PENGARUH KECEPATAN FLUIDA PENDINGIN PADA *HEAT EXCHANGER* TERHADAP KAPASITAS PENYIMPANAN BIOGAS SISTEM KOMPRESI

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

PAGAN BINARBAWA ARETA
NIM. 125060207111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH KECEPATAN FLUIDA PENDINGIN PADA *HEAT EXCHANGER* TERHADAP KAPASITAS PENYIMPANAN BIOGAS SISTEM KOMPRESI

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

PAGAN BINARBAWA ARETA
NIM. 125060207111006

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 10 Mei 2016

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT.	Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.
NIP. 19750113 200012 1 001	NIP. 19890102 201504 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 02

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2013, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Mei 2016

Mahasiswa,

Pagan Binarbawa Areta
NIM. 125060207111006

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

JUDUL SKRIPSI :

Pengaruh Kecepatan Fluida Pedingin pada *Heat Exchanger* terhadap Kapasitas Penyimpanan Biogas Sistem Kompresi.

Nama Mahasiswa : Pagan Binarbawa Areta

NIM : 125060207111006

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT.

Pembimbing 2 : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 28 April 2016

SK Penguji : 553/UN10.6/SK/2016

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul "**Pengaruh Kecepatan Fluida Pendingin pada *Heat Exchager* terhadap Kapasitas Penyimpanan Biogas Sistem Kompresi**" ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menugcapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini :

1. Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Purnami S.T., M.T, selaku Sekertaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Dr.Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing I skripsi dan Kepala Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
5. Haslinda Kusumaningsih, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
6. Fikrul Akbar Alamsyah, S.T. selaku dosen penasehat akademik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Bapak Sudarsono dan Ibu Winarni Budi Hastuti sebagai kedua orang tua saya atas kasih sayang, doa, dan motivasi, dukungan moral dan materil yang diberikan selama ini.
8. Sistha Hastungkoro yang selalu memberi semangat dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Adik saya Firmansyah Cahya Areta yang selalu mengirimkan semangat dan doa dari jauh.
10. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi ini.
11. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
12. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Yogi, Eka, Tria, Beni, Agung, Fahmi, Thowil, Dwiki, dan Falih yang telah banyak membantu.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

13. Teman-teman mesin angkatan 2012 yang selalu memberikan semangat, motivasi, serta seluruh dukungan yang diberikan.
14. Saudara Ikhe Athifiyah selaku teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan permasalahan.
15. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis menerima segala kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Akhirnya penulis berharap semoga penulisan skripsi bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Mei 2016

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

Halaman

PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR TABEL ..... **v**
DAFTAR GAMBAR ..... **vi**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **vii**
RINGKASAN ..... **viii**
SUMMARY ..... **ix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Penelitian Sebelumnya 4
2.2 Biogas 5
2.3 Kompresor 6
2.4 Teori Kompresi Gas 6
2.4.1 Hubungan Tekanan Dan Volume 6
2.4.2 Hubungan Temperatur Dan Volume 7
2.4.3 Persamaan Keadaan 7
2.5 Perpindahan Panas 8
2.6 *Heat Exchanger* 9
2.7 Pemurnian Biogas 12
2.7.1 Natrium Hidroksida (NaOH) 13
2.7.2 Zeolit 13
2.7.3 Arang Aktif 15
2.8 Hipotesa 16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **16**
3.1 Metode Penelitian 17
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian 17

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.3 Variabel Penelitian 17
3.4 Alat Dan Bahan Penelitian 18
3.4.1 Alat 18
3.4.2 Bahan 23
3.5 Skema Penelitian 23
3.6 Prosedur Penelitian 24
3.7 Metode Penganmbilan Data 24
3.8 Diagram Alir Penelitian 26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Saat Penggunaan *Heat Exchanger* Dan Tanpa *Heat Exchanger* 27
4.2 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin 28
4.3 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin 29
4.4 Hubungan Antara Variasi Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Perpindahan Panas 31
4.5 Hubungan Antara Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Densitas Biogas Pada Tekanan 1825.02 kPa 32
4.6 Hubungan Antara Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Massa Biogas Pada Tekanan 1825.02 kPa 33
4.7 Hubungan Antara Temperatur Terhadap Densitas Biogas Pada Variasi Tekanan 34
4.8 Hubungan Antara Sistem Purifikasi Terhadap Kandungan CO_2 Pada Setiap Proses Penabungan Biogas 35
4.9 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Daya Listrik Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin 37
BAB V PENUTUP 38
5.1 Kesimpulan 38
5.2 Saran 38
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Hubungan antara variasi kecepatan fluida pendingin terhadap koefisien perpindahan panas	31

