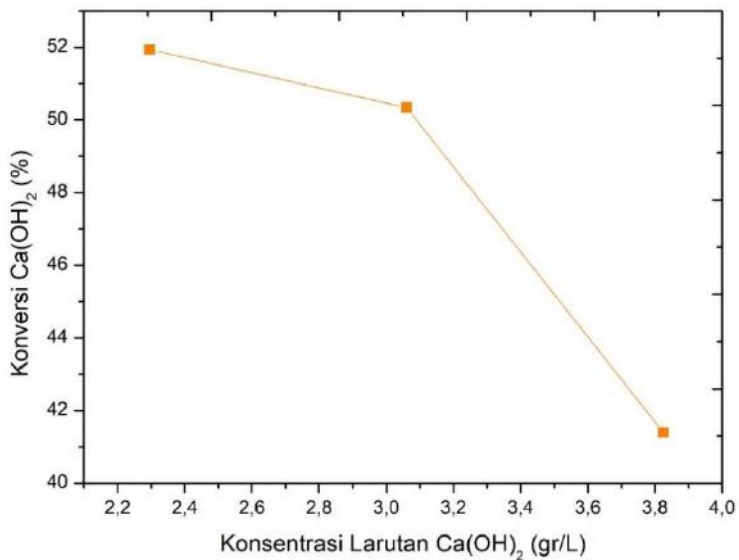
Pembentukan ion karbonat yang nantinya akan terendapkan bersama dengan mineralnya, dalam penelitian ini adalah kalsium, dominan terjadi pada pH yang lebih tinggi. Dengan kata lain, pada saat pH relatif rendah, pengendapan terjadi dalam jumlah yang lebih sedikit dikarenakan adanya senyawa H_2CO_3 tanpa adanya ion karbonat ataupun ion bikarbonat. Di saat rentang pH netral, terdapat ion bicarbonate di dalam larutan dan akan membuat kecenderungan untuk lebih sulit terbentuknya mineral karbonat dengan kation *divalent*.

Pada tahap awal, ion kalsium dari kalsium hidroksida akan terkonversi menjadi endapan kalsium karbonat saat nilai pH tinggi dengan menghasilkan ion hidroksida yang akan menjaga level pH pada larutan tetap tinggi. Kondisi ini akan menstabilkan ion karbonat yang membantu terjadinya pengendapan sampai pelarutan berakhir. Konsumsi ion kalsium untuk pengendapan akan terjadi secara simultan setelahnya. Konsumsi ion hidroksida tanpa adanya suplementasi menghasilkan penurunan pH yang sangat cepat untuk pembentukan ion bikarbonat, daerah ini

dinamakan hatched region. Di tahap inilah penyerapan CO_2 oleh larutan kalsium hidroksida untuk membentuk endapan kalsium karbonat akan berlangsung efektif (Jun-hwang bang, 2011). Fenomena yang terjadi di dalam kolom gelembung inilah yang menjadi alasan konversi penyerapan karbon dioksida meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi. Dalam arti lain, kualitas dari biogas akan meningkat dikarenakan karbon dioksida berhasil dipisahkan dari biogas. Rata-rata biogas yang dihasilkan mempunyai kandungan karbon dioksida sebesar 10% dari persentase karbon dioksida awal sebesar 32,2%.

Akan tetapi, tren untuk konversi kalsium hidroksida menjadi endapan kalsium carbonate pada penelitian dengan menggunakan biogas mengalami penurunan seperti hasil penelitian menggunakan karbon dioksida murni. Penurunan persentase konversi ini dapat dilihat pada grafik di **Gambar 4.22**. Walaupun massa endapan kalsium karbonat mengalami peningkatan untuk konsentrasi yang lebih besar seperti yang tertera pada **Tabel 4.7**,

namun faktor pembagiannya yaitu massa kalsium hidroksida awal juga lebih besar.



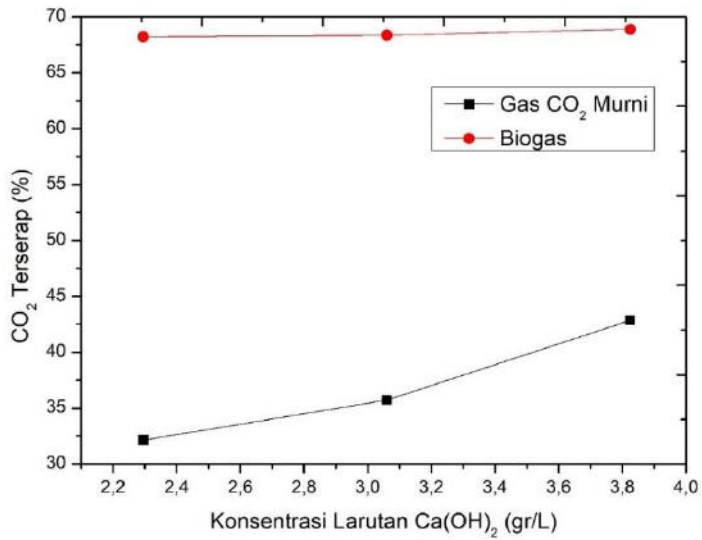
Gambar 4. 22 Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas

