

**EFEKTIVITAS ABSORBEN DENGAN VARIASI TINGGI *TUBING*
DALAM PENYERAPAN GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) PADA
SISTEM PURIFIKASI GAS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh:

PANDU SURYO PRANOWO

NIM. 0910623014 - 62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**EFEKTIVITAS ABSORBEN DENGAN VARIASI TINGGI *TUBING*
DALAM PENYERAPAN GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) PADA
SISTEM PURIFIKASI GAS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh:

PANDU SURYO PRANOWO

NIM. 0910623014 - 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh ;

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Dr.Eng. Denny Widhyanuriawan, ST., MT.
NIP. 19750113 200012 1 001

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**EFEKTIVITAS ABSORBEN DENGAN VARIASI TINGGI *TUBING*
DALAM PENYERAPAN GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) PADA
SISTEM PURIFIKASI GAS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
PANDU SURYO PRANOWO
NIM. 0910623014 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Januari 2014

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Penguji Skripsi III

Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng.
NIP. 19750710 199903 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efektivitas Absorben Dengan Variasi Tinggi *Tubing* Dalam Penyerapan Gas Karbon dioksida (CO₂) Pada Sistem Purifikasi Gas”. Dalam pembuatan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing I, dan Kepala Laboratorium Surya dan Alternatif Energi yang telah banyak memberikan bimbingan selama menyusun skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan selama menyusun skripsi ini.
5. Bapak Agung Sugeng Widodo ST.,MT.,Ph.D. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi.
6. Bapak Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng.,Ph.D, dan Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT. Yang telah memberikan pengarahan tambahan selama menyusun skripsi ini.
7. Bapak Ir. Suharto selaku Dosen Wali, dan Bapak Ir. Hastono Wijaya, MT., yang telah mau memberikan bantuan waktu kepada penulis.
8. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi.
9. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin, khususnya Mbak Herdina, Pak Totok, Pak Wisnu, Mbak Rina, dan Mbak Endang, dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
10. Kedua orang tua saya yang sangat saya sayangi, Bapak Pranowo, dan Ibu Suryaningsih, serta adik saya Pratiwi Putri, yang senantiasa memberikan kasih sayang, perhatian, semangat, doa, dan dukungannya baik moral maupun material kepada saya.
11. Fanny Dewi sayang, teman hidup yang selalu menemani saya dalam suka maupun duka, Tante Endang, Alm. Om Sholeh, serta segenap keluarga yang selalu

- senantiasa memberikan perhatian, kasih sayang, doa, dan dukungan baik moral maupun material kepada saya.
12. Teman – teman FORMASI Brawijaya, khususnya kakak Zarastuta, dan para ranger Benedicta Ika, Slovenia Istiani, Novi Indriana, Arum Dwi, Rahmawan Adechandra, dan Rahmat Wiraradi.
 13. Rekan – Rekan Asisten Laboratorium Surya dan Energi Alternatif, Doddy Wiryawan, Satrio Dwi, Ronald Silaban, Teguh Riski, Rahmat Wiraradi, Andreas Andy, Andri Kusbiantoro, Rudy, Andree, Chandra, Hotma, dan Ike.
 14. Teman – teman FOX Brawijaya, yang selalu menemani penulis latihan.
 15. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Fluida, Lucky, Maha, Irvan, Nasher, dan Chen yang telah menemani penulis dalam pengambilan data setiap harinya,
 16. Teman – teman Divisi Aerokreasi, dan Divisi Otomasi dan Robotika yang telah membantu penulis dalam memfasilitasi pembuatan alat penelitian.
 17. Teman – teman Dalang 27 yang selalu mendukung dan mengingatkan penulis untuk terus maju, khususnya Rahmat, Slovenia, Pisenk, dan Achi.
 18. Teman – teman sepermainan di Badak NGL, Jonas Sihite, Bayu Suryawan, Faris Saputra, Adi Putra, dan seluruh personil uno nam – nam.
 19. Seluruh sahabat KBMM Universitas Brawijaya khususnya Keluarga Besar BLACK MAMBA yang terus memotivasi dan memberikan saran dalam penyelesaian skripsi.
 20. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Tiada gading yang tak retak, begitu juga halnya dengan skripsi ini yang masih banyak ditemukan kekurangan-kekurangan. Oleh sebab itu, penulis menerima masukan, saran, ataupun kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat khususnya para akademisi, dan semangat dalam mengembangkan teknologi – teknologi terbaru.

Malang, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 5 |
| 2.2 Biogas | 7 |
| 2.2.1 Pengertian Biogas | 7 |
| 2.2.2 Komposisi Kandungan Biogas | 7 |
| 2.3 Teknologi Pemurnian | 10 |
| 2.4 Absorpsi | 16 |
| 2.5 Absorben | 19 |
| 2.5.1 Air..... | 20 |
| 2.5.2 CaOH..... | 21 |
| 2.5.3 TEA..... | 22 |
| 2.6 Hipotesis | 24 |
| | |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 25 |
| 3.1 Metode Penelitian | 25 |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian | 25 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 25 |
| 3.4 Alat dan Bahan Penelitian | 26 |
| 3.5 Skema Alat | 31 |



| | | |
|--|--|-----------|
| 3.6 | Prosedur Penelitian | 32 |
| 3.7 | Pelaksanaan Penelitian | 32 |
| 3.8 | Diagram Alir Penelitian | 34 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 35 |
| 4.1 | Pengolahan Data | 35 |
| 4.2 | Analisis dan Pembahasan | 36 |
| 4.2.1 | Grafik Hubungan antara Tinggi Tubing dengan Kadar CO ₂ Dalam Berbagai Absorben | 36 |
| 4.2.2 | Grafik Hubungan antara Konsentrasi CO ₂ dengan Persentase Penyerapan CO ₂ Dalam Berbagai Absorben | 42 |
| BAB V PENUTUP..... | | |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 43 |
| 5.2 | Saran | 43 |

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

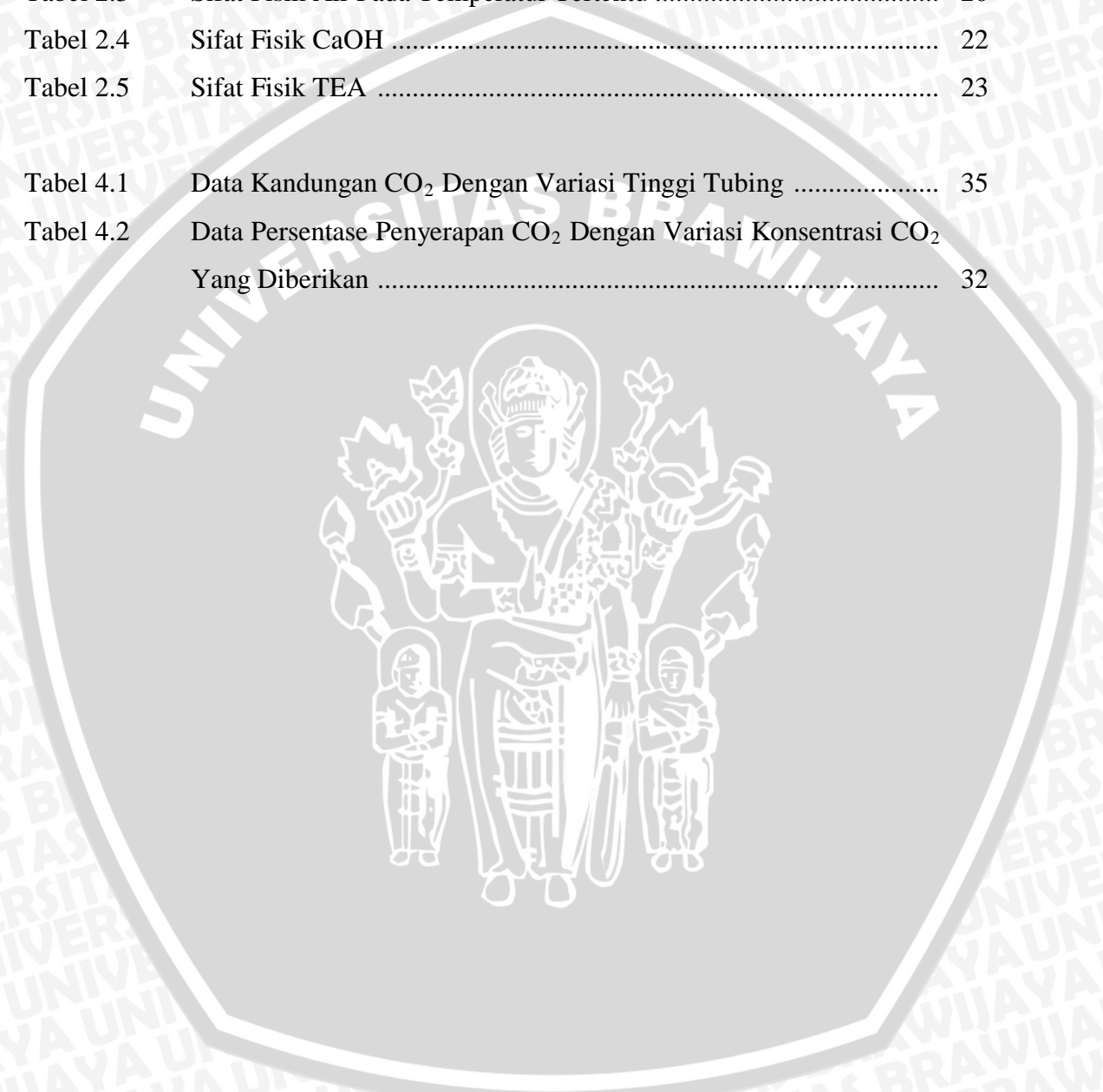


DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Hal. |
|-------------|--|------|
| Gambar 2.1 | Skema Instalasi PSA | 11 |
| Gambar 2.2 | Prinsip Kerja PSA | 11 |
| Gambar 2.3 | Pemurnian Dengan Menggunakan Membran | 12 |
| Gambar 2.4 | Alur Pemisahan Kriogenik | 13 |
| Gambar 2.5 | <i>Flowchart High Pressure Water</i> | 14 |
| Gambar 2.6 | Menara Sembur | 17 |
| Gambar 2.7 | Menara Gelembung | 18 |
| Gambar 2.8 | Menara Paking | 18 |
| Gambar 2.9 | Menara Pelat | 19 |
| Gambar 3.1 | Larutan TEA | 26 |
| Gambar 3.2 | CaOH Dalam Bentuk Serbuk | 26 |
| Gambar 3.3 | Tabung Gas CH ₄ | 27 |
| Gambar 3.4 | Tabung Gas CO ₂ | 27 |
| Gambar 3.5 | Regulator Gas CH ₄ | 27 |
| Gambar 3.6 | Regulator Gas CO ₂ | 28 |
| Gambar 3.7 | Flowmeter | 28 |
| Gambar 3.8 | Gas Detector | 29 |
| Gambar 3.9 | Stargas | 29 |
| Gambar 3.10 | <i>Packed Collum</i> | 30 |
| Gambar 3.11 | <i>Layer Tube</i> | 30 |
| Gambar 3.12 | Skema Instalasi Penelitian..... | 31 |
| Gambar 3.13 | Diagram Alir Penelitian..... | 34 |
| Gambar 4.1 | Hubungan Antara Tinggi <i>Tubing</i> Dengan Kadar CO ₂ Dalam Berbagai Absorben | 36 |
| Gambar 4.2 | Gambar Susunan <i>tubing</i> | 37 |
| Gambar 4.3 | Celah – celah Yang Terbentuk | 39 |
| Gambar 4.4 | Bentuk Celah | 39 |
| Gambar 4.5 | Hubungan Antara Konsentrasi CO ₂ dengan Prosentase Penyerapan CO ₂ Dalam Berbagai Absorben | 42 |

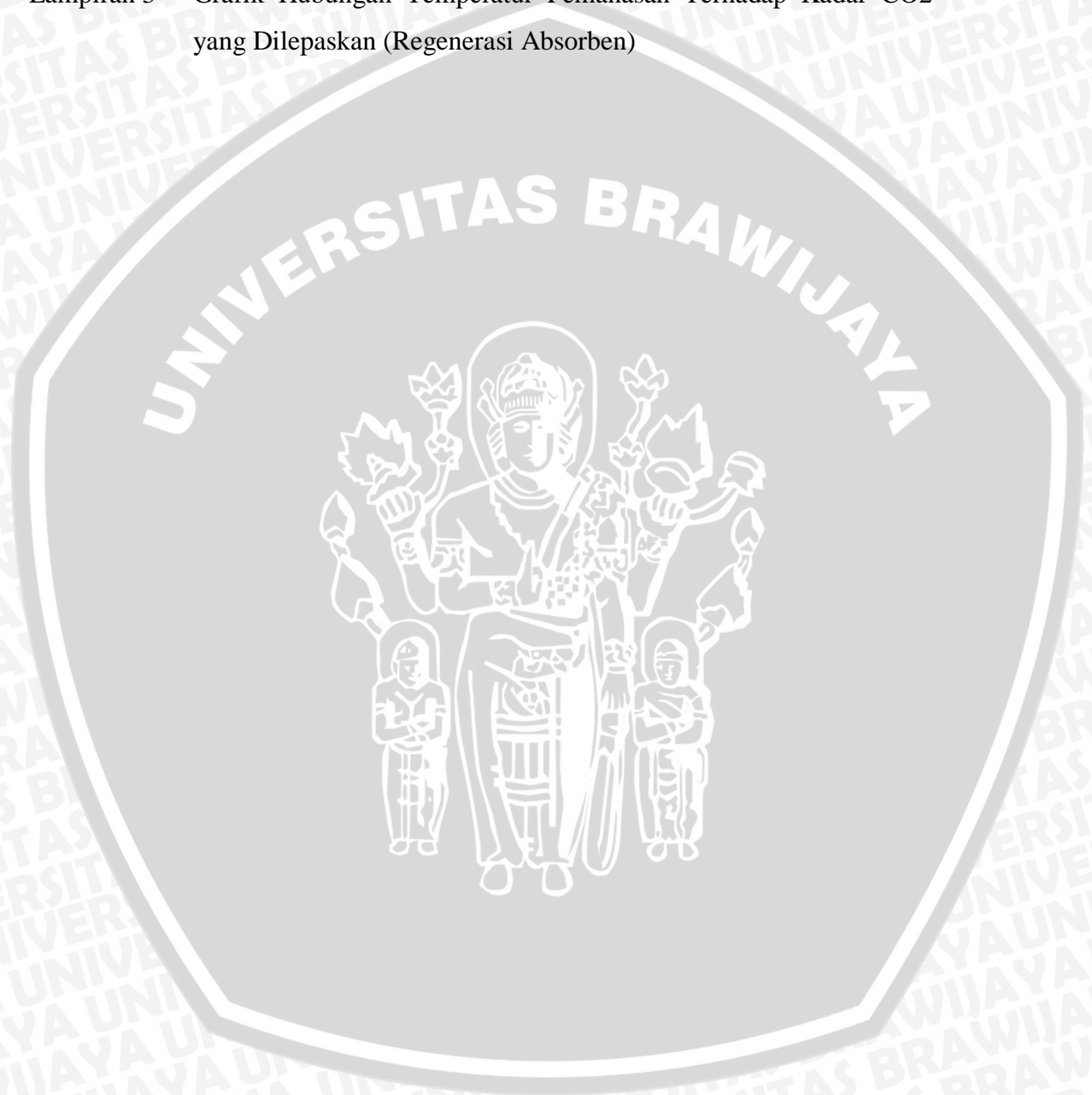
DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Hal. |
|-----------|--|------|
| Tabel 2.1 | Komposisi Biogas | 8 |
| Tabel 2.2 | Sifat Fisik dan Kimia Dari Gas Metan | 9 |
| Tabel 2.3 | Sifat Fisik Air Pada Temperatur Tertentu | 20 |
| Tabel 2.4 | Sifat Fisik CaOH | 22 |
| Tabel 2.5 | Sifat Fisik TEA | 23 |
| Tabel 4.1 | Data Kandungan CO ₂ Dengan Variasi Tinggi Tubing | 35 |
| Tabel 4.2 | Data Persentase Penyerapan CO ₂ Dengan Variasi Konsentrasi CO ₂ Yang Diberikan | 32 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul |
|------------|---|
| Lampiran 1 | Gambar Rangkaian Alat Penelitian |
| Lampiran 2 | Gambar Bag Sebelum Proses dan Setelah Proses |
| Lampiran 3 | Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Terhadap Kadar CO ₂ yang Dilepaskan (Regenerasi Absorben) |



RINGKASAN

Pandu Suryo Pranowo, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, Efektivitas Absorben Dengan Variasi Tinggi *Tubing* Dalam Penyerapan Gas Karbon Dioksida (CO_2) Pada Sistem Purifikasi Gas, Dosen Pembimbing: Denny Widhiyanuriawan dan Mega Nur Sasongo.