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi	8
Gambar 2.2	*Paralel flow heat exchanger*	9
Gambar 2.3	*Counter flow heat exchanger*	10
Gambar 2.4	*Cross-flow heat exchanger*	10
Gambar 2.5	*Shell and tube heat exchanger*	11
Gambar 2.6	*Compact heat exchanger*	11
Gambar 2.8	Unsur penyusun zeolit	14
Gambar 2.9	Arang aktif	15
Gambar 3.1	*Flowmeter gas*	18
Gambar 3.2	*Speed Control*	19
Gambar 3.3	*Selenoid*	19
Gambar 3.4	Kompresor	20
Gambar 3.5	*Heat exchanger*	21
Gambar 3.6	*Gas analyzer*	21
Gambar 3.7	*Digital instruments*	22
Gambar 4.1	Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas saat penggunaan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*	27
Gambar 4.2	Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas pada variasi kecepatan fluida pendingin	28
Gambar 4.3	Hubungan antara tekanan terhadap laju perpindahan panas pada variasi kecepatan fluida pendingin	29
Gambar 4.4	Hubungan antara kecepatan fluida pendingin terhadap densitas biogas pada tekanan 1825.02 kPa	32
Gambar 4.5	Hubungan antara kecepatan fluida pendingin terhadap massa biogas pada tekanan 1825.02 kPa	33
Gambar 4.6	Hubungan temperatur terhadap densitas biogas variasi tekanan	34
Gambar 4.7	Hubungan antara sistem purifikasi terhadap kandungan CO_2 pada setiap proses penabungan biogas	35
Gambar 4.8	Visualisasi Larutan NaOH setelah bereaksi dengan CO_2	36
Gambar 4.9	Hubungan antara tekanan terhadap daya listrik pada variasi kecepatan fluida pendingin	37

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data temperatur kecepatan fluida pendingin 2 m/s
Lampiran 2	Data temperatur kecepatan fluida pendingin 5 m/s
Lampiran 3	Data temperatur kecepatan fluida pendingin 7 m/s
Lampiran 4	Data temperatur rata-rata kecepatan fluida pendingin 2, 5, dan 7 m/s
Lampiran 5	Data konsumsi energi listrik
Lampiran 6	Data kandungan CO_2
Lampiran 7	Data laju perpindahan panas pada *heat exchanger*
Lampiran 8	Spesifikasi tabung CNG Tipe 2
Lampiran 9	Konsumsi energi total pada variasi kecepatan fluida pendingin
Lampiran 10	Tabel propertis metana
Lampiran 11	Tabel propertis karbon dioksida
Lampiran 12	Jurnal

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Pagan Binarbawa Areta, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2016, *Pengaruh Kecepatan Fluida Pendingin pada Heat Exchanger terhadap Kapasitas Penyimpanan Biogas Sistem Kompresi*, Dosen Pembimbing : Denny Widhiyanuriyawan, Haslinda Kusumaningsih.

Kebutuhan energi di dunia selalu mengalami peningkatan, sehingga diperlukan energi alternatif untuk membantu mencukupi kebutuhan energi di masa depan. Biogas adalah salah satu sumber energi alternatif yang selalu dapat diperbarui (*renewable*) sehingga ketersediaanya akan selalu terjamin. Industri peternakan memiliki potensi yang besar sebagai penghasil biogas, karena industri peternakan dapat menghasilkan gas metana sebesar 40 % dari total yang terkandung di dunia. Kotoran ternak pada industri pertenakan dapat dimanfaatkan atau dibuat menjadi biogas yang nantinya dapat bermanfaat bagi kebutuhan umat manusia dan juga dapat mengurangi pemanasan global akibat emisi dari gas metana. Biogas memiliki kandungan CO_2 yang besar sehingga dapat mengurangi nilai kalor pembakarannya, maka perlu dilakukan langkah atau tindakan lebih lanjut untuk mengurangi kandungan CO_2 agar didapatkan hasil pembakaran semakin baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* terhadap kapasitas penyimpanan biogas di dalam tabung bertekanan, dan juga untuk mengetahui kemampuan sistem dari purifikasi untuk menyerap karbon dioksida pada setiap kali proses penyimpanan biogas.