Tabel 4. 7 Data massa Ca(OH)_2 dan PCC yang terbentuk

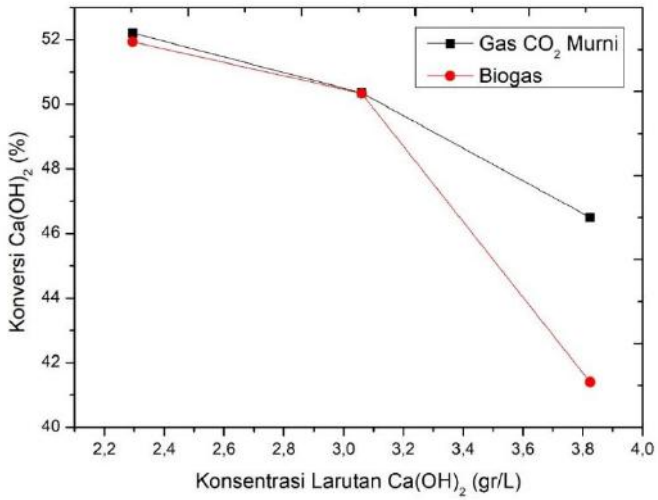
No	Variabel Konsentrasi Ca(OH)_2 (gram/Liter)	Massa Ca(OH)_2 (gram)	Massa PCC (gram)
1	2,295	11,48	8,057
2	3,06	15,3	14,408
3	3,825	19,125	19,125

IV.4.3 Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni

Pada perbandingan data konversi karbon dioksida atau karbon dioksida terserap menunjukkan trend data yang sama antara percobaan dengan menggunakan karbon dioksida murni dan percobaan dengan menggunakan biogas. Terjadi kecenderungan penyerapan karbon dioksida didalam biogas memiliki persentase yang lebih besar dibandingkan persentase penyerapan karbon dioksida pada percobaan dengan karbon dioksida murni yang dapat dilihat pada grafik di **gambar 4.23**. Grafik ini menunjukkan kesamaan pada grafik di variabel-variabel sebelumnya. Begitu juga untuk grafik persentase konversi kalsium hidroksida menjadi endapan kalsium karbonat, trend yang sama ditunjukkan pada kedua jenis penelitian, akan tetapi konversi yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan biogas menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan konversi menggunakan karbon dioksida murni, hal ini dapat terjadi dikarenakan dalam *flowrate* yang sama, kandungan karbon dioksida pada biogas hanya 32,2% dari kandungan totalnya, lebih kecil dibandingkan menggunakan karbon dioksida murni. Perbandingan ini dapat dilihat pada grafik di gambar 4.24.

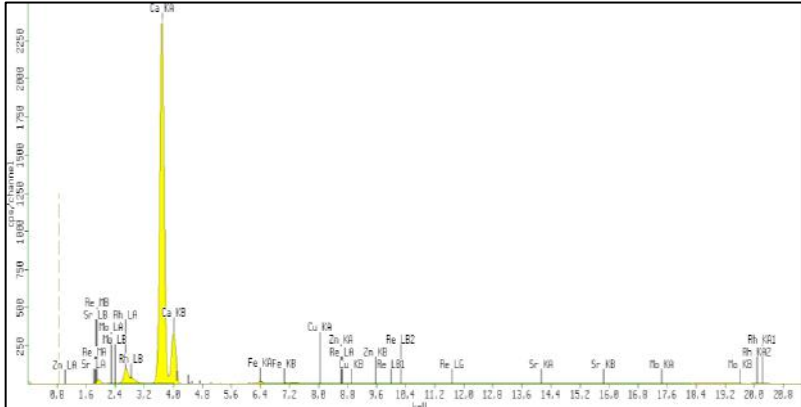


Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Proses Penyerapan CO_2 pada Biogas dan CO_2 Murni



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ca(OH)_2 terhadap Konversi Ca(OH)_2 pada Biogas dan CO_2 Murni

IV.5 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF



Gambar 4. 25 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF

Data XRF di atas diambil pada sampel *precipitated calcium carbonate* (PCC) yang diperoleh dari reaksi antara larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan gas CO_2 murni pada variabel tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 65 cm. Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dibuat dari $\text{Ca}(\text{OH})_2$ padat dengan komposisi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di atas 95%. Reaksi dilakukan dengan perbandingan mol larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan gas CO_2 yang sama (tidak ada reaktan berlebih) sehingga diharapkan reaksi berjalan sempurna.