Dalam mengatasi krisis energi yang terjadi di beberapa tahun belakangan ini, dikembangkan suatu energi alternatif yang berasal dari bahan organik untuk menjawab krisis energi tersebut. Salah satu energi terbarukan yang saat ini dikembangkan adalah Biogas. Biogas sangatlah berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki kandungan gas metan (CH_4) yang tinggi. Akan tetapi kandungan gas karbon dioksida (CO_2) yang terdapat dalam biogas sangat merugikan, karena dapat menurunkan nilai kalor dari gas metan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemurnian biogas terlebih dahulu sebelum digunakan, salah satunya dengan metode teknologi absorpsi, menggunakan menara *paking*. Keuntungan yang diperoleh dengan penggunaan menara *paking* adalah jumlah CO_2 yang diserap cukup besar, karena pengaruh dari pemberian isian didalam menara, sehingga menyebabkan luas kontak antar fasenya semakin besar.

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental, untuk mengamati pengaruh dari pemberian *tube* sebagai isian dalam menara, terhadap penyerapan gas karbon dioksida nya, dan yang akan diamati adalah pemberian *tube* dengan variasi tinggi 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, dengan harapan semakin tinggi *tubing* maka akan dapat melakukan penyerapan gas CO_2 yang semakin baik, dengan luas kontak yang semakin besar. Selain itu, larutan yang digunakan sebagai absorben adalah air, kalsium hidroksida (CaOH), dan trietilamina (TEA).

Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi *tubing*, maka jumlah CO_2 yang berhasil diserap oleh masing – masing absorben akan semakin meningkat. Dan data hasil penelitian yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian *tube* memberikan pengaruh yang cukup besar dalam proses penyerapan CO_2 , dimana persentase gas hasil pemurnian ketika tidak ada pemberian *tubing* dalam menara (0 cm), didapatkan kandungan CO_2 masing – masing larutan sebesar, air 10,02 %, kalsium hidroksida 11,52 %, dan trietilamina 11,19 %. Sedangkan ketika pemberian *tubing* (50 cm) didalam menara, didapatkan kandungan CO_2 sebesar, air 5,5 %, kalsium hidroksida 6,6 %, dan trietilamina 6,3 %.

Kata Kunci: Biogas, teknologi absorpsi, CaOH , TEA, menara *paking*, *tube-tube*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dalam beberapa dekade terakhir di Indonesia telah terjadi peningkatan kebutuhan energi. Hal ini menyebabkan krisis energi dimana pertumbuhan kebutuhan akan energi tidak sesuai dengan ketersediaan energi yang ada. Sehingga mulai muncul kekhawatiran akan defisit sumber energi yang sekarang mulai menipis terutama sumber energi pembakaran yang didapatkan dari bahan bakar fosil. Ketergantungan masyarakat Indonesia akan penggunaan bahan bakar fosil dalam waktu yang panjang memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan karena sisa pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan CO₂, CO, NO_x dan kandungan logam berat dalam bahan bakar seperti timbal dan lain-lain.

Beberapa upaya dilakukan untuk mencari alternatif sumber energi baru yang mampu menggantikan bahan bakar fosil, bahan bakar alternatif yang mudah didapat, dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang sekarang sedang dikembangkan adalah energi yang berasal dari bahan – bahan organik, hal ini dikarenakan senyawa organik tersebut tergolong energi yang dapat diperbarui. Keberadaan bahan – bahan organik tersebut mudah didapat dan terjamin kontinuitasnya, selain itu yang terpenting bahan – bahan organik tersebut ramah lingkungan. Hal ini yang menjadi faktor utama keberadaan bahan - bahan organik dipertimbangkan sebagai energi masa depan dalam rangka mewujudkan teknologi hijau (*green technology*). Biogas merupakan salah satu produk dari teknologi hijau yang sekarang sedang dikembangkan. Hal ini dikarenakan gas yang dihasilkan dari proses biologis (*anaerobic digester*) mampu menghasilkan gas – gas seperti CH₄, CO₂, H₂S, H₂O dan gas – gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana (CH₄), karena CH₄ memiliki nilai kalor/panas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Dekomposisi anaerob tersebut menghasilkan biogas yang terdiri dari metana (50 – 70 %), karbondioksida (25 – 45 %) dan sejumlah kecil hidrogen, nitrogen, hydrogen sulfide (Price dan Cheremisinoff,1981).

Kemurnian CH₄ yang dihasilkan dari biogas tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting, hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap nilai kalor / panas yang dihasilkan. Sehingga CH₄ yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap

impuritas – impuritas yang lain. Dalam hal ini impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO_2 , keberadaan CO_2 dalam gas CH_4 sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO_2 dalam CH_4 maka akan semakin menurunkan nilai kalor CH_4 dan sangat mengganggu dalam proses pembakaran. Hal ini menyebabkan kemurnian CH_4 menjadi rendah, dan tidak disukai oleh pasar atau konsumen. Oleh karena itu pemurnian gas dari CO_2 menjadi salah satu proses yang sangat penting dalam proses pengolahan gas.

Pemurnian gas dapat dilakukan dengan 4 metode, yaitu dengan metode teknologi absorpsi, dengan metode absorpsi, pemisahan secara kriogenik, dan pemisahan dengan membran. Dalam prakteknya, metode absorpsi dengan menggunakan larutan, dan metode absorpsi menggunakan padatan, lebih sering digunakan dengan alasan ekonomis, mudah didapat, dan tidak berdampak buruk bagi lingkungan. Metode absorpsi baik padatan maupun larutan sangat efektif digunakan untuk laju alir gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada keadaan normal. Pada absorpsi larutan, penyerapan terjadi lebih efisien karena terjadi reaksi yang cepat. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses absorpsi yaitu, tekanan operasi, suhu operasi, kelembapan gas, rasio laju gas, dan tinggi *packing*. Absorpsi CO_2 oleh larutan kimia tampaknya menjadi yang efektif dan praktis. Absorpsi merupakan salah satu proses pemisahan yang sering diaplikasikan dalam industri, terutama absorpsi yang disertai dengan reaksi kimia. Tujuan dari absorpsi di industri adalah untuk menghilangkan suatu komponen dari campuran gas dan untuk menghasilkan suatu produk reaksi.

Penelitian – penelitian terdahulu mengenai pemurnian biogas secara absorpsi dengan menggunakan larutan kimia, dan dengan menggunakan padatan; Andika dkk (2012) melaksanakan penelitian mengenai perbandingan konsentrasi NaOH terhadap kandungan gas CO_2 dalam proses purifikasi biogas sistem kontinyu, studi ini melakukan proses pemurnian dengan menggunakan tabung purifikasi, dimana NaOH disemprotkan dari atas tabung, dan biogas dilewatkan dari bawah tabung, sehingga gas akan berkontak langsung dengan larutan, dan terjadi proses absorpsi. Pada penelitian ini didapatkan bahwa semakin lama NaOH beroperasi, maka kemampuan NaOH dalam mengikat CO_2 akan semakin menurun, hal ini menunjukkan bahwa daya serap NaOH tidak dapat maksimal dalam waktu yang lama. Faruq dkk (2012) melaksanakan penelitian mengenai pengaruh jumlah lapisan zeolit terhadap kandungan gas CO_2 dalam proses pemurnian biogas sistem kontinyu, dalam hasil studi ini menjelaskan

bahwa penambahan waktu purifikasi berpengaruh terhadap laju penyerapan CO_2 . Waktu penyerapan merupakan faktor penting dalam proses pemurnian, terutama karena dapat meningkatkan kadar CH_4 , tetapi bila tetap dilakukan secara terus menerus tanpa memurnikan kembali zeolit yang telah dipakai, maka dapat menyebabkan penurunan dari daya serap dari zeolit tersebut. Kusuma dkk (2012) melaksanakan penelitian pemurnian biogas dengan CuSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dalam *packed collum* secara kontinyu, studi ini mendapati bahwa $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dapat diregenerasi, sedangkan CuSO_4 tidak dapat diregenerasikan. Namun demikian, belum ada yang melakukan penelitian mengenai regenerasi dengan menggunakan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, atau bahkan dengan larutan – larutan lain. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Roman (2010) mengenai analisa gas buang kendaraan bermotor dengan media absorpsi karbon aktif jenis GAC dan PAC, dan Endang dkk (2009) mengenai absorpsi dengan menggunakan Fe – EDTA dalam *packed collum*. Dalam penelitian yang telah dilakukan, didapatkan penggunaan pemurnian dengan menggunakan padatan, ternyata membutuhkan biaya yang lebih untuk perawatan, karena bila dipergunakan dalam waktu yang lama, padatan tersebut akan rusak oleh temperatur.

Penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memiliki satu kesamaan dalam prosesnya yaitu menggunakan sebuah menara absorpsi sebagai kontak gas dan larutan. Akan tetapi belum banyak yang melakukan pengamatan - pengamatan mengenai perlakuan khusus atau variasi - variasi yang diberikan kedalam menara absorpsi tersebut, seperti pemberian *tubing* (pipa – pipa kecil), pelat, dan lain sebagainya. Perlakuan – perlakuan tersebut bertujuan untuk memperluas kontak, dan memperlama kontak antar fase nya, sehingga didapat hasil yang lebih baik. Dan dalam penelitian kali ini akan dilakukan pengamatan dari pengaruh tinggi *tubing* terhadap penyerapan gas pengganggu terutama karbon dioksida (CO_2).

Pada penelitian ini, bertujuan untuk mengamati efektivitas absorben terhadap variasi tinggi *tubing* dalam penyerapan gas karbon dioksida pada sistem purifikasi gas, dengan menggunakan tiga macam absorben, yaitu air, kalsium hidroksida (CaOH), dan trietilamina (TEA) yang merupakan salah satu larutan amina. Absorben akan disirkulasikan dari bak penampung dengan menggunakan bantuan pompa, kemudian disemprotkan kedalam menara absorpsi. Menara absorpsi yang digunakan pada penelitian ini merupakan menara absorpsi berjenis menara *paking*, yang tersusun dari *tube – tube* 1 cm didalamnya setinggi 50 cm dari 85 cm tinggi menara absorpsi. Selain

melihat kemampuan dari penyerapan absorben, tinggi susunan *tube – tube* didalam menara juga akan dilihat, mulai dari 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, dan akan dilihat pengaruhnya terhadap kinerja dari masing – masing absorben dalam menyerap CO₂.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi tinggi *tubing* terhadap efektivitas absorben dalam menyerap gas karbon dioksida pada sistem pemurnian gas. Sehingga akan diketahui seberapa besar prosentase kandungan gas CO₂ yang berhasil diserap.

1.3 Batasan masalah

Untuk menjaga agar permasalahan tidak meluas pada berbagai hal, maka perlu dilakukan batasan - batasan sebagai berikut :

1. Gas yang digunakan adalah CO₂ dan CH₄.
2. Sudut dan ukuran butiran spray dianggap sama rata.
3. Bentuk sedotan yang dijadikan *tubing* dianggap lingkaran sempurna semua.
4. Luas permukaan yang dihitung adalah bagian yang dilewati larutan, yaitu dinding *tube*.
5. Prosentase CO₂, yang dihitung adalah persentase volume.

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian dan penambahan tinggi *tubing* terhadap efektivitas absorben dalam menyerap CO₂ pada sistem pemurnian gas.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah ;

1. Dapat mengetahui efektivitas air, kalsium hidroksida, dan trietilamina, dan pengaruhnya terhadap lama kontak dengan absorbat.
2. Menambah khasanah penelitian bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya yang berhubungan dengan Teknik Mesin konsentrasi konversi energi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai pemurnian biogas dengan menggunakan metode absorpsi baik dengan larutan, maupun padatan banyak yang telah dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Andhika dkk (2012), menggunakan sistem purifikasi yang dilakukan secara kontinyu. Dalam penelitiannya, digunakan tabung purifikasi sebagai media tempat bertemunya biogas dengan absorben, absorben yang digunakan adalah NaOH dengan variasi konsentrasi 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, dan 50 %, dengan variasi waktu penyerapan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan jumlah CO₂ yang paling banyak diserap oleh absorben dari biogas adalah pada saat konsentrasi NaOH yang paling tinggi, yaitu sebesar 50 % dan pada 15 menit yang pertama.

Faruq dkk (2012) pada penelitiannya mengenai banyaknya lapisan zeolit dalam tabung purifikasi untuk penyerapan CO₂. Dengan bervariasi jumlah lapisan zeolit yang terdapat didalam tabung purifikasi sebanyak 1 lapisan, 2 lapisan, 3 lapisan, 4 lapisan, dan 5 lapisan, dan lama waktu penyerapan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan semakin lama waktu purifikasi, dan semakin banyak lapisan zeolit yang digunakan, maka akan dapat menurunkan kandungan CO₂ dalam biogas.

Pemurnian dengan menggunakan larutan kimia juga dilakukan oleh Kusuma dkk (2012). Dalam penelitian ini, memperlihatkan keuntungan - keuntungan menggunakan pemurnian dengan cara absorpsi kimia, yaitu efisiensi tinggi, laju reaksi cepat, dan efektif digunakan untuk laju alir gas rendah pada kondisi normal seperti biogas. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan larutan NaOH, CuSO₄, dan Fe₂(SO₄)₃ dengan konsentrasi masing – masing larutan 0,1 % untuk menyerap H₂S dari biogas. Dengan menggunakan *packed collum*, masing – masing larutan dikontakkan dengan bio gas yang kecepatannya dibuat konstan sebesar 1 liter/menit. Dengan bervariasi laju alirannya absorben sebesar 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, dan 0.12 liter/min, dan berlangsung secara kontinyu. Hasil yang didapatkan bahwa absorpsi kimia sangat dipengaruhi oleh laju alir penyerapnya, dan rasio L/G, dengan larutan NaOH yang paling bersifat reaktif dibandingkan CuSO₄, dan Fe₂(SO₄)₃.

Endang dkk (2009). Dalam penelitian ini disusun model matematis numerik

proses absorpsi H_2S yang melibatkan tranfer massa, disertai reaksi kimia, agar diperoleh data – data koefisien tranfer massa, dan konstanta kecepatan reaksi pada absorpsi H_2S . Dalam penelitian tetap menggunakan tabung purifikasi yang dilengkapi dengan bak penampungan hasil endapan H_2S yang berhasil di ikat oleh absorben, absorben yang digunakan pada penelitian ini adalah Fe – EDTA (besi bekas – ethylene diamina tetra acetic acid), dengan variasi konsentrasi) 0.1 M, dan 0.2 M. Dari penenlitian didapati bahwa semakin besar konsentrasi absorben, maka tranfer massa, dan konstanta kecepatan reaksi nya juga akan semakin besar pula.

Penelitian yang dilakukan oleh Srihari dkk (2009) juga untuk memperoleh data mengenai harga koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gas terhadap variabel operasinya, dan nilai dari luas interfacial persatuan volume *packing*. Larutan pelarut yang digunakan sebagai absorbennya untuk mengikat CO_2 adalah monortanolamina (MEA), dengan variasi konsentrasi 0.028 N hingga 0.091 N, dan bervariasi laju alir dari absorbennya. Hasil yang didapat dari penelitian ini bahwa semakin tinggi konsentrasi MEA menyebabkan harga koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gas akan ikut meningkat, akan tetapi bila laju alir dari MEA dibuat konstan, dan laju alir CO_2 ditingkatkan, maka akan menyebabkan koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gasnya akan semakin menurun, sedangkan nilai dari luas interfacial persatuan volume *packing* tidak terpengaruh dengan perubahan laju alir gas, dan konsentrasi MEA.

Zhao dkk (2010), dalam penelitian ini digunakan metode absorpsi kimia untuk melarutkan CO_2 , setelah sebelumnya membandingkan kelebihan dan kekurangan metode – metode pemurnian yang lain, diantaranya yaitu metode absorpsi dengan padatan, kriogenik, dan penyaringan dengan menggunakan membran. Dalam penelitiannya digunakan larutan MDEA (monodietillamina) dengan variasi konsentrasi 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %, dengan laju aliran maksimumnya 2.0 liter/min. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi MDEA 20 % dapat menyerap 100 % CO_2 dibandingkan dengan konsentrasi 40 %, ini disebabkan akibat panas yang timbul ketika reaksi kimia pengikatan MDEA dengan CO_2 yang terjadi dalam *packed collum*, sehingga mempengaruhi kemampuan serap dari absorben nya yaitu MDEA.

Lalu penenlitian yang dilakukan oleh Firoz dkk (2010), mengenai pengembangan larutan amina baru yang dapat menyerap CO_2 lebih baik, dan lebih murah. Dalam penenlitiannya dibandingkan karakteristik AMP (1-amino-2-methyl-1-

propanol), dengan MEA (monoethanolamina). 2 larutan amina tersebut dibandingkan karena memiliki daya serap yang sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menekan panas yang timbul akibat reaksi antara absorben dengan CO₂, sehingga didapatkan larutan yang memiliki daya serap yang tinggi, dan panas yang relatif lebih. Dengan mengamati proses reaksi penangkapan CO₂, dan susunan senyawa antara AMP dan MEA yang digabungkan, diperoleh amino alkohol sebagai larutan yang dapat menekan panas berlebih dari reaksi penyerapan CO₂ oleh absorben.