Pada penelitian ini digunakan biogas dengan kandungan CH_4 60% dan CO_2 40% dengan laju aliran sebesar 10 liter/menit. Kemudian dilakukan pemurnian biogas dengan sistem purifikasi bertingkat menggunakan absorbsi kimia dengan larutan NaOH konsentrasi 40% dan juga adsorbsi fisika menggunakan zeolit dengan massa 1170 gram, dan juga arang aktif dengan massa 25 gram. Kemudian juga dilakukan pengujian untuk memaksimalkan hasil dari penyimpanan biogas agar dapat digunakan untuk kebutuhan seperti memasak, bahan bakar kendaraan bermotor, penerangan dan lainnya. Biogas akan dikompresikan ke dalam tabung dengan volume 8 liter sampai mencapai tekanan 1825.02 kPa. Biogas yang keluar dari kompresor didinginkan menggunakan *heat exchanger* dengan variasi kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s. Fluida yang digunakan untuk mendinginkan biogas menggunakan udara dengan temperatur lingkungan.

Hasil penelitian ini, sistem purifikasi mampu menyerap karbon dioksida pada pengujian pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut sebesar 39%, 38%, dan 37%. Kemudian juga didapatkan massa penyimpanan biogas tanpa penggunaan *heat exchanger* sebesar 91.08 gram. Dengan penggunaan *heat exchanger* dengan variasi kecepatan fluida pendingin sebesar 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s menghasilkan massa penyimpanan biogas berturut-turut sebesar 99.66 gram, 100.25 gram, 100.61 gram.

Kata Kunci: Biogas, Penyimpanan, *Heat exchanger*, Purifikasi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Pagan Binarbawa Areta, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, May 2016, *The Effect of Cooling Fluid Velocity on Heat Exchanger to Biogas Storage Capacity by Compression System*, Academic Supervisor : Denny Widhiyanuriyawan and Haslinda Kusumaningsih.

The world's energy needs are always increasing, alternative energy needed for helping the energy needs in the future sufficed. Biogas is one of the sources of alternative energy which is renewable so its availability would be secured. Livestock has great potential as biogas – producing, because it could produce 40% methane from total contained in the whole world. Livestock manure used as biogas which is useful for human life and decreasing global warming as the result from methane emissions. Biogas contains a large of CO_2 which could decrease heat value of combustion, so further action is needed for decreasing CO_2 for more better combustion products. The aim of this research is to know the effect of cooling fluid velocity on heat exchanger to biogas storage in pressurized tubes and the capability of purification system to absorb carbon dioxide in every biogas storage process.

In this research, biogas used contain 60% CH_4 and 40% CO_2 with flow rate 10 liters/min. Then, performed purified biogas by multilevel purification system using chemical absorption with a concentration of 40% NaOH solution and physical absorption using zeolite with a mass of 1170 grams, and also activated charcoal with a mass of 25 grams. After that, also performed testing to maximize the results from the biogas storage to be used for human needs such as cooking, fuel for motor vehicles, lighting, etc. Biogas would be compressed into a tube with volume 8 liters to reach the pressure 1825.02 kPa. Biogas which was out from compressor was cooled by using heat exchanger with variation of the cooling fluid velocity 2 m/s, 5m/s, and 7 m/s. Fluid used for cooling the biogas was using air with ambient temperature.

The results from this research, purification system had capability to absorb carbon dioxide in the first test, second, and third respectively 39%, 38%, and 37%. Then also obtained biogas storage mass without the use of heat exchanger amounted to 91.08 grams. By using heat exchanger with variation of the cooling fluid velocity 2 m/s, 5m/s, and 7 m/s produced biogas storage mass respectively amount 99.66 grams, 100.25 grams, and 100.61 grams.

Keywords : biogas, storage, heat exchanger, purification

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di masa yang akan datang tentunya kebutuhan energi di dunia selalu mengalami peningkatan. Kebutuhan energi dari tahun 2010 hingga tahun 2040 diprediksi akan mengalami peningkatan sebesar 56% yaitu dari 524 *quadrillion* BTU menjadi 820 *quadrillion* BTU (EIA, 2013). Peningkatan konsumsi energi tersebut terutama disebabkan dari sektor industri dan juga pertambahan jumlah penduduk. Oleh sebab itu, maka diperlukan energi alternatif untuk membantu mencukupi kebutuhan energi di masa depan. Biogas adalah salah satu sumber energi alternatif yang selalu dapat diperbarui (*renewable*) sehingga ketersediaanya akan selalu terjamin. Biogas merupakan energi alternatif yang murah karena dalam pembuataannya menggunakan bahan sisa yang sudah tidak terpakai seperti sampah organik ataupun limbah dari kotoran hewan. Penggunaan biogas tentunya juga dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah sampah ataupun kotoran ternak.