Tabel 4. 8 Komposisi PCC yang dihasilkan melalui uji XRF

Unsur	Persentase (%)
Ca	99,425
Fe	0,355
Cu	0,0855
Zn	0,02
Sr	0,0525
Mo	0,02
Re	0,0375
Total	99,9955

Dari data XRF menunjukkan bahwa PCC yang dihasilkan memiliki unsur penyusun utama Ca sebesar 99,425% dengan total persentase unsur-unsur lain seperti Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, dan Re di bawah 1%. Hal ini sesuai dengan komposisi reaktan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang murni sebesar 95% dan reaksi yang berjalan sempurna sehingga PCC yang dihasilkan optimum sebesar 99,425%. Sedangkan unsur-unsur lain yang terdapat pada PCC (Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, dan Re) merupakan *impurities*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju alir gas berpengaruh terhadap penyerapan CO₂ dalam larutan Ca(OH)₂ dan konversi Ca(OH)₂ menjadi PCC. Semakin tinggi laju alir gas, penyerapan CO₂ baik pada CO₂ murni dan biogas akan semakin rendah. Sama halnya dengan konversi yang dihasilkan. Semakin tinggi laju alir gas, konversi Ca(OH)₂ baik pada CO₂ murni dan biogas akan semakin rendah. Akan tetapi penyerapan CO₂ pada biogas memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada CO₂ murni.
2. Semakin tinggi laju alir gas, akan menghasilkan rasio Ca(OH)₂/CO₂ yang semakin rendah sehingga penyerapan CO₂ juga akan semakin rendah. Meningkatkan *flowrate* absorbent dan menurunkan *flowrate* gas dapat menghasilkan penyerapan yang tinggi konsentrasi absorbent yang rendah.
3. Laju alir larutan Ca(OH)₂ berpengaruh terhadap penyerapan CO₂ dalam larutan Ca(OH)₂ dan konversi Ca(OH)₂ menjadi PCC. Semakin tinggi laju alir larutan Ca(OH)₂, penyerapan CO₂ baik pada CO₂ murni dan biogas akan semakin tinggi. Sedangkan, konversi yang dihasilkan akan semakin rendah. Akan tetapi penyerapan CO₂ pada biogas memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada CO₂ murni.
4. Semakin tinggi laju alir larutan Ca(OH)₂, akan menghasilkan rasio Ca(OH)₂/CO₂ yang semakin tinggi sehingga penyerapan CO₂ juga akan semakin tinggi.
5. Penyerapan pada CO₂ murni dengan laju alir Ca(OH)₂ 400 mL/menit memiliki rasio mol 0,529 dengan penyerapan CO₂ 61,857%. Sedangkan penyerapan pada biogas dengan laju alir Ca(OH)₂ 400 mL/menit memiliki rasio mol 1,644

dengan penyerapan CO_2 68,350%. Kebutuhan absorben akan lebih besar jika pada inlet gas memiliki kandungan CO_2 yang lebih rendah.

6. Tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kolom berpengaruh terhadap penyerapan CO_2 dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi PCC. Semakin tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kolom, penyerapan CO_2 baik pada CO_2 murni dan biogas akan semakin tinggi. Sama halnya dengan konversi yang dihasilkan. Semakin tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kolom, konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ baik pada CO_2 murni dan biogas akan semakin tinggi. Akan tetapi penyerapan CO_2 pada biogas memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada CO_2 murni.
7. Konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berpengaruh terhadap penyerapan CO_2 dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi PCC. Semakin tinggi konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, penyerapan pada CO_2 murni dan biogas akan semakin tinggi. Akan tetapi penyerapan CO_2 pada biogas memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada CO_2 murni meskipun peningkatan tidak signifikan. Sedangkan, konversi yang dihasilkan pada CO_2 murni dan biogas semakin rendah.
8. Hasil analisa XRF menunjukkan bahwa komposisi utama dari PCC yang dihasilkan adalah unsur Ca dengan persentase 99,425%.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Untuk menjaga kestabilan dari tekanan biogas yang keluar, perlu ditambahkan *pressure regulator* pada tabung biogas.
2. Perlu adanya *gas detector* untuk mengetahui komposisi biogas yang keluar secara *real time*.
3. Untuk menjaga kestabilan *flowrate* larutan yang masuk dan keluar kolom gelembung, perlu ditambahkan pompa pada aliran keluar larutan.
4. Untuk menjaga kestabilan distribusi gelembung gas, perlu adanya *sparger* untuk menghasilkan *micro-bubble*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bang, J.-H., Jang, Y. N., Kim, W., Song, K. S., Jeon, C. W., Chae, S. C., ... Lee, M. G. (2011). Precipitation of calcium carbonate by carbon dioxide microbubbles. *Chemical Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.021>
- Bonifalih, H. P., & Imran, F. M. (2018). *Pemurnian Biogas menjadi Biometana dan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dengan Metode Bubble Coloumn*. Surabaya.
- Cavenati, S., Grande, C. A., & Rodrigues, A. E. (2005). Upgrade of Methane from Landfill Gas by Pressure Swing Adsorption. *Energy & Fuels*. <https://doi.org/10.1021/ef050072h>
- Cuéllar-Franca, R. M., & Azapagic, A. (2015). Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO2 Utilization*.
<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2014.12.001>
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2010). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Second Edition*.
Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Second Edition.
<https://doi.org/10.1002/9783527632794>
- Grande, C. A., & Rodrigues, A. E. (2007). Layered vacuum pressure-swing adsorption for biogas upgrading. *Industrial and Engineering Chemistry Research*.
<https://doi.org/10.1021/ie070942d>
- Hullu, J. De, Meel, P. a Van, Shazad, S., & Bini, L. (2008). Comparing different biogas upgrading techniques. *Comparing Different Biogas Upgrading Techniques*.
- Jimoh, O. A., Otitoju, T. A., Hussin, H., Ariffin, K. S., & Baharun, N. (2017). Understanding the Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Production Mechanism and Its Characteristics in the Liquid-Gas System Using Milk of Lime (MOL) Suspension. *South African Journal of Chemistry*.

- <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2017/v70a1>
- Lailiyah, Q., & Baqiya, M. A. (2012). Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas CO₂ pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode Bubbling. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 1(1), B-6.
- Liu, X., Zhou, J., Zhang, Y., Liu, X., Chen, Y., Yong, X., ... Yuan, H. (2015). Continuous process of biogas purification and co-production of nano calcium carbonate in multistage membrane reactors. *Chemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.02.086>
- Mandal, B. P., Guha, M., Biswas, A. K., & Bandyopadhyay, S. S. (2001). Removal of carbon dioxide by absorption in mixed amines: Modelling of absorption in aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA solutions. *Chemical Engineering Science*. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(01\)00279-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(01)00279-2)
- Mel, M., Sharuzaman, M. A. H., & Setyobudi, R. H. (2016). Removal of CO₂ from biogas plant using chemical absorption column. In *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.4958488>
- Novesar. (1984). Precipitated Calcium Carbonate. *Papermakers Conference, Proceedings of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, 1(Atlanta, Ga, USA), 171. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0021199403&partnerID=40&md5=ccc8803dfed7dacab4b084d5b75729b3>
- Ofori-Boateng, C., & Kwofie, E. M. (2009). Water Scrubbing: A Better Option for Biogas Purification for Effective Storage. *World Applied Sciences Journal Environmental Management and Technologies Towards Sustainable Development*.
- Othman, A., Isa, N., & Othman, R. (2015). Preparation of precipitated calcium carbonate using additive and without additive. *Jurnal Teknologi*, 77(3), 49–53. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6004>
- Palmeri, N., Cavallaro, S., & Bart, J. C. J. (2008). Carbon dioxide

- absorption by MEA: A preliminary evaluation of a bubbling column reactor. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8369-0>
- Pinto, M. L., Pires, J., & Rocha, J. (2008). Porous materials prepared from clays for the upgrade of landfill gas. *Journal of Physical Chemistry C*. <https://doi.org/10.1021/jp803015d>
- Pipatmanomai, S., Kaewluan, S., & Vitidsant, T. (2009). Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.007>
- Tai, C. Y., & Chen, C. kuang. (2008). Particle morphology, habit, and size control of CaCO₃ using reverse microemulsion technique. *Chemical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.04.022>
- Tippayawong, N., & Thanompongchart, P. (2010). Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.014>

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
P	Tekanan	atm
T	Temperatur	°C
Flow	Laju alir	ml/menit
ρ	Densitas CO ₂	gr/ml

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPENDIKS

1. Konversi Ca(OH)₂

Data perhitungan di bawah menggunakan gas CO₂ murni dengan variabel ketinggian 35 cm.