2.2 Biogas

2.2.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari bahan – bahan organik seperti sampah organik, limbah rumah tangga, kotoran hewan, dan manusia yang difermentasikan oleh bakteri metana yang diperoleh dengan cara metanogen seperti *Methanobacterium sp.* Metanogen (penghasil bakteri metana) adalah proses terakhir dalam rantai mikro-organisme yang lebih rendah dekomposisi bahan organik dan kembali produk ke lingkungan. Dan dalam proses terjadinya, biogas berlansung dalam keadaan tertutup. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas>).

Kandungan utama biogas adalah gas metana (CH₄) dengan konsentrasi sebesar 55 – 75 % vol. Kandungan lain dalam biogas yaitu gas karbon dioksida (CO₂), gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂), gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen sulfida (H₂S). Gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas metana (CH₄), gas hidrogen (H₂) dan gas CO (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara. Suhu pembakaran biogas antara 650°C – 750°C. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Biogas umumnya dimanfaatkan untuk memasak, sumber energi untuk menyalakan lampu dan untuk berbagai aplikasi lainnya.

2.2.2 Komposisi Kandungan Biogas

Komposisi kandungan biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Namun demikian, komposisi biogas yang utama adalah gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂). Komponen lainnya yang ditemukan terdapat dalam kisaran konsentrasi yang kecil (*trace element*) antara lain gas hidrogen sulfide (H₂S), gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂), dan gas oksigen (O₂). Tetapi gas-

gas tersebut hanya berkisar dalam jumlah yang sangat kecil selain gas karbon dioksida CO_2 . Oleh sebab itu gas karbon dioksida (CO_2) yang terdapat dalam biogas perlu dikurangi, karena dapat menghambat nilai kalor dari gas metana (CH_4), untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam tabel 2.1 prosentase jumlah komposisi biogas mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil.

Tabel 2.1 Komposisi biogas

| No. | Komponen | Satuan | Komposisi | |
|-----|---|--------|-----------|---------|
| | | | 1 | 2 |
| 1. | Gas Methan (CH_4) | % Vol | 50 – 75 | 54 – 70 |
| 2. | Karbon dioksida (CO_2) | % Vol | 24 – 40 | 27 – 45 |
| 3. | Nitrogen (N_2) | % Vol | < 2 | 0 – 1 |
| 4. | Hidrogen (H_2) | % Vol | < 1 | 0 – 1 |
| 5. | Karbon monoksida (CO) | % Vol | | 0,1 |
| 6. | Oksigen (O_2) | Ppm | < 2 | 0,1 |
| 7. | Hidrogen sulfida (H_2S) | Ppm | < 2 | Sedikit |

Sumber : Faruk dkk (2012)

Metana (CH_4) dalam biogas bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Metana (CH_4) memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara yaitu sebesar $1,2 \text{ kg/m}^3$, serta dapat mencair pada temperatur $-164 \text{ }^\circ\text{C}$ dan mendidih pada temperatur $161,49 \text{ }^\circ\text{C}$, sifat fisika dari gas metan yang lebih lengkap dapat dilihat dalam Tabel 2.2, yaitu sebagai berikut ;

Tabel 2.2. Sifat fisik dan kimia dari gas metan

| BESARAN | HARGA BESARAN |
|--|------------------------|
| Formula | CH ₄ |
| Titik didih | 161,49 °C |
| Titik Cair | - 164 °C |
| Tekanan Kritis | 673 psi (47,363 kg/cm) |
| Temperatur Kritis | - 82,5 °C |
| Berat jenis (60% CH ₄) | 1,2 kg/m ³ |
| Titik nyala | 650 °C |
| Stoichiometric udara/bahan bakar (kg/kg) | 10,2 : 1 |

Sumber : Mitzlaff (1988)

Komponen terbesar biogas adalah gas metana (55-75 %). Gas metana merupakan komponen terpenting dalam biogas karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi diproduksi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan-bahan organik. Semakin tinggi kandungan metana dalam bahan bakar, semakin besar kalori yang dihasilkan. Pada kisaran normal, biogas dengan kandungan 60 % metana memiliki nilai kalori sebesar 18000 (kJ/kg).

Dalam biogas gas karbon dioksida (CO₂) merupakan gas yang merugikan karena gas tersebut akan menurunkan nilai kalor dalam proses pembakaran biogas. Selain itu gas karbon dioksida (CO₂) juga merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca yang dinyatakan menjadi penyebab pemanasan global. Oleh sebab itu agar tidak terjadi dampak pencemaran lingkungan yang berlebihan maka gas karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam kandungan biogas ini harus dikurangi. Dengan kata lain jika kandungan Metana (CH₄) dalam biogas semakin besar maka nilai kalor biogas yang ada akan semakin meningkat. Untuk memperbesar kandungan Metana (CH₄) dalam biogas maka jalan keluar yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi kandungan gas karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas tersebut.

Proses pengurangan kandungan karbon dioksida (CO₂) ini dilakukan dengan metode teknologi absorpsi menggunakan larutan air, kalsium hidroksida (CaOH), dan trietilamina (TEA), proses pemurnian dengan metode absorpsi larutan dipilih karena

reaksi nya yang berlangsung sangat cepat. Pada penelitian ini juga, akan dilihat pengaruh dari panjang *tubing* terhadap hasil penyerapan CO_2 didalam *packed collum*.

2.3 Teknologi Pemurnian

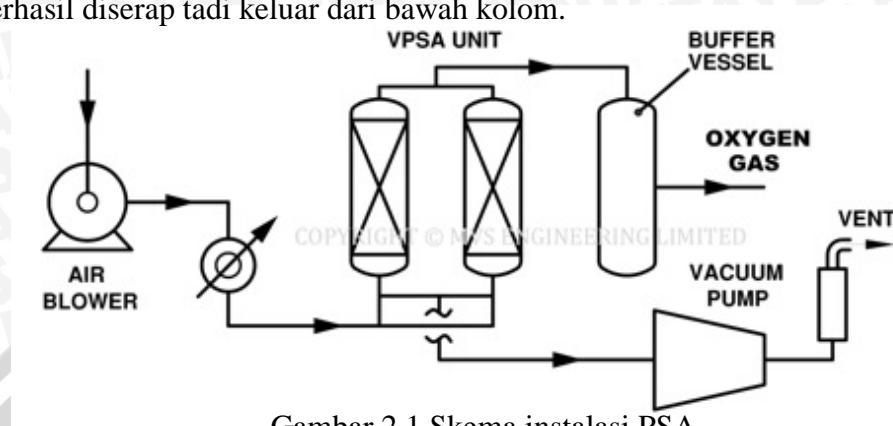
Pemurnian gas adalah sebuah proses pemisahan terhadap kandungan gas pengganggu, atau yang tidak dapat terbakar seperti CO_2 , H_2S , dan H_2O , dengan menggunakan bahan-bahan pengikat maupun bahan-bahan yang bereaksi dengan gas tersebut baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat. Sistem atau peralatan yang digunakan sebagai alat tambahan pada instalasi yang berfungsi sebagai tempat pemurnian gas disebut tabung purifikasi. Cara kerjanya sebagai separator CH_4 dari produk dengan mengikat atau menyerap CO_2 , H_2S , dan H_2O , misalnya menggunakan larutan trietilamina (TEA) yang disemprotkan, dan dikontakkan dengan biogas untuk dapat melakukan penyerapan terhadap gas – gas pengganggu, dan kontak antar fasenya terjadi di dalam *packed collum*.

Teknologi pemisahan yang digunakan untuk pemurnian biogas tergantung pada komposisi dan tujuan penggunaannya. Pada umumnya pemurnian biogas bertujuan untuk meningkatkan nilai kalornya sehingga nyala api lebih maksimal, dengan cara menyingkirkan gas – gas pengganggu yang dapat menghambat nyala dari biogas. Sebagai contoh agar mempunyai nilai kalor yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara mengurangi konsentrasi karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Gas metan murni memiliki nilai kalor 9100 kkal/m^3 pada $15,5^\circ\text{C}$ dan 1 atm. Sedangkan nilai kalor biogas bervariasi 4800 sampai 6200 kkal/m^3 . Untuk mencapai komposisi standar maka perlu dilakukan adanya pemurnian. Pada umumnya, pemisahan karbon dioksida dapat dilakukan dengan beberapa teknologi, antara lain :

a. *Pressure Swing Absorbtion (PSA)*

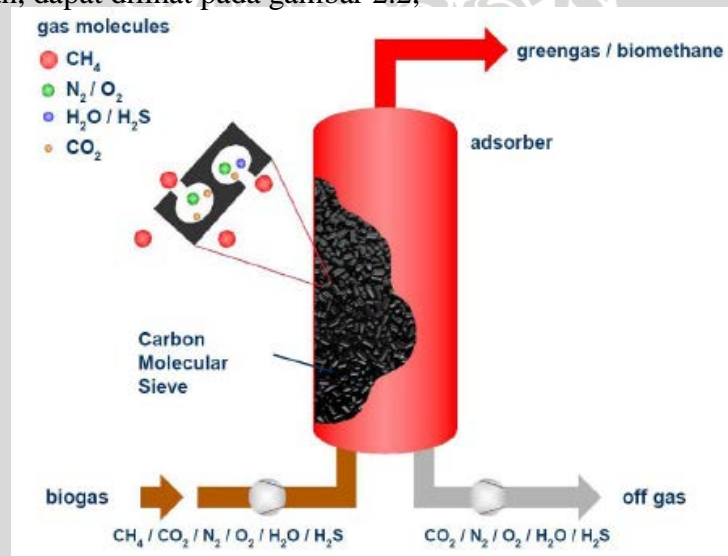
Pressure Swing Adsorption (PSA) adalah teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa jenis gas dari campuran gas utama, di bawah tekanan sesuai dengan karakteristik molekuler jenis, dan afinitas untuk bahan adsorbennya. Ini beroperasi pada suhu ambien, dan berbeda dari teknik destilasi kriogenik dalam pemisahan gas. Dengan menggunakan bahan adsorptif khusus misalnya, zeolit dan karbon aktif dapat digunakan sebagai saringan molekul, dan menyerap gas pada tekanan tinggi. Pada gambar 2.1 dapat kita lihat skema instalasi PSA, *air blower* berfungsi untuk meningkatkan tekanan gas, yang kemudian dimasukkan kedalam kolom adsorben, didalam kolom ini akan terjadi penyerapan gas – gas pengganggu,

dan gas yang diinginkan yang tidak bereaksi dengan absorben akan keluar dari atas kolom. Ketika keadaan absorben mendekati keadaan jenuh, pompa vakum akan menyala sehingga menyebabkan tekanan didalam kolom menurun, dan gas – gas yang berhasil diserap tadi keluar dari bawah kolom.



Gambar 2.1 Skema instalasi PSA
Sumber : MVS Engineering (2012)

Prinsip PSA sangat bergantung pada tekanan kerjanya. Semakin tinggi tekanan, semakin banyak gas yang teradsorpsi, ketika tekanan berkurang maka gas akan dilepaskan, dapat dilihat pada gambar 2.2,

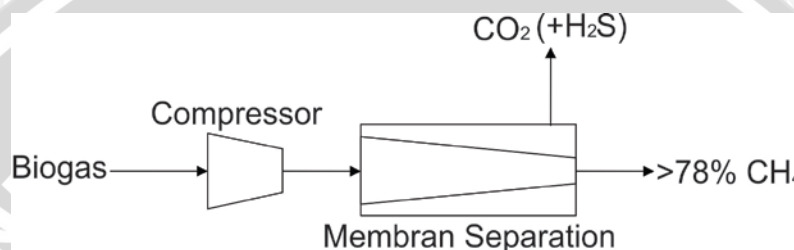


Gambar 2.2 Prinsip Kerja PSA
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

PSA menggunakan zeolit atau karbon aktif pada tingkat tekanan yang berbeda merupakan metode yang efektif untuk pemisahan CO₂ dari gas metana. Karbon aktif diresapi dengan kalium iodida katalis dapat bereaksi dengan oksigen dan H₂S untuk membentuk air dan belerang.

b. Membran Separation

Prinsip pemisahan dengan menggunakan membran adalah, bahwa beberapa komponen dari gas baku dapat melewati membran yang tipis sementara yang lain tertahan oleh membran. Permeabilitas adalah fungsi langsung dari kelarutan kimia dari komponen yang ingin ditahan dalam membran. Membran padat dapat dibuat dari serat berongga atau struktur lain yang memberikan permukaan membran besar per volume dan unit sehingga sangat kompak. Prinsip dasar pemisahan membran menciptakan kemurnian gas metan yang semakin tinggi. Kemurnian gas dapat ditingkatkan dengan meningkatkan ukuran atau jumlah modul membran.



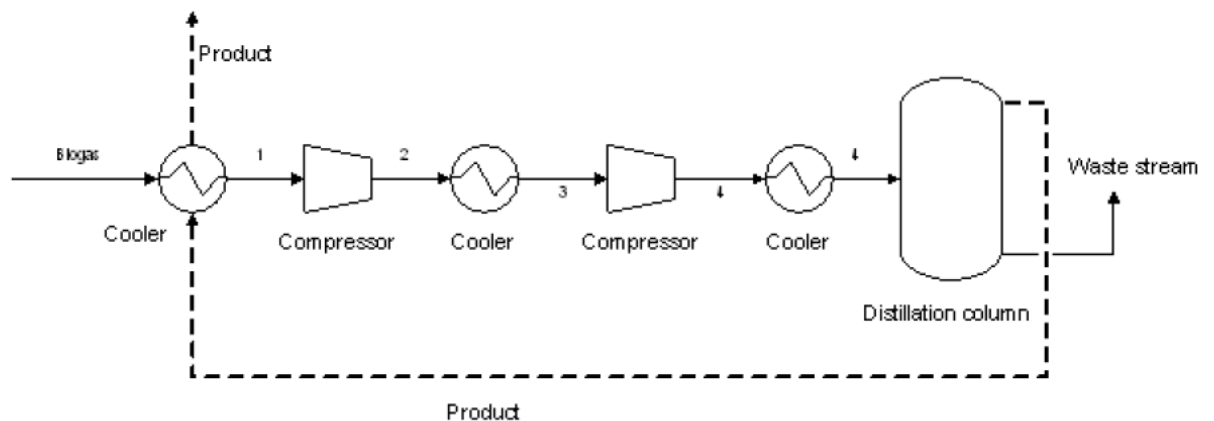
Gambar 2.3 Pemurnian Biogas Dengan Menggunakan Membran.
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.3 dapat kita lihat pemurnian dengan menggunakan membrane, dalam gambar tersebut kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan dari biogas, kemudian gas masuk kedalam separator, didalam separator terdapat membrane yang berfungsi untuk menahan gas – gas pengganggu, terutama CO₂, ukuran CO₂ lebih besar dibandingkan CH₄, sehingga gas yang keluar dari separator konsentrasi CO₂ nya menurun karena banyak tertahan oleh membrane, sedangkan prosentase CH₄ nya tetap, dan lebih murni.

c. Cryogenic Separation

Pemisahan kriogenik biogas ini didasarkan pada kenyataan bahwa CO₂, H₂S dan semua kontaminan lainnya yang terdapat dalam biogas dapat dipisahkan dari CH₄, berdasarkan pada kenyataan bahwa setiap kontaminan mencair pada tekanan suhu yang berbeda, CO₂ pada tekanan atmosfer akan mencair ketika berada pada temperatur -78,5 °C, sedangkan CH₄ akan mencair pada suhu -161 °C pada tekanan atmosfer. Sehingga proses pemisahan ini akan beroperasi pada temperatur yang rendah, mendekati -100°C, dan pada tekanan tinggi, hampir 40 bar. Persyaratan

operasi ini dipertahankan dengan menggunakan rangkaian linier kompresor dan pengubah panas, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ;