Industri peternakan memiliki potensi yang besar sebagai penghasil biogas, karena industri peternakan dapat menghasilkan gas metana sebesar 40 % dari total yang terkandung di dunia (IPCC, 2007). Kotoran ternak pada industri pertenakan dapat dimanfaatkan atau dibuat menjadi biogas yang nantinya dapat bermanfaat bagi kebutuhan umat manusia dan juga dapat mengurangi pemanasan global akibat emisi dari gas metana. Biogas dapat dihasilkan dari proses fermentasi secara anaerobik di dalam biogas digester oleh bakteri *methan* atau disebut bakteri anaerobik yang menguraikan bahan organik atau biomassa seperti kotoran ternak. Biogas yang terbentuk apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Kandungan yang terdapat pada biogas dari kotoran ternak sendiri antara lain menghasikan gas yang sebagian besar berupa gas metana (55-70 %) yang memiliki sifat mudah terbakar, karbon dioksida (27-45 %), nitrogen (0.5-3.0 %), oksigen (6 %), dan sebagian kecil gas hidrogen sulfida (H_2S) (Haryati, 2006).

Kandungan CH_4 dan CO_2 pada biogas akan sangat berpengaruh pada nilai kalor hasil pembakarannya. Oleh sebab itu perlu dilakukan langkah atau tindakan lebih lanjut untuk mengurangi kandungan CO_2 pada biogas agar kandungan CH_4 dapat meningkat sehingga hasil dari pembakaran semakin baik. Tindakan pemurnian atau purifikasi biogas untuk

mengurangi kandungan CO_2 dapat dilakukan dengan menggunakan metode absorbsi kimia dengan larutan kimia basa kuat seperti NaOH dan juga adsorbsi fisika menggunakan permukaan padat seperti zeolit, dan juga arang aktif yang mempunyai kemampuan dalam penyerapan karbon dioksida.

Pemurnian biogas juga dapat dilakukan menggunakan larutan *Triethylamine* (TEA), Air, dan $Ca(OH)_2$ yang disirkulasikan secara kontinyu. Sistem terdiri dari *packed collum*, *heater*/separator dan kondensor. Penggunaan *triethylamine*, H_2O, dan $Ca(OH)_2$, dapat melepaskan CO_2 sebesar 3.73 % dari 5 % CO_2 yang masuk (Kurniawan, 2014).

Oleh karena hal tersebut, maka penelitian kali ini sangat penting untuk dilakukan agar nantinya hasil dari purifikasi biogas tersebut dapat disimpan dalam suatu wadah untuk digunakan keperluan seperti memasak, penerangan, bahan bakar kendaraan bermotor dan yang lainnya. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah penyimpanan biogas di dalam tabung bertekanan. Proses pengkompresian biogas ke dalam tabung dapat dilakukan menggunakan kompresor dan juga dengan bantuan *heat exchanger* yang berfungsi untuk menurunkan temperatur biogas agar didapatkan hasil penyimpanan yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan fluida pendingin terhadap besar laju perpindahan panas pada *heat exchanger*?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* terhadap kapasitas penyimpanan biogas pada tabung bertekanan?
3. Bagaimana kemampuan dari sistem purifikasi dalam penyerapan karbon dioksida pada setiap kali proses penyimpanan biogas?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan pada penelitian ini difungsikan supaya permasalahan tidak meluas dalam berbagai kondisi adalah:

1. Massa alir biogas dianggap konstan pada setiap variasi pengujian.
2. Fluida pendingin pada *heat exchanger* menggunakan temperatur lingkungan pada saat pengujian dan dianggap konstan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan kali ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* terhadap kapasitas penyimpanan biogas di dalam tabung bertekanan, dan juga untuk mengetahui kemampuan dari sistem purifikasi untuk menyerap karbon dioksida pada setiap kali proses penyimpanan biogas.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang didapatkan dari penelitian yang akan dilakukan kali ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* terhadap kapasitas penyimpanan biogas pada tabung bertekanan.
2. Untuk meningkatkan atau memperluas pengetahuan tentang biogas.
3. Diharapkan penelitian ini dapat diaplikasikan pada kehidupan nyata untuk mengoptimalkan kapasitas penyimpanan biogas.
4. Sebagai upaya memanfaatkan energi alternatif khususnya biogas untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan.
5. Sebagai upaya untuk mengurangi gas penyebab rumah kaca seperti metana yang mengakibatkan pemanasan global.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya tentang purifikasi biogas sudah dilakukan oleh beberapa orang antara lain, Hotma (2015) meneliti tentang pengaruh jumlah lubang *bubble generator* dan konsentrasi NaOH terhadap kandungan gas CH_4 dan CO_2 pada purifikasi bertingkat sistem kontinyu. Dalam penelitian ini, variabel bebas jumlah lubang *bubble generator* 10, 20, dan 30, dan konsentrasi larutan NaOH sebesar 10%, 20%, dan 30%. Semakin banyak jumlah lubang *bubble generator* dan semakin besar konsentrasi larutan NaOH, maka semakin tinggi penyerapan gas CO_2. Penggunaan larutan NaOH konsentrasi 30 % dengan lubang *bubble generator* 10, 20, 30 dapat menyerap karbon dioksida pada biogas berturut-turut sebesar 7.5 %, 10.35 %, dan 14.13 %.