1. Menentukan mol awal Ca(OH)₂

$$\text{Massa Ca(OH)}_2 = 23.2 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Ca(OH)}_2 &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{BM CaO}} \\ &= \frac{23.2 \text{ gram}}{74 \text{ gram/mol}} = 0.314 \text{ gmol} \end{aligned}$$

2. Menentukan mol awal CO₂

$$\begin{aligned} \text{Volume CO}_2 &= \text{Flow rate CO}_2 \times \text{Waktu} \\ &= 0.7 \text{ L/menit} \times 50 \text{ menit} \\ &= 42 \text{ L} \\ &= 42 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{Tekanan} \times \text{Volume} / \text{R} \times \text{Temperatur} \\ &= 0.987 \text{ atm} \times 42 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 82.057 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/kmol} \cdot \text{K} \times \\ &313.15 \text{ K} \end{aligned}$$

$$= 0.00156 \text{ kmol}$$

$$= 1.56 \text{ gmol}$$

3. Menentukan mol CaCO₃ (PCC)

$$\text{Massa CaCO}_3 = 19.489 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol CaCO}_3 &= \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{BM CaCO}_3} \\ &= \frac{19.489 \text{ gram}}{100 \text{ gram/mol}} = 0.195 \text{ gmol} \end{aligned}$$

4. Menentukan mol Ca(OH)₂ dan CO₂ bereaksi

$$\text{Mol Ca(OH)}_2 = \text{Mol CaCO}_3 = \text{Mol CO}_2 = 0.195 \text{ gmol}$$

5. Reaksi

	Ca(OH) ₂	+	CO ₂	→	CaCO ₃
	+				
M	0.314		1.56		-
	-				
R	0.195		0.195		0.195
	0.195				
S	0.119		1.365		0.195
	0.195				

$$\begin{aligned} 6. \text{ Konversi } \text{Ca(OH)}_2 &= \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ mula mula}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.195}{0.314} \times 100\% \\ &= 62.16 \% \end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Putu Adhi Rama Wijaya, lahir di Abiansemal, 20 September 1995. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri 9 Jimbaran (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Kuta (2008-2011), kemudian pendidikan menengah atas di SMA Negeri Bali mandara (2011–2014), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik Selama kuliah, penulis aktif dan mempelopori berdirinya *Student Chapter*

yaitu AICHe ITS SC sebagai Vice President of AICHe ITS SC periode 2017/2018. Selain itu, Penulis juga aktif di Tim *Project* dalam pengembangan mobil berbahan bakar reaksi kimia: Spektronics Chem-E-Car ITS Team. pada tahun 2014-2016 penulis berperan sebagai Teknisi Tim dan Menjadi *Generap Manager (Leader)* Tim pada periode 2016/2017. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pupuk Kalimantan Timur, Bontang, Kalimantan Timur. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Siti Machmuda S.T., M.Eng., penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik *Biomethane* dan PCC dari Vinnase Pabrik Bioethanol dengan kapasitas 97.343 Ton Vinnase per Tahun. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Pengurangan CO₂ dalam Biogas Menggunakan Kolom Gelembung Ca(OH)₂ secara Kontinyu*” yang dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Suci Madhania, S.T., M.T.,

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6285 739 71 2005

Email : adhi.rama.wijaya@gmail.com

Ig : @adhiramawijaya

BIODATA PENULIS



Ratri Puspita Wardani, lahir di Surabaya, 1 April 1998. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di MINU Pucang Sidoarjo (2004-2009), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Sidoarjo (2009-2012), kemudian pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Sidoarjo (2012–2014), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik Selama kuliah, penulis aktif dan mempelopori berdirinya *Student Chapter* yaitu AICHe ITS SC sebagai Secretary of AICHe ITS SC periode 2017/2018. Selain itu, Penulis juga aktif di Tim *Project* dalam pengembangan mobil berbahan bakar reaksi kimia: Spektronics Chem-E-Car ITS Team. pada tahun 2014-2016 penulis berperan sebagai Teknisi Tim dan Menjadi *Vice General Manager* Tim pada periode 2016/2017. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di VICO Indonesia, Muara Badak, Kalimantan Timur. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Siti Machmuda S.T., M.Eng., penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik *Biomethane* dan PCC dari Vinnase Pabrik Bioethanol dengan kapasitas 97.343 Ton Vinnase per Tahun. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Pengurangan CO₂ dalam Biogas Menggunakan Kolom Gelembung Ca(OH)₂ secara Kontinyu*” yang dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Suci Madhania, S.T., M.T.,

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6287 885 293 674

Email : ratripuspitaw@gmail.com

Ig : @ratripw