Gambar 2.4 Alur Pemisahan Kriogenik

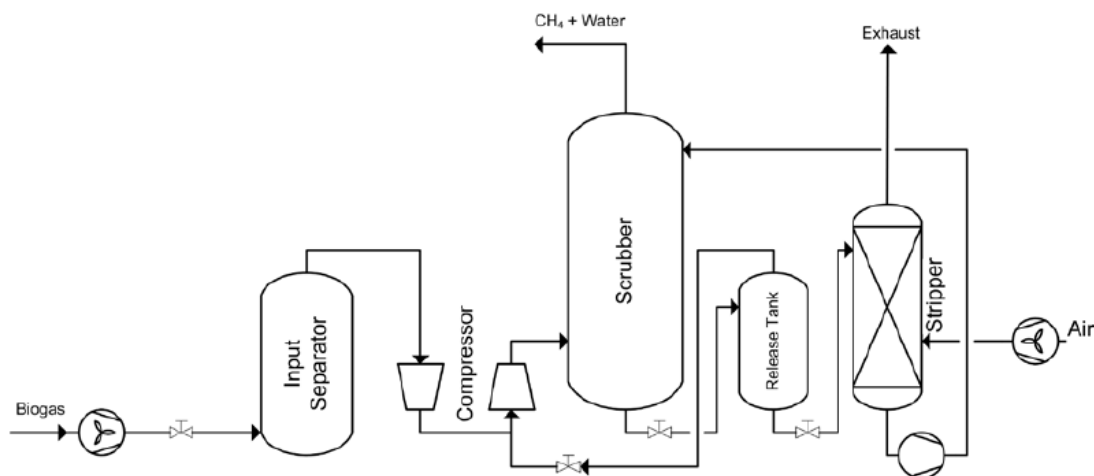
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.4 dapat dilihat instalasi pemisahan kriogenik, didalam skema instalasi tersebut, untuk dapat mencairkan suatu gas, diperlukan beberapa tahapan dengan menggunakan kombinasi dari penukar panas, dan kompresor. Kombinasi penukar panas, dan kompresor digunakan untuk mendinginkan gas sehingga temperatur menjadi sekitar $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. CO_2 kemudian menjadi cair, dan dapat dengan mudah dihapus. Pemisahan kriogenik cukup mahal, karena investasi yang tinggi dalam peralatan dan operasional (energi), dan biaya tinggi untuk pendinginan gas.

d. High Pressure Water

Air digunakan untuk menghilangkan CO_2 dan H_2S dari biogas karena gas ini lebih mudah larut dalam air dibandingkan gas metana. Proses ini merupakan proses penyerapan fisika murni. Dalam pelaksanaannya biogas yang bertekanan, akan dikeluarkan melalui bagian bawah kolom, dan pada saat yang bersamaan air disemprotkan dari atas kolom, sehingga proses penyerapan berlangsung saat gas dan air berkontak langsung, seperti yang ditunjukkan gambar 2.5. Pemurnian dengan air juga dapat digunakan untuk menghilangkan H_2S karena lebih cepat larut dari karbon dioksida didalam air. Air yang keluar dari kolom, membawa CO_2 hasil penyerapan, dan untuk H_2S dapat diregenerasi kembali sebelum beredar kembali ke dalam kolom absorpsi. Regenerasi dilakukan dengan stripping udara dalam kolom yang sama. Stripping dengan udara tidak dianjurkan ketika tingkat tinggi

H₂S tinggi, karena air cepat menjadi terkontaminasi dengan sulfur dasar sehingga dapat menyebabkan masalah operasional. (J.de Hullu. 2008)



Gambar 2.5 Flowchart High Pressure Water

Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.5 dapat dilihat gas dari biogas dikompresi terlebih dahulu dengan menggunakan kompresor, gas akan masuk kedalam kolom melalui bagian bawah kolom, dan pada saat yang bersamaan air disemprotkan dari atas kolom. Ketika gas dan larutan berkontak secara langsung, proses penyerapan akan terjadi. Kolom ini diisi dengan paket untuk meningkatkan luas permukaan antarmuka air dan gas. Air yang hampir jenuh dengan CO₂ juga akan mengandung sejumlah kecil CH₄. Air yang jenuh dapat digunakan kembali setelah dilakukan regenerasi atau pelepasan CO₂ di dalam kolom stripper dimana CO₂.

Selain dengan bantuan teknologi seperti yang dijelaskan di atas, beberapa bahan dan cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kemurnian biogas adalah dengan cara melakukan ;

- a. Pengurangan kandungan uap air (H₂O)

Di dalam biogas terkandung juga sejumlah uap air. Bila terjadi penurunan suhu lingkungan maka uap air akan mengalami kondensasi yang terjadi pada sistem perpipaannya. Bila kandungan uap air tidak dikendalikan maka akan menyebabkan terganggunya sistem perpipaan karena sistem perpipaan dipenuhi dengan air. Selain itu juga akan menyebabkan sistem perpipaan rapuh akibat korosi apabila pipa yang digunakan terbuat dari pipa logam. Teknik pemisahan

uap air yang telah berkembang saat ini antara lain adalah teknik pemisahan secara grafitasi dengan menggunakan *in-line gravity outflow*, penyaringan, *triethylene glycol system* (TEG), *molecular sieves*, pemanasan, pendinginan udara, dan pendinginan refrigerasi. Teknologi *molecular sieves* relatif mahal dan sangat efisien. Kapasitas penyerapannya lebih besar dari semua bahan penyerap lainnya. *Molecular sieves* terdiri dari kristal aluminosilikat yang memiliki struktur sarang lebah yang diinterkoneksi oleh pori, dengan kisaran diameter 3 sampai 100 Angstrom. Karena karakteristik muatan polar *molecular sieves*, senyawa-senyawa polar atau yang dapat terpolarisasi sangat mudah diserap oleh *molecular sieves*.

b. Pengurangan kandungan H₂S

Hidrogen sulfida di dalam biogas berasal dari degradasi anaerobik protein dan senyawa organik lainnya yang mengandung senyawa sulfur. Konsentrasi H₂S dalam biogas bervariasi antara 0,1 sampai 3 %. Pada umumnya, biogas yang dihasilkan dari kotoran ternak limbah industri yang kaya akan protein mengandung kadar hidrogen sulfida yang lebih tinggi. H₂S merupakan suatu zat yang korosif pada peralatan yang menggunakan bahan bakar biogas. Apabila jumlahnya terlalu besar dalam biogas maka H₂S perlu dihilangkan. Untuk menghilangkan H₂S dapat menggunakan larutan NaOH, CuSO₄, Fe₂(SO₄)₃, dan Fe-EDTA, seperti yang telah dilakukan oleh Kusuma Aditya dkk (2012), dan Endang Kwartiningsih dkk (2009).

c. Pengurangan CO₂

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk pemisahan gas CO₂ pada aliran gas secara umum. Berbagai teknologi yang dikembangkan bisa diklasifikasikan berdasarkan jumlah CO₂ yang terkandung di dalamnya. Dalam biogas karbon dioksida merupakan zat pengotor yang perlu dihilangkan, karena karbon dioksida merupakan gas yang dapat menurunkan nilai kalor biogas, dengan menurunnya nilai kalor tersebut maka energi yang dihasilkan biogas akan lebih kecil sehingga efisiensi yang dihasilkan dari pembakaran biogas akan menurun. Selain itu karbon dioksida merupakan salah satu gas pemicu rumah kaca yang berakibat pada pemanasan global. Oleh sebab itu gas karbon dioksida merupakan gas yang perlu dikurangi jumlahnya dengan jalan di serap oleh zat penyerap. Untuk menghilangkan CO₂ dapat menggunakan larutan amina, NaOH, Ca(OH)₂, KOH, larutan glikol, air, selain menggunakan larutan juga dapat

menggunakan padatan seperti tembaga murni, zeolit, dll.

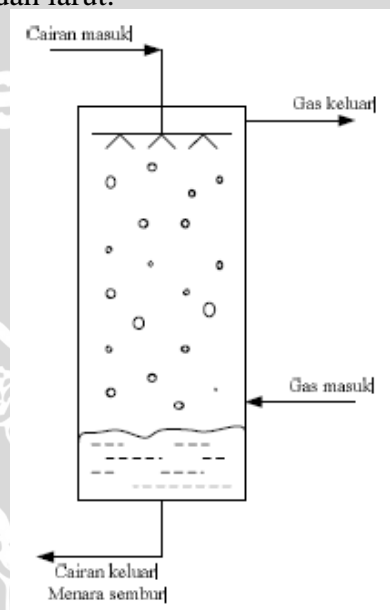
2.4 Absorpsi

Absorpsi merupakan suatu proses pemisahan suatu komponen fluida dari campurannya dengan menggunakan fluida lain. Sesuai dengan jenis ikatan yang terdapat antara bahan yang diadsorpsi dan adsorbennya, maka adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika atau sering disebut adsorpsi Van Der Waals terjadi karena adanya gaya interaksi antara molekul yang lemah sehingga bersifat *reversible*. Kesetimbangan yang dicapai adsorpsi fisik berlangsung dengan cepat. Sifat adsorpsi kimia lebih spesifik daripada adsorpsi fisika karena adsorpsi kimia membutuhkan energi aktivasi untuk membentuk ikatan antara adsorbat dan adsorben. Adsorpsi kimia relatif lambat, tidak mudah balik dan hanya membentuk lapisan pada permukaan. Dalam keadaan nyata fenomena adsorpsi merupakan kombinasi dari adsorpsi kimia dan fisika. Banyaknya zat yang terabsorpsi tergantung pada sifat khas zat tersebut. Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi oleh jenis adsorben yang digunakan, zat yang terabsorpsi, konsentrasi adsorben dan zat, luas permukaan, temperatur dan tekanan zat yang terabsorpsi. Adsorpsi digunakan untuk menyatakan bahwa ada zat lain yang terserap pada zat itu, misalnya karbon aktif dapat menyerap molekul-molekul asam asetat dalam larutannya. Tiap partikel adsorban dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik-menarik. Karbon lebih baik menyerap non elektrolit. Zat anorganik lebih baik menyerap elektrolit. Adanya pemilihan zat yang diserap menyebabkan timbulnya adsorpsi negatif.

Dalam proses absorpsi dengan menggunakan larutan kimia, yang harus diperhatikan adalah temperatur saat proses penyerapan dan pelepasan berlangsung, adsorben akan lebih maksimal bila temperatur penyerapannya lebih rendah dari temperatur ambien, dan temperatur maksimalnya sama dengan temperatur ambien, dan dalam pelepasan, adsorben akan lebih maksimal melepaskan ketika temperatur dinaikan sampai mendekati titik didih nya adsorben tersebut. Peristiwa absorpsi adalah salah satu peristiwa perpindahan massa yang besar peranannya dalam proses industri, dan dalam prosesnya ini dikendalikan oleh besar kontak antara kedua fasa tersebut. Pada umumnya proses penyerapan dilakukan dalam suatu menara, baik yang tersusun dari jumlah lapisan – lapisan plat (*tray tower*), ataupun yang berisi sejumlah bahan isian dengan ketinggian dan jumlah lapisan tertentu (*packed tower*). Berikut 4 golongan menara absorpsi :

a. Menara Sembur

Menara sembur terdiri dari sebuah menara, dimana dari puncak menara cairan disemburkan dengan menggunakan nosel semburan. Tetes - tetes cairan akan bergerak ke bawah karena gravitasi, dan akan berkontak dengan arus gas yang naik ke atas, seperti yang dillihatkan pada gambar 2.6. Nosel semburan dirancang untuk membagi cairan kecil - kecil. Makin kecil ukuran tetes cairan, makin besar kecepatan kontakannya. Tetapi apabila ukuran tetes cairan terlalu kecil, tetes cairan dapat terikut arus gas keluar. Menara sembur biasanya digunakan untuk transfer massa gas yang sangat mudah larut.

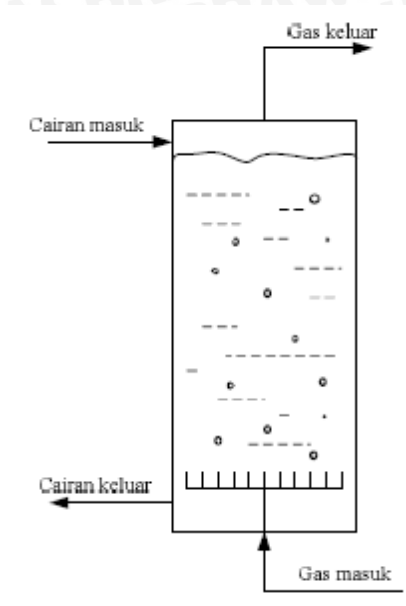


Gambar 2.6 Menara Sembur

Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

b. Menara Gelebung

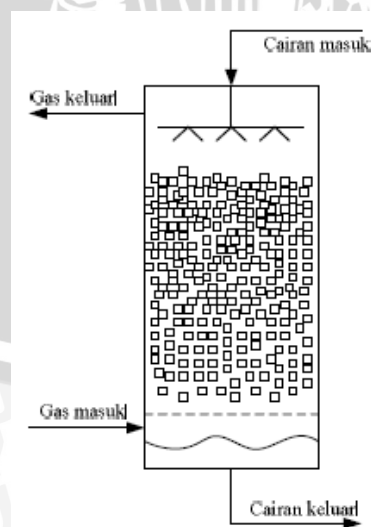
Menara gelebung terdiri dari sebuah menara, dimana di dalam menara tersebut gas didispersikan dalam fase cair dalam bentuk gelebung. Kontak fase terjadi pada waktu gelebung terbentuk dan pada waktu gelebung naik ke atas melalui cairan, seperti yang dillihatkan pada gambar 2.7. Menara gelebung digunakan untuk gas - gas yang relatif sukar larut. Gelebung dapat dibuat misalnya dengan pertolongan distributor pipa, yang ditempatkan mendatar pada dasar menara.



Gambar 2.7 Menara Gelembung
Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

c. Menara *Packing*

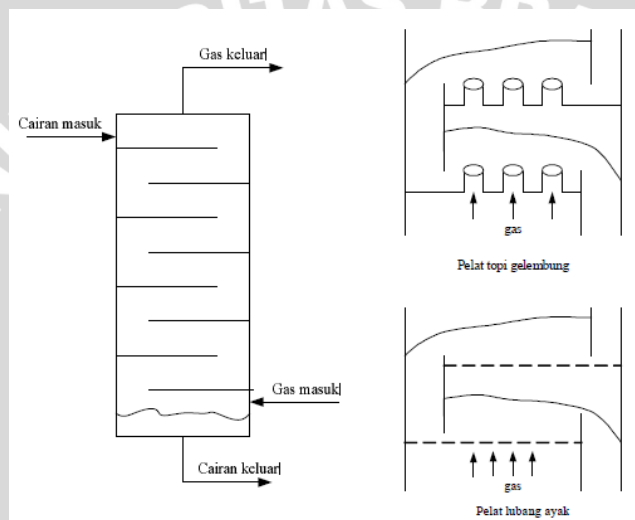
Menara *packing* adalah menara yang diisi dengan bahan pengisi, seperti yang dilihat pada gambar 2.8. Adapun fungsi bahan pengisi ialah untuk memperluas bidang kontak antara kedua fase. Bahan pengisi yang banyak digunakan antara lain : cincin *rasching*, cincin *lessing*, cincin partisi, *sadel bell*, *sadel intalox* dan cincin pall. Di dalam menara ini, cairan akan mengalir ke bawah melalui permukaan bawah pengisi, sedangkan cairan akan mengalir ke atas secara arus berlawanan, melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi.



Gambar 2.8 Menara *Packing*
Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

d. Menara Pelat

Menara pelat adalah menara yang secara luas telah digunakan dalam industri. Menara ini mempunyai sejumlah pelat dan fasilitas yang ada pada setiap pelat, maka akan diperoleh kontak yang sebaik-baiknya antara fase cair dengan fase gas, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Fasilitas ini dapat berupa topi gelembung (*bubble caps*) atau lubang ayak (*sieve*), seperti pada gambar 2.9. Pada pelat topi gelembung dan lubang ayak, gelembung-gelembung gas akan terbentuk. Kontak antar fase akan terjadi pada waktu gelembung gas terbentuk dan pada waktu gelembung gas naik ke atas pada setiap pelat. Cairan akan mengalir dari atas ke bawah melintasi pelat di dalam kolom.



Gambar 2.9 Menara Pelat

Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

Dan dalam penelitian kali ini akan digunakan menara *paking* sebagai wadah tempat absorpsi berlansung yang berisikan *tube – tube* kecil yang bertujuan untuk memperlambat laju aliran dari biogas, dan absorben, sehingga kontak antara absorben dan biogas nya lebih lama, dan luas.

2.5 Absorben

Absorben merupakan larutan yang dapat melarutkan bahan / fluida yang akan di absorpsi, baik secara fisik maupun kimia. Dalam penelitian kali ini, akan digunakan tiga macam absorben, yaitu ;

2.5.1 Air

Air merupakan salah satu senyawa yang penting bagi kehidupan makhluk hidup di Bumi. Sebagian besar Bumi di kelilingi oleh air. Air merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Air terdapat dalam berbagai bentuk, misalnya uap air, es, cairan, dan salju. Air di daratan terdapat di sungai, danau, air tanah (*ground water*), dan gunung es (*glacier*). Semua badan air di daratan dihubungkan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara kontinu.