Widhiyanuriyawan, dkk (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh massa zeolit terhadap kandungan gas CH_4 dan CO_2 pada purifikasi bertingkat sistem kontiyu. Pada penelitian ini digunakan dua jenis zeolit yaitu zeolit *coarse* dan zeolit *fine* dengan variasi massa zeolit sebesar 50, 100 dan 150 gram. Hasil dari penelitian ini, penggunaan zeolit *fine* menyerap CO_2 lebih baik dari pada zeolit *coarse*. Kemudian semakin banyak massa zeolit yang digunakan, maka semakin tinggi penyerapan gas CO_2. Penggunaan zeolit *coarse* dan *fine* dengan massa 50 gram dapat menurunkan karbon dioksida sebesar 0.23 % dan 0.83 %. Zeolit massa 100 gram menurunkan karbon dioksida sebesar 0.73 % sampai dengan 1.04 % untuk zeolit *coarse*, dan 1.1 % sampai dengan 1.32 % untuk zeolit *fine*. Zeolit massa 150 gram menurunkan karbon dioksida 4.26 % pada zeolit *coarse* dan 4.19 % pada zeolit *fine*.

Putra, dkk (2013) melakukan penelitian tentang purifikasi biogas sistem kontinyu menggunakan zeolit. Zeolit dengan waktu purifikasi 60 menit dan jumlah adsorber zeolit 5 lapis menghasilkan penurunan kandungan CO_2 dari 43.5 % menjadi 21.3%

Sriyanto (2009) melakukan penelitian tentang rekayasa mesin kompresi biogas. Pada penelitian ini dibuat mesin penyimpanan biogas menggunakan kompesor torak dan juga kondensor untuk mendinginkan biogas yang sudah dikompresi. Pada penelitian ini belum dilakukan proses pemurnian biogas, sehingga biogas hanya memiliki kandungan metana sebesar 60%. Biogas dikompresi hingga tekanan 102.8 Psi yang menghasilkan temperatur keluar kompresor 42 °C dan kemudian didinginkan dengan kondensor menjadi 33 °C.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Fadli, dkk (2013) melakukan penelitian tentang kaji eksperimental sistem penyimpanan biogas dengan metode pengkompresian dan pendinginan pada tabung gas sebagai bahan bakar pengganti gas LPG. Biogas dikompresi pada tekanan 6 bar (87 psi) dengan variasi temperatur pendinginan yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian ini menunjukkan semakin rendah temperatur biogas, maka semakin besar massa dari biogas dapat disimpan di dalam tabung dengan massa penyimpanan terbesar adalah 36.4 gram.

2.2 Biogas

Biogas adalah bahan bakar gas yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan dari proses fermentasi *anaerob* dari bahan organik seperti limbah atau kotoran ternak. Tempat yang digunakan untuk pembuatan biogas biasa disebut sebagai digester. Biogas dapat dihasilkan dengan bantuan bakteri metan seperti *methanobacterium, methanobacillus, methanosarcina,* atau *metanococcus*. Dalam proses tersebut dihasilkan gas yang sebagian besar berupa gas metana (55-70%) yang memiliki sifat mudah terbakar, karbon dioksida (27-45 %), nitrogen (0.5-3.0 %), oksigen (6%), dan sebagian kecil gas hidrogen sulfida (H_2S) (Haryati, 2006).

Proses pembentukan biogas dilakukan dalam lingkungan yang bebas oksigen atau udara terdiri dari empat proses yaitu :

(a) Hidrolisis, pada tahap ini terjadi proses penguraian bahan organik komplek menjadi bahan organik sederhana, kemudian juga terjadi proses perubahan struktur bentuk polimer menjadi monomer. Kelompok bakteri anaerobik memecah molekul organik komplek (protein, selulosa, lignin, lipids) menjadi molekul monomer yang terlarut seperti asam amino, glukosa, asam lemak, dan gliserol. (Santoso, 2010).