Air merupakan pelarut yang baik. Air mampu melarutkan berbagai jenis senyawa kimia, dan memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain, seperti pada suhu dan tekanan standar fase air adalah cair, perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik, sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika, dan memerlukan panas yang tinggi untuk dapat menguap. (Anonymous_a, 2013)

Air memiliki ciri – ciri tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau pada tekanan dan temperatur normal. Sifat air yang dapat melarutkan berbagai jenis senyawa kimia, memungkinkan air untuk digunakan sebagai pencuci yang baik, dan pengencer bahan pencemar (polutan) yang terdapat di udara bebas, seperti karbon dioksida (CO_2). Sifat fisik air berubah – ubah tergantung pada temperatur air saat itu, seperti masa jenis air pada temperatur $0^\circ C$ dengan $100^\circ C$, sebesar 0,99987, dengan 0,9584, adapun sifat fisika air pada berbagai temperatur dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.3 Sifat Fisik Air Pada Temperature Tertentu

| | 0° | 20° | 50° | 100° |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Massa Jenis (g/cm^3) | 0,99987 | 0,99823 | 0,9981 | 0,9584 |
| Panas Jenis ($kal/g.^{\circ}C$) | 1,0074 | 0,9988 | 0,9985 | 1,0069 |
| Kalor Uap (kal/g) | 597,3 | 586,0 | 569,0 | 539,0 |
| Konduktivitas termal ($kal/cm.s.^{\circ}C$) | $1,39 \times 10^{-3}$ | $1,40 \times 10^{-3}$ | $1,52 \times 10^{-3}$ | $1,63 \times 10^{-3}$ |
| Tegangan Permukaan ($dyne/cm$) | 75,64 | 72,75 | 67,91 | 58,80 |
| Laju Viskositas ($g/cm.s$) | $178,34 \times 10^{-4}$ | $178,34 \times 10^{-4}$ | $178,34 \times 10^{-4}$ | $178,34 \times 10^{-4}$ |
| Tetapan Dielektrik | 87,825 | 80,8 | 69,725 | 55,355 |

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Untuk mengurangi kadar karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas, dapat dilakukan dengan melewati biogas kedalam air sehingga terjadi proses absorpsi. Gas karbon dioksida (CO₂) akan terikat oleh air, sedangkan gas metana (CH₄) tidak terikat dengan air. Dengan berkurangnya konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dalam biogas, maka konsentrasi gas metana (CH₄) akan semakin besar. Reaksi gas karbon dioksida (CO₂) dengan air dapat dituliskan sebagai berikut ;



Reaksi air dan CO₂ menghasilkan asam karbonat, reaksi tersebut merupakan suatu reaksi *reversible* eksotermis. Dengan mengatur suhu reaksi, maka reaksi di atas dapat dibalik menjadi reaksi pelepasan CO₂ dari molekul air yang merupakan suatu reaksi endotermis.

2.5.2 CaOH

Air kapur atau yang lebih dikenal dalam rumus kimia sebagai kalsium hidroksida (CaOH) adalah suatu campuran antara air dan senyawa kimia tak berwarna atau berupa bubuk putih CaO. Selain itu *air kapur* CaOH juga dapat dihasilkan oleh campuran antara larutan kalsium klorida dan larutan natrium hidroksida. Air kapur ini merupakan larutan yang memiliki tingkat kekuatan basa cukup kuat. Larutan ini dapat bereaksi dengan sangat baik dengan larutan asam juga dengan beberapa logam dengan bantuan air tentunya. Air kapur dapat berupa kristal tak berwarna atau bubuk putih. Dalam kesehariannya air kapur sering digunakan sebagai salah satu bahan dalam pengolahan limbah, sebagai bahan alkali untuk menggantikan natrium hidroksida, dan sebagai reaktan dalam reaksi kimia. Air kapur dapat mengikat karbon dioksida (CO₂) yang ditunjukkan dengan terjadinya perubahan warna larutan dari jernih menjadi cukup keruh. Hal ini dapat dikarenakan air kapur yang diberi aliran gas karbon dioksida akan menghasilkan endapan kalsium karbonat yang menjadikan larutan ini menjadi berwarna keruh. Adapun sifat fisika kalsium hidroksida sebagai berikut ;

Tabel 2.4 Sifat Fisik CaOH

| | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Berat Molekul : | 74.10 gr/mol |
| Densitas : | 2.24 gr/cm ³ |
| Titik Lebur : | 580 °C |
| pH : | 14 |
| Kelarutan (g/100 g H ₂ O) | 0.185 g (0°C) 0.173 g (20°C) |

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Untuk mengurangi kadar karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas, dapat dilakukan dengan melewati biogas kedalam air kapur sehingga terjadi proses absorpsi. Gas karbon dioksida (CO₂) akan terikat oleh air kapur, sedangkan gas metana (CH₄) tidak terikat dengan air kapur. Dengan berkurangnya konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dalam biogas, maka konsentrasi gas metana (CH₄) akan semakin besar. Reaksi gas karbon dioksida (CO₂) dengan air kapur dapat dituliskan sebagai berikut ;



Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan karbonat dapat diabaikan karena karbonat bereaksi dengan OH⁻ membentuk CO₃²⁻.

2.5.3 Tri Etil Amina (TEA)

Salah satu larutan amina yang dapat digunakan sebagai absorben dalam penyerapan CO₂ adalah Tri Etil Amina (TEA), dengan rumus kimia N(CH₂CH₃)₃. Larutan TEA terbentuk dari sintesa organik etilamina, atau yang biasa disebut monoetilamina (MEA), yang disintesa dengan menambahkan larutan sebanyak 3 kali. Adapun susunan proses terjadinya TEA, dimulai dari MEA yang disintesis menjadi dietilamina (DEA), yang kemudian disintesis lagi sehingga akhirnya menjadi TEA. Ketiga larutan ini biasa dijumpai di industri – industri pemurnian dalam skala yang besar. TEA merupakan larutan yang mudah menguap, dengan bau amis yang kuat, mengingat TEA merupakan salah satu larutan amina, atau bahkan berbau tanaman hawthorn dari inggris. Larutan TEA bewarna bening jernih, viskositasnya tinggi, menyerap CO₂, dan TEA yang sudah rusak akan berubah warna menjadi bening kekuningan, TEA dapat rusak bila terlalu lama dibiarkan menguap atau terletak di ruang

terbuka terlalu lama. Sifat fisis dari TEA dapat dilihat dari tabel berikut ;

Tabel 2.5 Sifat Fisik Tri Etil Amina (TEA)

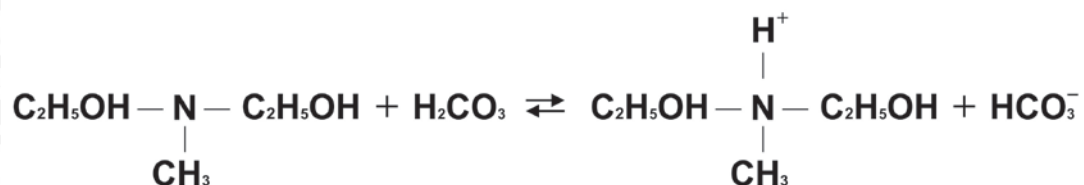
| Properties | |
|-------------------|---|
| Molecular Formula | C ₅ H ₁₅ N |
| Molar Mass | 101.19 g/mol |
| Appearance | Colourless liquid |
| Odor | Fishy, ammoniacal |
| Density | 0.7255 g/mL |
| Melting Point | -115°C, 158.45 K, -174°F |
| Boiling Point | 89-90°C, 361.7 – 362.9 K, 191-194°F |
| Log P | 1.647 |
| Vapor Pressure | 6.899 – 8.506 kPa |
| K _h | 66 μmol Pa ⁻¹ kg ⁻¹ |
| Refractive index | 1.401 |

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Dalam proses mengurangi kadar CO₂ tersebut, bisa dilakukan dengan menyemprotkan larutan TEA kedalam *packed collum* dari atas, dan disaat yang bersamaan biogas dilewatkan dari bawah *collum*. Ketika gas dan TEA berkontak langsung, TEA akan langsung bereaksi untuk menyerap CO₂, sedangkan CH₄ tidak akan menyebabkan reaksi pada TEA. Dengan berkurangnya kadar CO₂ dalam biogas maka perbandingan konsentrasi CH₄ dengan CO₂ akan semakin besar CH₄. Proses penyerapan CO₂ dimulai dengan terbentuknya H₂CO₃. Reaksi pelarutan CO₂ dalam air adalah sebagai berikut:



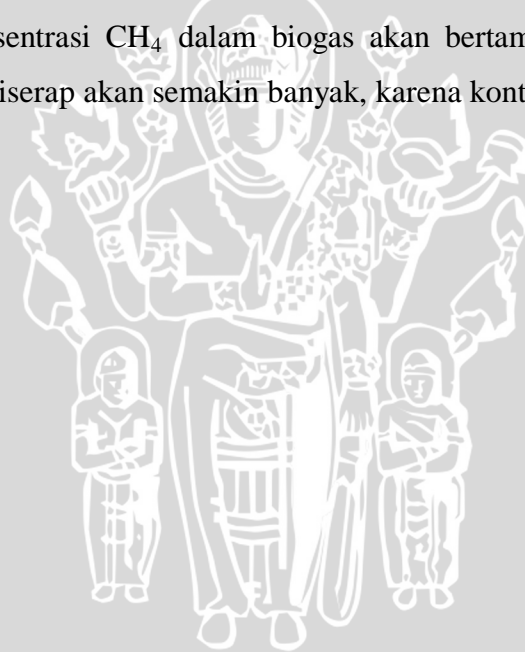
Kemudian TEA akan bereaksi dengan H₂CO₃ yang akan membentuk ion karbonat ;



Reaksi tersebut suatu reaksi *reversible* eksotermis. Dengan mengatur suhu reaksi, maka reaksi di atas dapat dibalik menjadi reaksi pelepasan CO₂ dari molekul TEA yang merupakan suatu reaksi endotermis. Dengan meningkatkan suhu pada TEA dengan menggunakan bantuan *heater* maka TEA akan dapat melepas CO₂, kemudian TEA akan dilewatkan kedalam condensor untuk menurunkan suhu TEA kembali jadi normal, dan TEA akan dapat digunakan kembali dalam penyerapan CO₂ didalam *packed collum*, sehingga proses regenerasi berjalan.

2.6 Hipotesa

Dengan menggunakan tiga macam absorben maka gas CO₂ yang terdapat dalam biogas akan berkurang karena diabsorpsi oleh masing – masing absorben. Sehingga konsentrasi CO₂ dalam biogas akan semakin berkurang. Berkurangnya konsentrasi CO₂ dalam biogas maka konsentrasi CH₄ dalam biogas akan bertambah. Semakin tinggi tubing, maka CO₂ yang diserap akan semakin banyak, karena kontak antar fase semakin lama, dan luas.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental (*experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan baru terhadap suatu proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda terhadap suatu percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh perlakuan yang paling efektif. Dengan cara ini akan diuji pengaruh variasi tinggi *tubing* terhadap efektivitas absorben dalam proses penyerapan CO₂ pada sistem purifikasi gas.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September - November 2013. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Variable-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah ;

- a. Absorben yang digunakan air, CaOH, dan TEA
- b. Tinggi *tubing* yang diamati 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm dan, 50 cm

2. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah :

- a. Ketinggian menara absorpsi setinggi 85 cm.
- b. Tinggi masing – masing tube 1 cm, dengan diameter 1 cm.
- c. Perbandingan gas CH₄ dan CO₂ yang masuk sebesar 80 % : 20 %.
- d. Kecepatan pompa dianggap konstan.

- e. Laju aliran gas CH_4 dan CO_2 yang masuk tabung purifikasi sebesar 0,1 liter/min, sebanyak 2 L.
- f. Komposisi perbandingan campuran :
 - TEA dengan air, sebesar 500 mL : 3000 mL.
 - CaOH yang digunakan sebanyak 20 gr dilarutkan dalam air 3L
 - Air PDAM sebanyak 3 L

3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah Kadar CO_2 (% Vol.)

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

A. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Tri Etil Amina (TEA)

TEA digunakan sebagai bahan penyerap CO_2 pada sistem purifikasi gas.



Gambar 3.1 Larutan TEA

2. CaOH

Digunakan sebagai salah satu bahan penyerap CO_2 , pada purifikasi gas.



Gambar 3.2 CaOH dalam Bentuk Serbuk

3. Gas Metana (CH_4)

CH_4 digunakan sebagai gas utama yang akan dikombinasikan dengan gas CO_2 dan yang akan dilewati oleh absorben.



Gambar 3.3 Tabung Gas CH_4

3. Gas Karbon Dioksida (CO_2)

CO_2 digunakan sebagai gas utama yang akan dikombinasikan dengan gas CH_4 dan yang akan diserap oleh absorben.



Gambar 3.4 Tabung Gas CO_2

B. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Regulator Gas CH_4

Digunakan untuk menurunkan tekanan, mengatur, dan mengukur tekanan gas CH_4 sebelum masuk kedalam tabung purifikasi.



Gambar 3.5 Regulator Gas CH_4

Merk : Turbo Z
 Kapasitas Tekanan : 800 Bar
 Buatan : Italy

2. Regulator Gas CO₂

Digunakan untuk menurunkan tekanan, mengatur, dan mengukur tekanan gas CO₂ sebelum masuk kedalam tabung purifikasi.



Gambar 3.6 Regulator Gas CO₂

Merk : Gentec (Genstar Technology)
 Kapasitas Tekanan : 300 bar
 Buatan : California

3. Flowmeter Gas

Digunakan untuk mengatur, dan mengukur laju aliran gas CO₂ dan CH₄ sebelum masuk kedalam tabung purifikasi.



Gambar 3.7 Flowmeter Gas

Merk : Kofloc
 Kapasitas Tekanan : 0,1 – 2 liter/min
 Buatan : Taiwan

4. Gas detector

Digunakan untuk mengukur kadar kandungan gas CH_4 yang terdapat dalam gas.



Gambar 3.8 Gas Detector.

| | |
|-----------------|--|
| Merk | : Gas Detector |
| Type | : HSTZQ168 |
| Tipe Sensor | : NDIR |
| Power Supply | : Lithium Battery DC 3.6V 1800mAh |
| Detection Range | : CH_4 : 0 ~ 100% CO_2 : 0 ~ 50% pH : 0.0 ~ 14.0 |
| Buatan | : Shanghai, China |

5. Stargas

Digunakan untuk mengukur kadar kandungan gas CO_2 yang terdapat dalam biogas.



Gambar 3.9 Stargas.

| | |
|--------------|--|
| Merk | : Technotest |
| Type | : Multigas 488 plus / 473 |
| Power Supply | : 110/220/240 V ($\pm 15\%$) 50÷60 Hz ($\pm 3\%$) |

Detection Range : CO₂ : 0 - 20 %

Buatan : Italy

6. Packed Collum

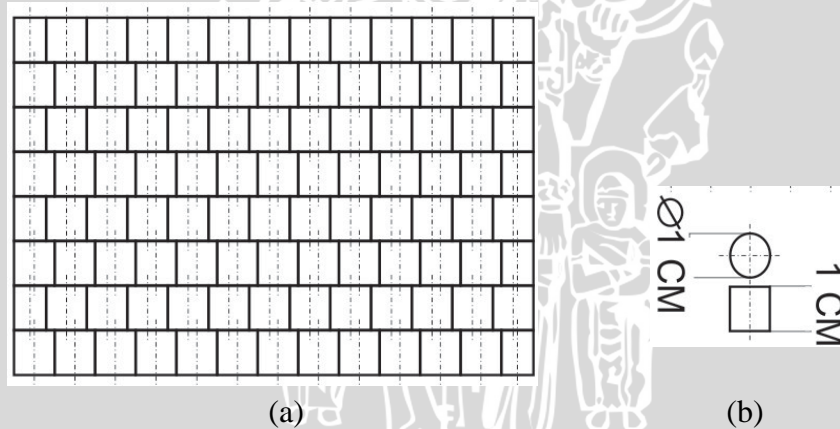
Digunakan sebagai wadah bertemunya larutan dengan gas. Terbuat dari pipa PVC.



Gambar 3.10 Packed Collum

7. Layer Tube

Digunakan untuk memperluas dan memperlama kontak antar fase, susunan Tube dibuat menyerupai sarang lebah yang saling berimpitan. Tube terbuat dari sedotan bubble dengan diameter 1 cm.



Gambar 3.11 (a). Layer Tube tampak samping, (b) Dimensi tube

8. Selang

Digunakan untuk menghubungkan pompa dengan menara *paking*.

9. Pompa

Digunakan untuk memindahkan dan menyempatkan larutan.

10. Stop Kran Tembaga 3/8 inch

Digunakan untuk menutup jalur masuk absorben kedalam menara *paking*.

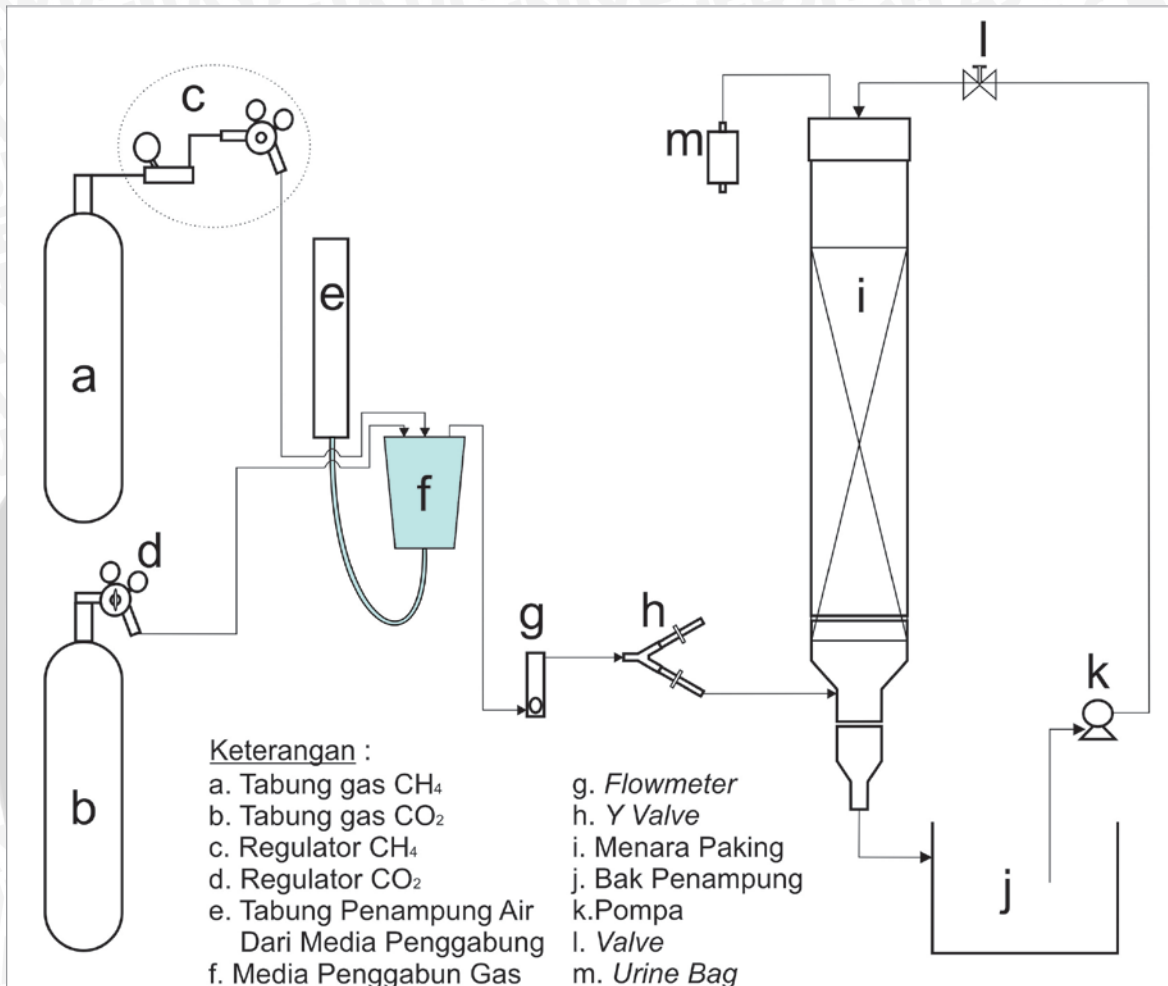
11. Spray Shower

Digunakan untuk meratakan penyempotan absorben ke dalam *Packing Collum*.

12. Valve

Digunakan untuk menyatukan aliran gas CH_4 , dan CO_2

3.5 Skema Instalasi



Gambar 3.12 Skema Instalasi Penelitian.

Dalam penelitian kali ini digunakan dua macam gas, yaitu gas CH_4 (a), dan CO_2 (b). Dalam pelaksanaannya, kedua gas tersebut akan digabungkan terlebih dulu dengan menggunakan media penggabung (f), didalam media penggabung terdapat air yang digunakan sebagai indikator banyaknya gas yang telah masuk ke dalam media penggabung dengan melihat level air telah mengurangi berapa stipe nya dari kondisi awal, ketika gas telah masuk kedalam media penggabung, air yang terdapat didalam media penggabung akan naik ke tabung penampung air (e), sehingga air didalam media penggabung akan menjadi kosong, dan setelah gas CH_4 dan CO_2 bersatu diatur lajunya dengan menggunakan *flowmeter* (f) untuk masuk kedalam menara *paking* (i). Penyerapan gas CO_2 berlangsung didalam menara *paking* yang merupakan tempat

bertemunya fase gas, dan fase cair, fase gas masuk dari bawah menara, dan fase cair masuk dari atas menara, kontak antara dua fase pun terjadi, dan proses penyerapan CO_2 pun berlangsung. Menara absorpsi sendiri terbuat dari PVC setinggi 85 cm, dengan diameter 3". Didalam menara absorpsi terdapat isian – isian berupa *layer – layer tube* yang bertujuan untuk memperluas kontak antar fasenya. *layer – layer tube* tersebut terbuat dari sedotan – sedotan *bubble* yang berukuran diameter 1 cm, setinggi 1 cm, dan dalam penelitian kali ini akan divariasikan tinggi dari *layer – layer tube* ini.

Penambahan tinggi *tube* nya dilakukan dengan memberikan penambahan *layer* kedalam menara sampai dicapai ketinggian yang diinginkan, penambahannya dilakukan dari bawah menara sampai ke atas menara sesuai dengan ketinggian yang diamati, dan susunan dari *layer* tersebut dibuat zig – zag dengan harapan dapat memperluas kontak antar fasenya, dan memperlama waktu kontak antar fasenya. Fase gas akan masuk dari bawah kolom yang laju alirnya dijaga konstan sebesar 0,1 liter/min, sedangkan fase larutan atau absorbennya akan masuk dari atas kolom yang dipindahkan dari bak penampung (j) dengan menggunakan pompa (k), dan disemprotkan dengan spray didalam kolom. Gas yang telah melewati proses pemurnian akan keluar dari atas kolom, gas hasil pemurnian akan masuk kedalam media penyimpanan dengan menggunakan urine bag (m), dan kemudian dianalisa dengan menggunakan bantuan stargas (i) untuk mendeteksi seberapa banyak CO_2 yang tersisa dalam kandungan tersebut

3.6 Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat menguatkan dalam pengambilan hipotesa serta memperjelas hasil penelitian.

2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk studi terhadap kopnstruksi, bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian.

3. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan dengan mempersiapkan bahan untuk pembuatan *Packed Collum*, dan *Layer Tube*., bahan untuk absorben, dan pencarian pompa.

4. Perancangan Instalasi

Perancangan instalasi dimulai dengan membuat alat purifikasi berupa *packing collum* yang berisikan *Layer Tube*, pemasangan bak penampung, dan pengetesan pompa.

5. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan pada instalasi proses, dan pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah prosentase keluaran gas CH_4 , dan CO_2 .

6. Analisa

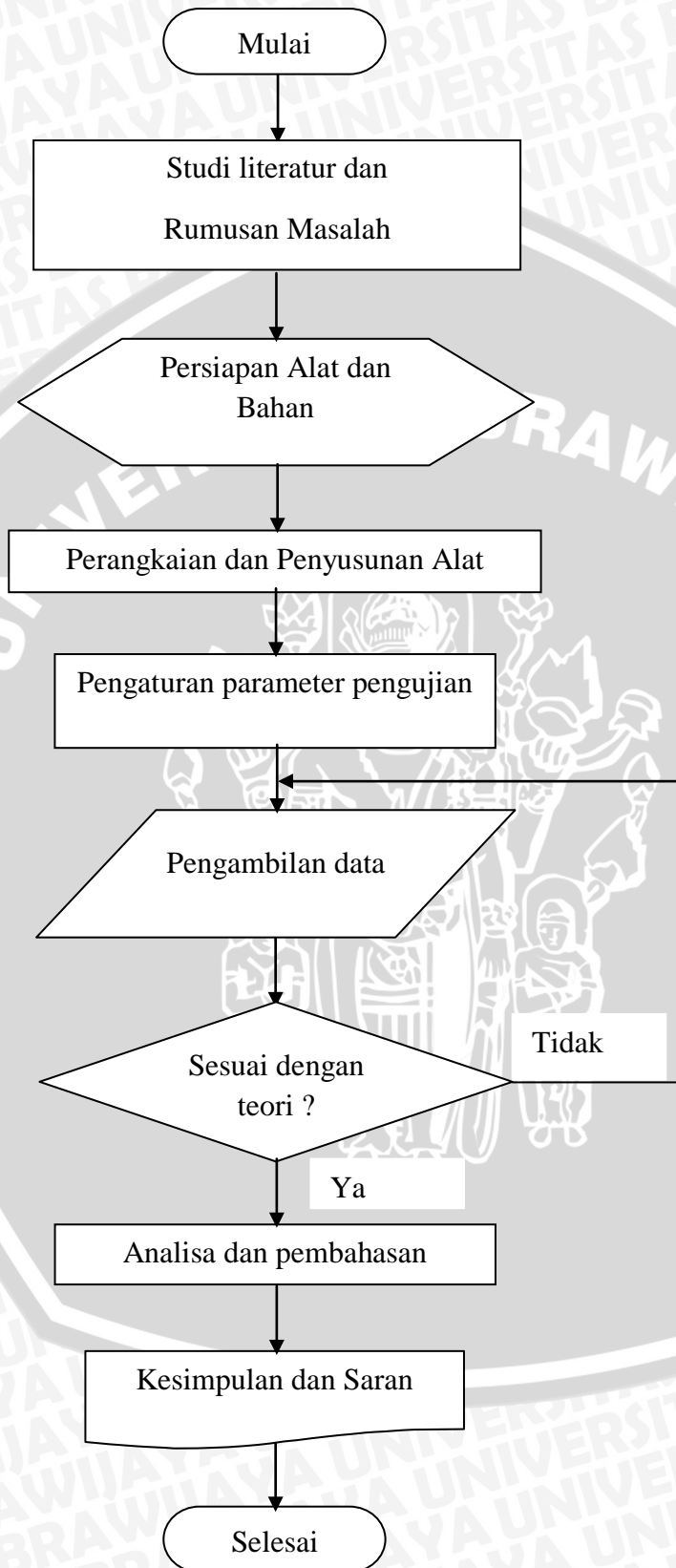
Analisa pengujian dilakukan dengan mengamati, dan membandingkan data yang ada, dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.7 Pelaksanaan Penelitian

1. Menyiapkan semua peralatan yang diperlukan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi yang telah direncanakan.
2. Memastikan semua katub pada tabung gas dalam keadaan tertutup.
3. Pengambilan data pertama dilakukan dengan air.
4. Menyiapkan bak penampung yang telah terisi oleh air.
5. Variasi ketinggian setinggi 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm dengan memasukan *layer tube*.
6. Memuka katub masuk ke menara *paking*.
7. Menyalakan pompa.
8. Mengatur bukaan regulator gas CH_4 sebesar 80 %, dan CO_2 20 % sampai mengisi 2 L media penggabung.
9. Mengatur laju alirannya dengan menggunakan *flowmeter* sebelum masuk kedalam menara *paking*, atur sehingga laju aliran gas CH_4 , dan CO_2 sebesar 0,1 liter/min.
10. Biarkan proses berlangsung selama 10 menit.
11. Melakukan pencatatan data.
12. Stop pompa.
13. Menutup katub masuk ke menara *paking*.
14. Melakukan pengambilan data selanjutnya dilakukan pada variasi bukaan ketinggian 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm dengan mengulang langkah 5 sampai 13.
15. Bersihkan menara *paking*, dan setiap *layer tube*.
16. Pengambilan data selanjutnya menggunakan larutan CaOH , dengan pengulangan langkah 4 sampai langkah 15.
17. Pengambilan data selanjutnya menggunakan larutan TEA, dengan pengulangan langkah 4 sampai langkah 15.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Dalam penelitian penyerapan gas karbon dioksida pada sistem purifikasi gas, dengan pemberian dan penambahan tinggi *tubing* sebesar 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Gas dari tabung CH₄, dan CO₂ dialirkan secara tidak kontinyu dengan menggunakan empat macam larutan, yaitu larutan air, kalsium hidroksida (CaOH), trietilamina (TEA), dan penggabungan dari ketiga macam larutan tersebut. Selain menggunakan variasi tinggi *tubing*, juga akan dilihat efektifitas absorben dalam menyerap CO₂ dengan variasi konsentrasi CO₂ yang masuk, yaitu sebesar 5 %, 10 %, 15 %, dan 20 %. Data yang diperoleh berupa kandungan prosentase gas karbon dioksida, yang didapatkan dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan stargas. Data hasil penelitian akan disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut ;

Tabel 4.1 Data kandungan CO₂ dengan variasi tinggi *tubing*

| Absorben | Kandungan CO ₂ (% Volume) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 cm | 10 cm | 20 cm | 30 cm | 40 cm | 50 cm |
| Air (H ₂ O) | 10,02 | 8,58 | 8,36 | 7,66 | 6,15 | 5,51 |
| Kalsium Hidroksida (CaOH) | 11,52 | 9,87 | 9,53 | 8,71 | 7,95 | 6,64 |
| Trietilamina (TEA) | 11,19 | 9,53 | 9,33 | 8,17 | 7,54 | 6,32 |
| H ₂ O + CaOH + TEA | 10,37 | 8,71 | 8,66 | 7,65 | 6,64 | 5,79 |

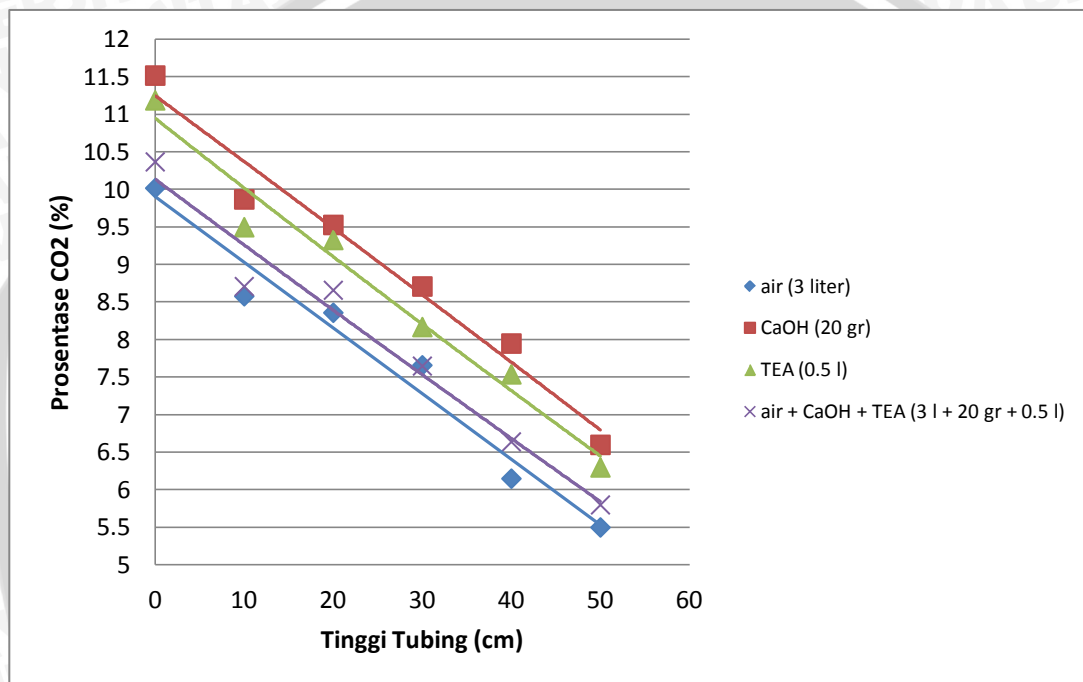
Tabel 4.2 Data kandungan CO₂ dengan variasi konsentrasi CO₂ yang diberikan

| Absorben | Kandungan CO ₂ (% Volume) | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 95% ; 5% | 90% ; 10% | 85% ; 15% | 80% ; 20% |
| Air (H ₂ O) | 1,59 | 3,38 | 3,79 | 5,42 |
| Kalsium Hidroksida (CaOH) | 2,21 | 4,25 | 4,87 | 6,41 |
| Trietilamina (TEA) | 2,03 | 3,86 | 4,72 | 6,06 |
| H ₂ O + CaOH + TEA | 1,89 | 3,57 | 4,24 | 5,73 |