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 \qquad (2\text{-}1)$$

Selulosa Glukosa

(b) Asidogenik atau pengasaman, pada tahap ini bakteri asidogenik pembentuk asam seperti *clostridium* merubah glukosa menjadi etanol (Santoso, 2010).

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2\ CO_2 \qquad (2\text{-}2)$$

Glukosa Etanol

(c) Asetogenik merupakan tahap dari bakteri *syntrobacter wolinii* dan *syntrophomonas wolfei* merubah etanol menjadi asam asetat dan hidrogen (McInernay et al., 1981).

$$CH_3CH_2OH + CO_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2 \qquad (2\text{-}3)$$

Etanol Asam asetat

(d) Metanogenik, pada tahap ini terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri metanogen akan merubah asam asetat yang terbentuk dari proses sebelumya menjadi metana dan karbondioksida (Santoso, 2010).

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (2\text{-}4)$$

Asam asetat Metana

2.3 Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem kompresi fluida gas yang berfungsi untuk memampatkan fluida gas atau udara. Prinsip kerjanya adalah merubah energi mekanik dari gerakan putar motor menjadi energi tekan fluida yang di kompresi agar dapat memindahkan fluida gas dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Kompresor diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu :

1. *Positive displacement compressor*

   Pada *positive displacement compressor*, langkah mengkompresi udara atau gas dilakukan dengan cara menurunkan volume ruang kompresi sehingga gas termampatkan yang mengakibatkan tekanannya semakin meningkat. Beberapa contoh dari *positive displacement compressor* antara lain: kompresor *reciprocating* dan kompresor *rotary*.

2. *Dynamic compressor*

   Dynamic compressor mengkompresi gas dengan cara memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran impeller pada kecepatan sangat tinggi akan memberikan energi kinetik pada aliran udara atau gas yang kontinyu. Selanjutnya energi kinetik akan dirubah menjadi energi tekan. Contoh dari *dynamic compressor* adalah: kompresor sentrifugal, dan kompresor aksial.

2.4 Teori Kompresi Gas

Teori kompresi gas merupakan teori yang dapat menjalaskan hubungan antara tekanan, volume, dan juga temperatur pada suatu fluida kompresibel pada saat dilakukan proses kompresi maupun ekspansi yang akan dijelaskan sebagai berikut.

2.4.1 Hubungan Tekanan Dan Volume

Hubungan antara tekanan dan volume gas dalam proses kompresi jika temperatur gas dijaga konstan, maka pengecilan volume gas menjadi setengah kali akan meningkatkan tekanan menjadi 2 kali lipatnya. Jadi, ketika gas dikompresikan atau di ekspansikan pada tempeatur yang konstan, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya

(Sularso, 1996). Kondisi ini digambarkan sesuai dengan hukum Boyle yang berbunyi "Jika gas di kompresikan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding berbalik dengan dengan volumenya" yang dirumuskan pada persamaan (2-5):

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = konstan \quad (2\text{-}5)$$

Keterangan :

P_1 = Tekanan kondisi 1

V_1 = Volume kondisi 1

P_2 = Tekanan kondisi 2

V_2 = Volume kondisi 2

2.4.2 Hubungan Temperatur Dan Volume

Ketika temperatur gas dinaikkan sebesar 1 °C pada tekanan konstan, maka volume dari gas akan bertambah sebesar 1/273 dari volumenya saat 0 °C. Sebaliknya apabila temperaturnya diturunkan pada tekanan konstan, maka volumenya juga akan mengalami penurunan (Sularso, 1996). Pernyataan di atas sesuai dengan hukum Charles yang berbunyi "Pada proses tekanan tetap, volume gas berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya." Yang dapat digambarkan dengan pada persamaan (2-6) :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2\text{-}6)$$

Keterangan :

T_1 = Temperatur kondisi 1

V_1 dan V_2 = Volume kondisi 1 dan kondisi 2

T_2 = Temperatur kondisi 2

2.4.3 Persamaan Keadaan

Hukum Boyle-Charles merupakan gabungan hukum Boyle dan hukum Charles yang dinyatakan sebagai: (Sularso, 1996)

$$P \times V = m \times R \times T \quad (2\text{-}7)$$

Keterangan :

P = Tekanan mutlak (kg/m^2)

V = Volume (m^3)

m = Berat Gas (kg)

R = Konstanta gas (m/°C)

T = Temperatur mutlak (°C)

Persamaan (2-7) dapat dituliskan dalam bentuk lain dengan meninjau besar dari volume gas tiap satuan berat:

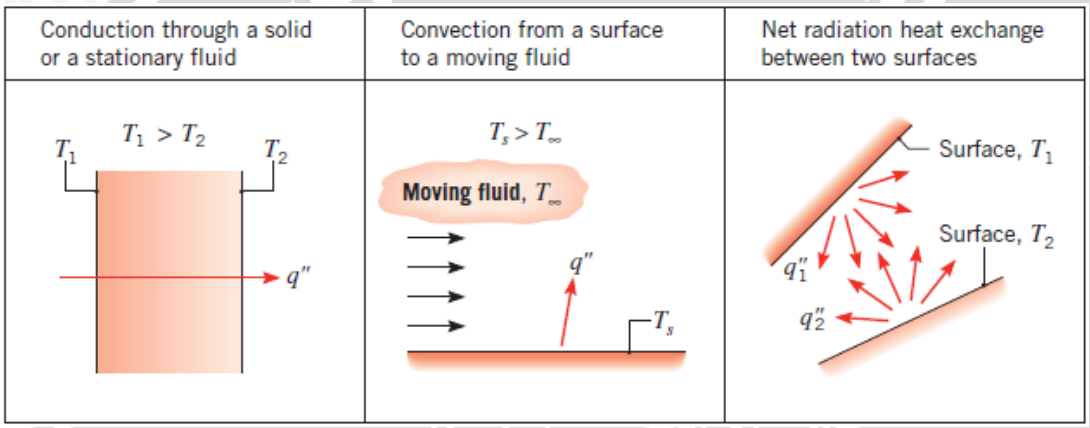
$$P \times v = R \times T \qquad (2\text{-}8)$$

Dimana v adalah volume spesifik (m^3/kg) dan nilai $v = \frac{1}{\rho}$ dengan ρ adalah berat jenis (kg/m^3), maka persamaan (2-8) dapat ditulis sebagai :

$$\frac{P}{\rho} = RT \qquad (2\text{-}9)$$

$$\frac{Pv}{T} = R = konstan \qquad (2\text{-}10)$$

2.5 Perpindahan Panas



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi.
Sumber: Incropera (2011:2).

Perpindahan panas merupakan proses berpindahnya panas atau kalor akibat adanya perbedaan temperatur antara suatu benda dengan yang lainnya dan akan terus berlangsung hingga temperatur keduanya seragam. Perpindahan panas berlangsung dari temperatur tinggi menuju ke temperatur yang lebih rendah. Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 proses perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara yaitu:

1. Konduksi

   Perpindahan panas secara konduksi terjadi akibat rambatan energi antar partikel yang saling berdekatan. Partikel yang memiliki energi lebih besar akan menggetarkan partikel dengan energi yang lebih lemah sehingga terjadi proses perambatan panas. Perpindahan panas konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair, maupun gas. Perpindahan panas konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan (2-11):

$$Q = k \times A \times \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \qquad (2\text{-}11)$$

2. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas yang diikuti dengan berpindahnya zat perantara. Perpindahan konveksi biasanya diawali dengan perpindahan panas secara konduksi dari benda padat yang akan mentransferkan energinya pada zat cair atau gas yang berada disekitarnya. Kemudian terjadi gerakan mencapur antara zat cair ataupun gas sehingga terjadinya proses perambatan panas. Perpindahan panas konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan (2-12):

$$Q = h \times A_s \times (T_s - T_\infty) \qquad (2\text{-}12)$$

3. Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Perpindahan panas terjadi melalui energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi dapat dihitung menggunakan persamaan (2-13):

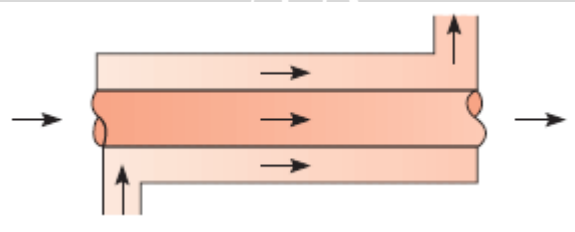
$$Q = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times ({T_s}^4 - {T_\infty}^4) \qquad (2\text{-}13)$$

2.6 *Heat Exchanger*

Heat exchanger atau alat penukar panas diklasifikasikan berdasarkan arah aliran dan konstruksinya. Sebuah *heat exchanger* yang sederhana terdiri dari fluida panas dan fluida dingin yang bergerak dengan arah sama atau arah berlawanan di dalam pipa. Berdasarkan arah aliran fluidanya, *heat exchanger* dibedakan menjadi :

A. *Paralel flow heat exchanger*

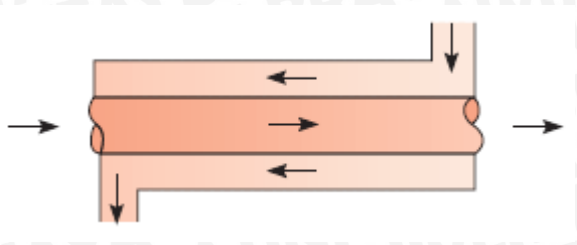
Dalam *paralel flow*, fluida panas dan dingin dialirkan dengan arah aliran yang sama antara aliran masuk dan keluar dari masing-masing fluida tersebut.