4.2 Analisis dan Pembahasan

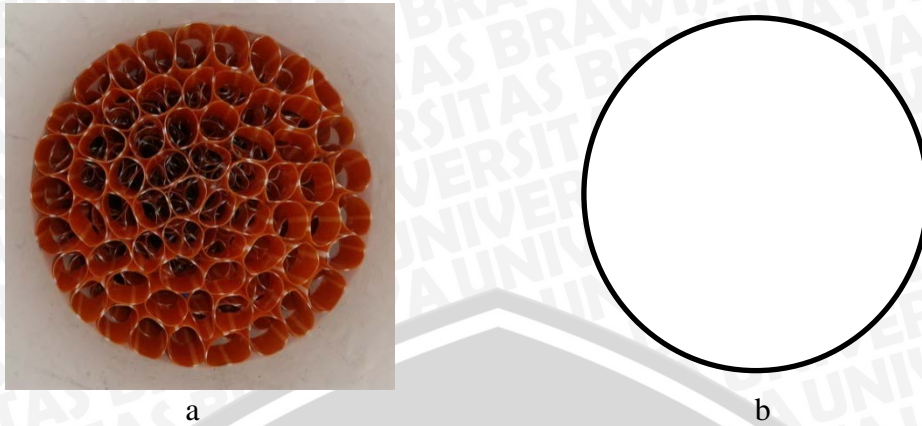
Nilai kandungan dari tabel 4.1 dan tabel 4.2 diatas adalah nilai yang didapat dari pengukuran dengan menggunakan alat ukur stargas. Nilai – nilai tersebut selanjutnya akan dimasukkan kedalam grafik, sehingga dapat dilihat kecendrungan dari masing masing larutan terhadap tinggi *tubing* dalam proses penyerapan gas karbon dioksidanya,

4.2.1 Grafik Hubungan Antara Tinggi *Tubing* dengan Kadar CO₂ Dalam Berbagai Absorben



Gambar 4.1 Hubungan antara tinggi *tubing* dengan kadar CO₂ dalam berbagai absorben

Dari Gambar 4.1 di atas terlihat kandungan karbon dioksida mengalami perubahan yang kecenderungannya menurun, seiring dengan pemberian dan penambahan tinggi dari *tubing*. Hal ini disebabkan karena pemberian *tubing* dalam menara, dan dengan semakin tinggi *tubing* nya maka luas kontak antar fasenya akan semakin besar, sehingga menyebabkan penurunan dari kadar gas karbon dioksida. Kontak antar fasenya yang semakin besar, dapat dibuktikan dengan perhitungan sebagai berikut ;



Gambar 4.2 a. Gambar susunan *tubing*, b. Gambar menara tanpa *tubing*

Dari gambar diatas, diketahui $r_a = 0,475$ (didapat dari r – tebal *tube*) cm, dan $r_b = 3,8$ cm, maka luas permukaan masing – masing adalah ;

- Luas kontak *tubing*

$$2 \pi r_{\text{dalam}} n = 2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 = 173,014 \text{ cm}$$

- Luas kontak menara

$$2 \pi r = 2 \times 3,14 \times 3,8 = 23,9 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa dengan pemberian *tubing* didalam menara, maka akan memperluas bidang kontak nya, ini terbukti dengan diperolehnya luas permukaan $a >$ luas permukaan b . Oleh karena itu, pada data yang tidak menggunakan *tubing* (0 cm) didapat kandungan CO_2 nya per absorben sebesar air 10,02%, kalsium hidroksida (CaOH) 11,52%, trietilamina (TEA) 11,19%, dan gabungan dari ketiganya 10,37%, sedangkan data yang menggunakan *tubing* (10 cm) untuk masing – masing larutan diperoleh hasil yang lebih sedikit kandungan CO_2 nya sebesar air 8,58%, kalsium hidroksida (CaOH) 9,87%, trietilamina (TEA) 9,53%, dan gabungan dari ketiga larutan tersebut 8,71%. Ini disebabkan dengan memberikan *tubing* kedalam menara, maka penyerapan juga akan terjadi pada dinding – dinding *tubing* nya, karena larutan yang disemprotkan dari atas menara menempel, dan mengalir secara pelan di dinding – dinding *tubing* nya, bergesekan dengan gas, dan penyerapanpun terjadi. Hal ini lah yang menyebabkan luas permukaan sentuhnya bertambah besar, ini didukung oleh Fatah dalam modul absorpsi kimia nya, mengenai pemberian isisan dalam menara dapat memperluas kontak antar fasenya.

Selain itu, penambahan *tubing* dari 0 cm menjadi 10 cm, 10 cm menjadi 20 cm, dst, yaitu dengan memberikan tambahan *layer tube* didalam menara sampai mencapai

ketinggian yang diinginkan. Dalam penambahan *layer tube* nya, susunan *layer* dari *tubing* tersebut dibuat zig – zag, sehingga mempengaruhi hasil dari kandungan gas karbon dioksida, karena dengan susunan zig – zag tersebut kontak antar fasenya juga akan semakin lama karena masing – masing fase akan bergerak mengikuti *layer – layer* susunan *tube* tersebut, dan semakin tinggi *layer tube* yang digunakan maka akan semakin banyak pengarah antar fasenya, sehingga kontak nya akan semakin lama, dan luas kontak nya menjadi semakin besar. Ini dapat dibuktikan dengan perhitungan luas kontak permukaan pada *tubing* dan menara, yaitu sebagai berikut ;

- Variasi tinggi *tubing* 0 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= \text{Luas permukaan } tubing + \text{Luas permukaan menara} \\ &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 0) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 85) \\ &= 2028,44 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Variasi tinggi *tubing* 10 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 10) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 75) \\ &= 1730,14 + 1789,8 = 3519,94 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Variasi tinggi *tubing* 20 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 20) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 65) \\ &= 3460,28 + 1551,16 = 5011,44 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Variasi tinggi *tubing* 30 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 30) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 55) \\ &= 5190,42 + 1312,52 = 6502,94 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

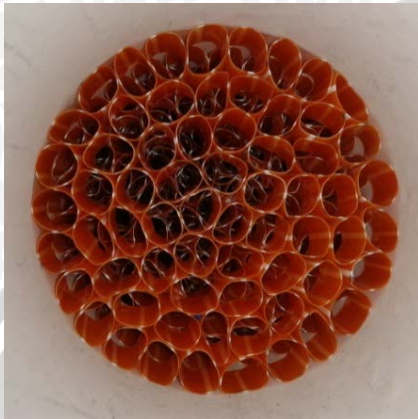
- Variasi tinggi *tubing* 40 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 40) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 45) \\ &= 6920,56 + 1073,9 = 7994,46 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Variasi tinggi *tubing* 50 cm ;

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= (2 \pi r_{\text{dalam}} n t) + (2 \pi r t) \\ &= (2 \times 3,14 \times 0,475 \times 58 \times 50) + (2 \times 3,14 \times 3,8 \times 35) \\ &= 8650,7 + 835,24 = 9485,94 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

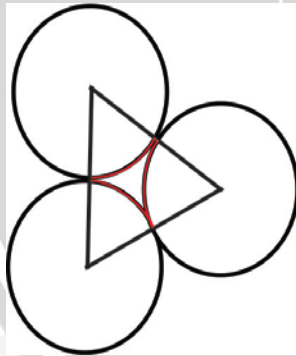
Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi *tubing* yang digunakan, maka luas kontak antar fasenya juga akan semakin besar, dan akan semakin banyak kandungan CO₂ yang berhasil diserap. Akan tetapi, kontak antar fase tidak hanya terjadi di dalam diameter dalam *tubing*, akan tetapi juga terjadi di celah – celah yang terbentuk dari susunan *tubing*, berikut pembuktian dari luas kontak yang dihasilkan dari celah – celah susunan *tubing* ;



Gambar 4.3 Celah – celah yang terbentuk dari susunan *tubing*

Dari gambar diatas, untuk mendapatkan luas kontak bagian yang diinginkan, dan membuktikannya dengan perhitungan, maka ;

1. Menghitung panjang busur



Karena sisi – sisi yang dibentuk sama, maka untuk mencari panjang busurnya ;

$$60' / 360' = x / 2 \pi r$$

$$60' / 360' = x / 3,14$$

$$X = 0,523$$

Jadi, panjang busurnya 0,523

Gambar 4.4 Bentuk celah

2. Menghitung luas kontaknya

Untuk mencari luas kontak celahnya, dari gambar 4.4 maka dapat kita cari dengan “ panjang busur x tinggi x jumlah busur yang berpotongan x n “. n dalam persamaan tersebut adalah banyaknya celah yang menggunakan jumlah busur yang sama. Dimana celah yang terbentuk dari 3 busur yang berpotongan (80

celah), dan celah yang terbentuk dari 2 busur yang berpotongan (22 celah).
Maka perhitungan luas kontak celah - celahnya sebagai berikut ;

- Tinggi *tubing* 10 cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak} &= ((\text{panjang busur} \times \text{jumlah busur} \times n) + (\text{panjang busur} \times \\ &\quad \text{jumlah busur} \times n)) \times t \\ &= ((0,523 \times 3 \times 80) + (0,523 \times 2 \times 22)) \times 10 \\ &= (125,52 + 23,01) \times 10 = 1485,32 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Tinggi *tubing* 20 cm

$$\text{Luas kontak} = (125,52 + 23,01) \times 20 = 2970,6 \text{ cm}^2$$

- Tinggi *tubing* 30 cm

$$\text{Luas kontak} = (125,52 + 23,01) \times 30 = 4455,9 \text{ cm}^2$$

- Tinggi *tubing* 40 cm

$$\text{Luas kontak} = (125,52 + 23,01) \times 40 = 5941 \text{ cm}^2$$

- Tinggi *tubing* 50 cm

$$\text{Luas kontak} = (125,52 + 23,01) \times 50 = 7426,5 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas kontak total yang terjadi dalam menara absorpsi keseluruhannya antara menara, diameter dalam *tubing*, dan celahnya yaitu sebagai berikut ;

- Saat tinggi *tubing* 10cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak total} &= 3519,94 \text{ cm}^2 + 1485,32 \text{ cm}^2 \\ &= 5005,26 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Saat tinggi *tubing* 20cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak total} &= 5011,44 \text{ cm}^2 + 2970,6 \text{ cm}^2 \\ &= 7982,04 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Saat tinggi *tubing* 30cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak total} &= 6502,94 \text{ cm}^2 + 4455,9 \text{ cm}^2 \\ &= 10958,84 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Saat tinggi *tubing* 40cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak total} &= 7994,46 \text{ cm}^2 + 5941 \text{ cm}^2 \\ &= 13935,46 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

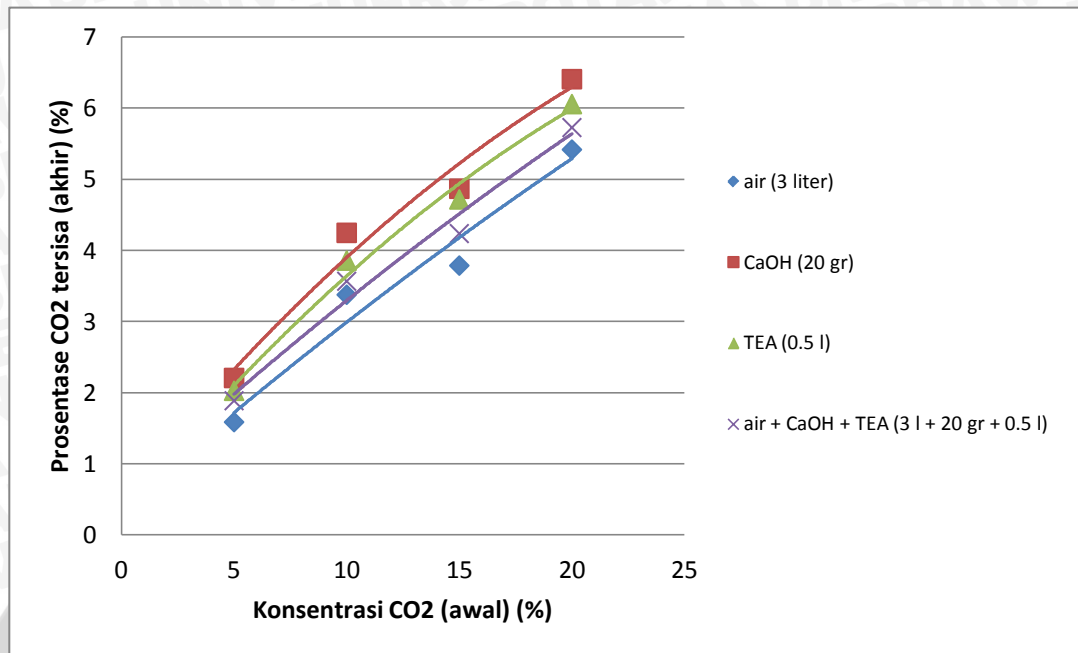
- Saat tinggi *tubing* 50cm

$$\begin{aligned}\text{Luas kontak total} &= 9485,94 \text{ cm}^2 + 7426,5 \text{ cm}^2 \\ &= 16912,44 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Oleh karena itu pada data yang menggunakan *tubing* (10 cm), kandungan CO₂ nya untuk masing – masing absorben sebesar air 8,58%, kalsium hidroksida (CaOH) 9,87%, trietilamina (TEA) 9,53%, dan gabungan dari ketiga larutan tersebut 8,71%, sedangkan untuk *tubing* (50 cm) kandungan CO₂ nya masing – masing absorben yang diperoleh lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan *tubing* (10 cm), yaitu sebesar air 5,51%, kalsium hidroksida (CaOH) 6,64%, trietilamina (TEA) 6,32%, dan gabungan dari ketiga larutan tersebut sebesar 5,79%. Ini disebabkan karena semakin tinggi *tubing* maka luas kontak total nya juga semakin akan besar, ini juga didukung dari penelitian yang telah dilakukan oleh Faruq dkk, bahwa semakin banyak lapisan zeolit yang digunakan, maka penyerapan nya akan semakin baik, karena luas kontak zeolitnya semakin besar seiring dengan penambahan tinggi. Akan tetapi, selain luas kontak yang semakin besar, lama kontak antar fasenya juga akan semakin lama karena susunan dari *tubing* yang dibuat zig - zag, menyebabkan masing – masing fase bergerak sesuai dengan alur yang dibentuk oleh *layer – layer tube* nya, sehingga akan semakin banyak larutan yang menempel, dan mengalir di dinding – dinding *tubing*, dan semakin banyak pula CO₂ yang berhasil diserap oleh masing – masing absorben.

Dari Gambar 4.1 juga dapat dilihat bahwa air dapat menyerap lebih banyak dibandingkan dengan absorben lainnya, ini dikarenakan penggunaan masing – masing absorben, baik air, CaOH, TEA, dan gabungan ketiga larutan tersebut merupakan absorben yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya, dan mengalami proses regenerasi absorben, dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Zulkifli (2013). Dalam proses regenerasi tersebut, pada saat temperature pemanasan 55°C, didapatkan air dapat melepaskan CO₂ lebih banyak dibandingkan absorben lainnya, sehingga ketika digunakan kembali, kemampuan menyerap CO₂ nya lebih baik dibandingkan dengan yang lain, karena CO₂ yang sebelumnya diserap oleh air, telah dilepaskan dari larutan dengan bantuan pemberian panas oleh pemanas. Sedangkan absorben yang lain masi memiliki sisa kandungan CO₂ didalam nya, dan menyebabkan kemampuan menyerapnya lebih rendah dibandingkan dengan air.

4.2.2 Grafik Hubungan Antara Variasi Konsentrasi CO₂ dengan Kadar CO₂ Setelah Dimurnikan Dalam Berbagai Absorben



Gambar 4.5 Hubungan antara konsentrasi CO₂ dengan kadar CO₂ yang tersisa setelah dimurnikan dalam berbagai absorben.

Dari Gambar 4.5 di atas terlihat perbedaan antara jumlah kadar CO₂ sebelum dan sesudah pemurnian. Dimana kandungan karbon dioksida mengalami perubahan yang kecenderungannya meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi CO₂ yang diberikan. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi CO₂, maka akan semakin banyak pula kandungan CO₂ yang akan diserap oleh absorben, ini yang menyebabkan perubahan kadar kandungan CO₂ dalam gambar 4.5 meningkat.

Pada gambar 4.5 saat konsentrasi CO₂ 5%, didapat kandungan CO₂ nya yang tersisa untuk masing – masing absorben adalah, air sebesar 1,59%, kalsium hidroksida (CaOH) 2,21%, trietilamina (TEA) 2,03%, dan gabungan dari ketiga larutan tersebut adalah sebesar 1,89%. Sedangkan pada saat konsentrasi CO₂ terbesar, yaitu 20%, masing – masing absorben mampu menyerap lebih banyak CO₂ yang diberikan, sehingga kandungan CO₂ nya yang tersisa untuk masing – masingnya adalah, air sebesar 5,42%, kalsium hidroksida (CaOH) sebesar 6,41%, trietilamina (TEA) sebesar 6,06%, dan gabungan dari ketiga larutan tersebut sebesar 5,73%. Kecendrungan peningkatan ini disebabkan karena jumlah konsentrasi CO₂ yang diberikan semakin bertambah, sehingga semakin banyak jumlah konsentrasi CO₂ yang harus diserap oleh masing – masing absorben.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis grafik serta pembahasan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- a) Dengan pemberian, dan penambahan tinggi *tubing*, maka kandungan CO₂ yang berhasil diserap oleh absorben akan semakin banyak, karena luas kontak permukaan antar fasenya semakin besar, dan dari penelitian ini didapatkan kadar CO₂ setelah pemurnian untuk masing – masing absorbennya pada saat tinggi *tubing* 50 cm adalah sebesar, air : 5,51 %, CaOH : 6,64 %, TEA : 6,32 %, dan gabungan ketiga larutan : 5,79 %.
- b) Pemberian *tubing* kedalam menara absorpsi, membuat luas kontak permukaan antar fasenya meningkat, seperti yang terdapat dalam pembahasan, bahwa dengan pemberian *tubing* menghasilkan luas kontak permukaan sebesar 173,014 cm, sedangkan yang tanpa pemberian *tubing* luas kontak permukaannya sebesar 23,9 cm.
- c) Semakin tinggi *tubing*, maka kontak antar fasenya akan semakin lama, karena akan semakin banyak absorben yang menempel, dan mengalir di dinding – dinding *tubing*, sesuai dengan teori dalam mekanika fluida, bahwa fluida yang mengalir di tepian, kecepatannya akan lebih lambat dibandingkan dengan fluida yang mengalir ditengah, karena terhambat oleh adanya gesekan dengan kekasaran permukaan.

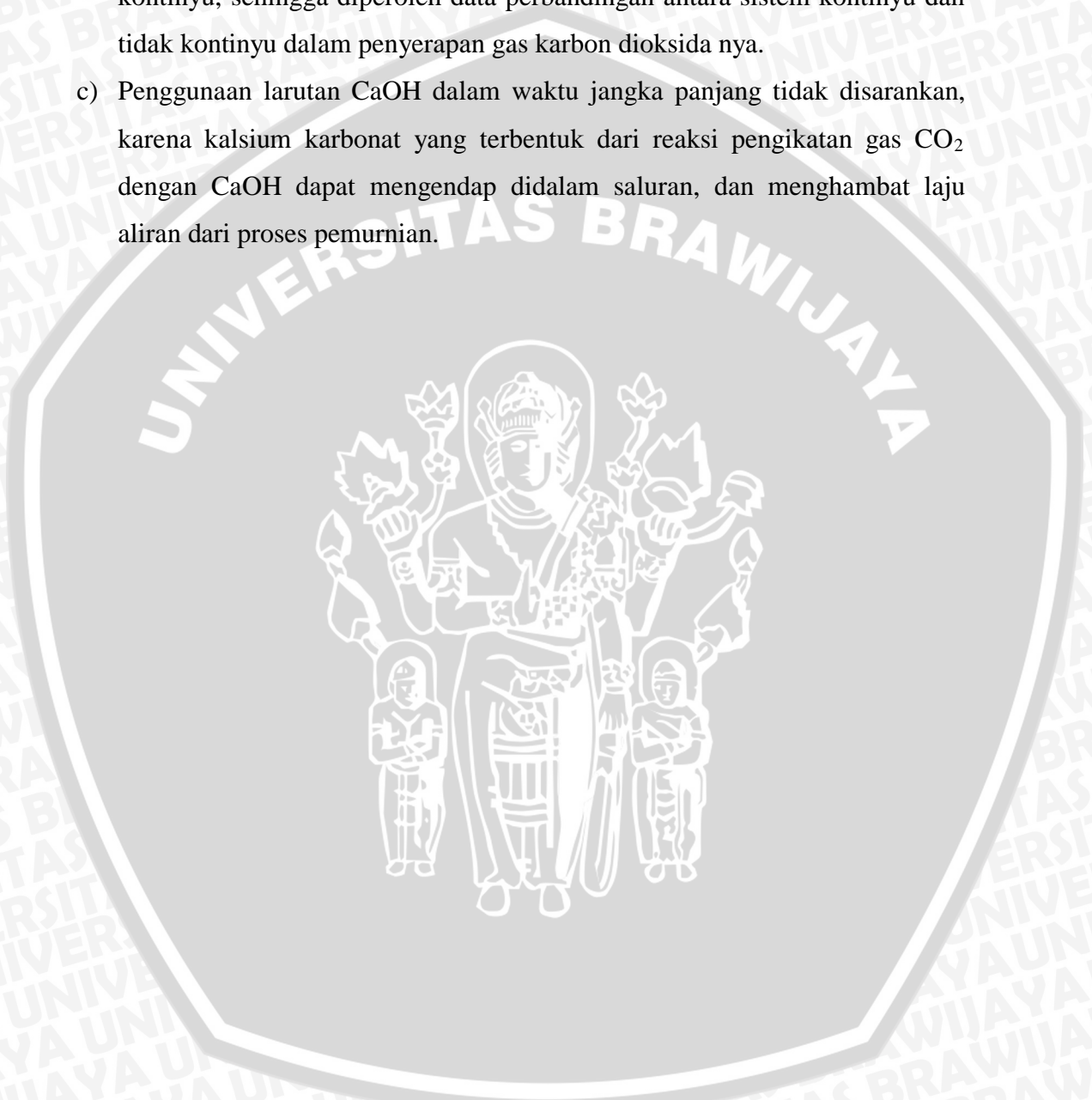
5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat dipertimbangkan dalam melakukan pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat menggunakan 2 buah bak penampung untuk menampung absorben sebelum pemurnian, dan sesudah

pemurnian, dan penggunaan larutan yang hanya sekali pakai di setiap perlakuannya, sehingga dapat dilihat efektivitas dari masing – masing absorben yang lebih teliti.

- b) Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat dilakukan pengamatan secara kontinyu, sehingga diperoleh data perbandingan antara sistem kontinyu dan tidak kontinyu dalam penyerapan gas karbon dioksida nya.
- c) Penggunaan larutan CaOH dalam waktu jangka panjang tidak disarankan, karena kalsium karbonat yang terbentuk dari reaksi pengikatan gas CO₂ dengan CaOH dapat mengendap didalam saluran, dan menghambat laju aliran dari proses pemurnian.



DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Kusuma, Pricillia Melisa, Hadiyanto Agus. 2012. *Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida Dengan NaOH, CuSO₄, Fe₂(SO₄)₃ dalam Packed Collum Secara Kontinyu*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- Fair R. James, Ph.D. D.E. Steinmeyer, M.A., M.S., P.E. W.R. Penney, Ph.D. 1999. *Section 14 – Gas Absorption and Gas Liquid System Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Henry Z. Kister, M.E., C.Eng., C.Sc. Paul M. Mathias, Ph.D. D.E. Steinmeyer, M.A., M.S., P.E. James R. Fair, Ph.D. 2008. *Equipment for Distillation, Gas Absorption, Phase Dispersion, and Phase Separation*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hullu J. De. Meel P.A. van. 2008. *Comparing Different Biogas Upgrading Techniques*. Dirkse Milieutechniek. Eindhoven university of Technology.
- Kartohardjono Sutrasno, Anggara, Subihi, Yuliusman. 2007. *Absorpsi CO₂ dari Campurannya Dengan CH₄ atau N₂ Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia Depok.
- Mitzlaff, Klaus von., 1988. *Engines for Biogas*. a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. German.
- MVS Engineering. 2012. <http://mvsengg.com/products/oxygen/vpsaoxygen/.com>. (diakses tanggal 5 Desember 2013)
- Prasetya Andika, Widhiyanuriyawan Denny, Sugiarto. 2012. *Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CO₂ Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Price, E.C and Cheremisinoff, P.N. 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publishers, Inc. United States of America.
- Setiadi, Hantizen, Nita Tania, Bambang Heru, Dijan Supramono. 2005. *Kemampuan Kolom Gelembung untuk Mereduksi Kandungan Gas CO₂*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas teknik, Universitas Indonesia Depok.
- Srihari Endang, Priambo Ricky, Sylvia Purnomo, Hermawan Sutanto, Wentalia Wijayanti. 2005. *Absorpsi Gas CO₂ menggunakan Monoetanolamine*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya.
- Sulaiman Fatah. 2008. *Modul – 1.01 Absorpsi*. Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon.
- Syah Faruq, Widhiyanuriyawan Denny, Sugiarto. 2012. *Pengaruh Jumlah Lapisan Zeolit Terhadap Kandungan Gas CO₂ Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu*. Jurusan Teknik MESin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

repository.ub.ac.id

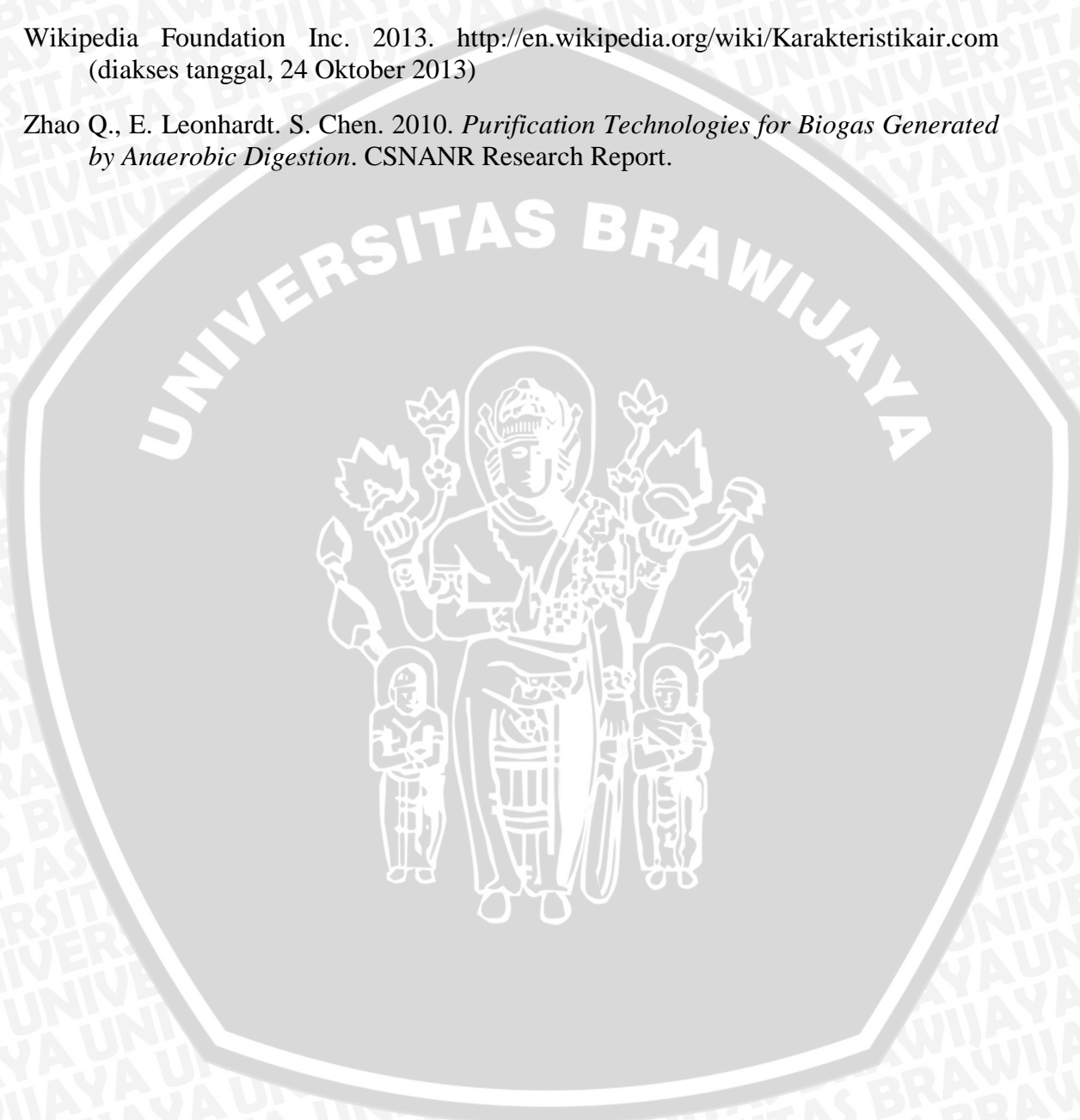
Wikipedia Foundation Inc. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas.com> (diakses tanggal, 27 Agustus 2013)

Wikipedia Foundation Inc. 2013. http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_hydroxide.com (diakses tanggal, 24 Oktober 2013)

Wikipedia Foundation Inc. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Triethylamine.com> (diakses tanggal, 24 Oktober 2013)

Wikipedia Foundation Inc. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Karakteristikair.com> (diakses tanggal, 24 Oktober 2013)

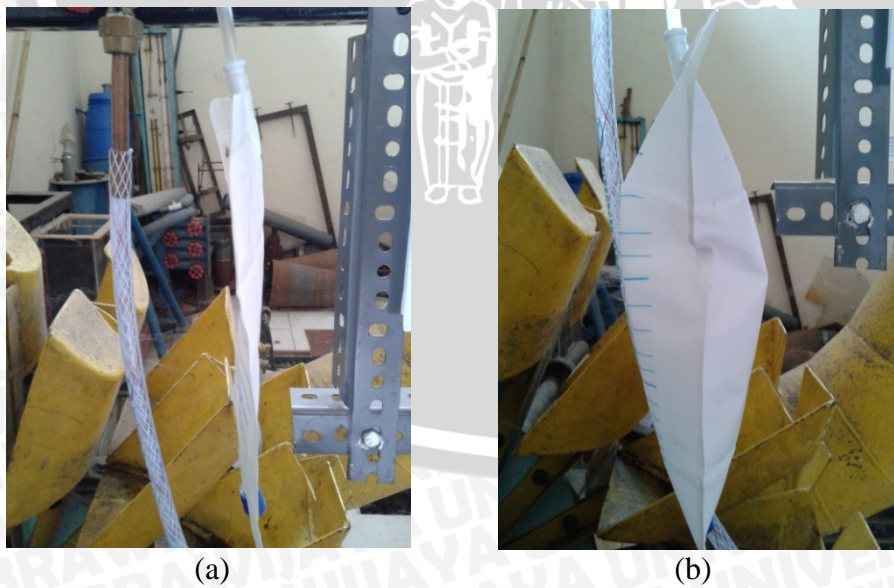
Zhao Q., E. Leonhardt. S. Chen. 2010. *Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion*. CSNANR Research Report.



Lampiran 1. Gambar Rangkaian Alat Penelitian



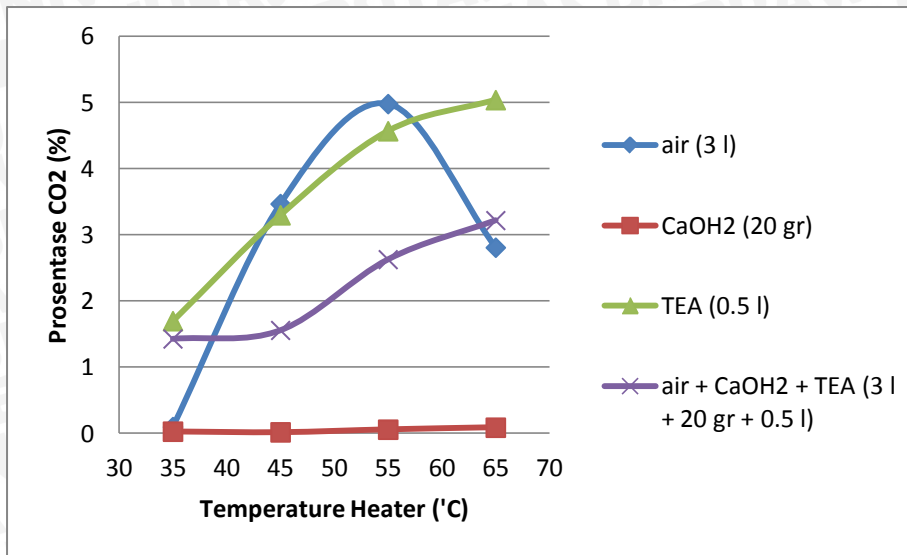
Lampiran 2. Gambar Bag (a) sebelum, dan (b) Setelah Proses



(a)

(b)

Lampiran 3. Grafik Regenerasi Absorben



Grafik Hubungan Antara Temperatur Pemanasan Terhadap Prosentase CO₂ yang dilepaskan Dalam Berbagai Absorben.

Dalam grafik diatas, ketika temperatur pemanas 55°C, regenerasi air lebih baik dibandingkan ketiga macam absorben lainnya, hal ini lah yang menyebabkan air dapat menyerap CO₂ lebih banyak dibandingkan ketiga macam absorben lainnya, karena jumlah CO₂ yang sebelumnya berhasil diserap oleh air, telah berkurang banyak akibat proses regenerasi air, dan kemampuan menyerapnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan absorben lainnya, masi memiliki kandungan CO₂ didalam larutannya, sehingga kemampuan menyerapnya lebih rendah dibandingkan dengan absorben air. Hal inilah yang menyebabkan kenapa air dapat menyerap CO₂ lebih baik daripada absorben lainnya, karena dalam proses regenerasinya, air dapat melepas CO₂ lebih banyak dibandingkan dengan yang lain.