Gambar 2.2 *Paralel flow heat exchanger*.
Sumber: Incropera (2011:672).

B. *Counter flow heat exchanger*

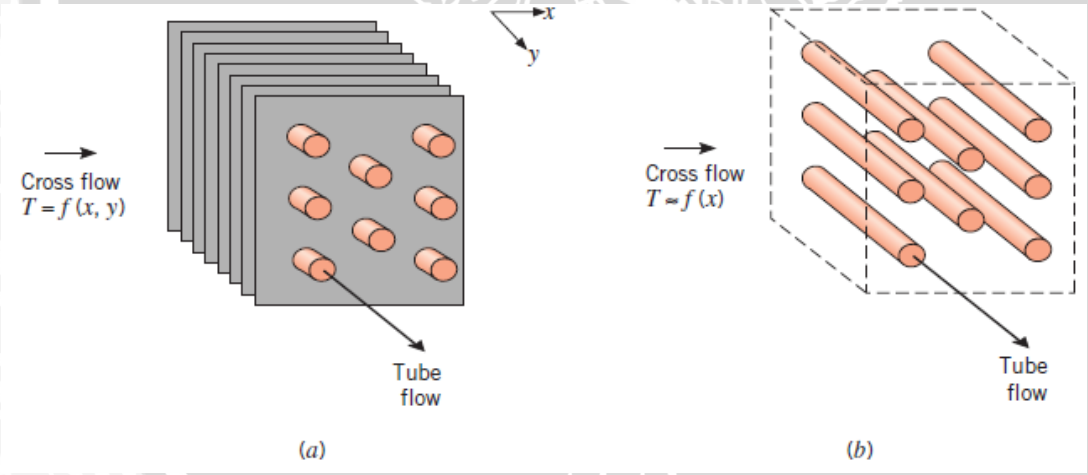
Pada *heat exchanger* berjenis *counter flow* arah aliran antara fluida panas dan fluida dingin saling berlawanan.



Gambar 2.3 *Counter flow heat exchanger*.
Sumber: Incropera (2011:672).

C. *Cross flow heat exchanger*

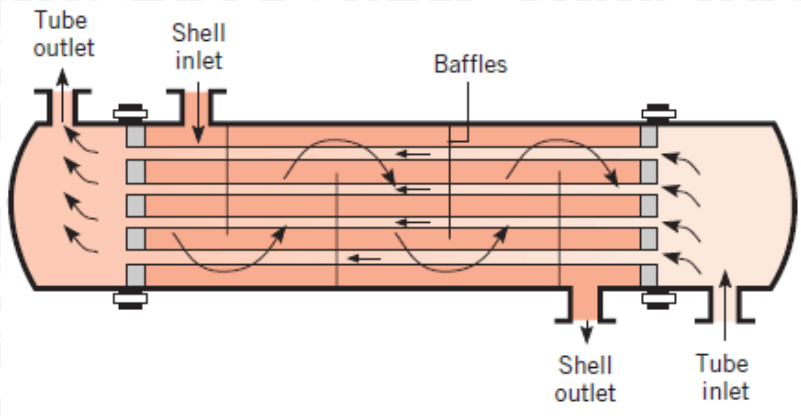
Pada jenis *cross flow*, arah aliran fluida bergerak saling tegak lurus satu sama lain yang kadang memiliki fin atau unfinned. Jenis dari *heat exchanger* berjenis *cross flow* biasanya dibedakan lagi dari fluidanya yang tidak bercampur atau bercampur antara satu dan yang lain. *Cross flow* dikatakan tidak bercampur karena sirip menghambat gerak dalam arah (y) yang melintang ke arah utama-aliran (x). Sebaliknya, untuk *cross flow unfinned* (tanpa *fin*) gerakan fluida dalam arah melintang mungkin terjadi, maka dapat dikatakan fluida bercampur.



Gambar 2.4 Cross-flow *heat exchanger*. (a) bersirip dengan kedua cairan tidak dicampur. (b) *Unfinned* dengan satu cairan dicampur dan tidak dicampur.
Sumber: Incropera (2011:672).

D. *Shell and tube heat exchanger*

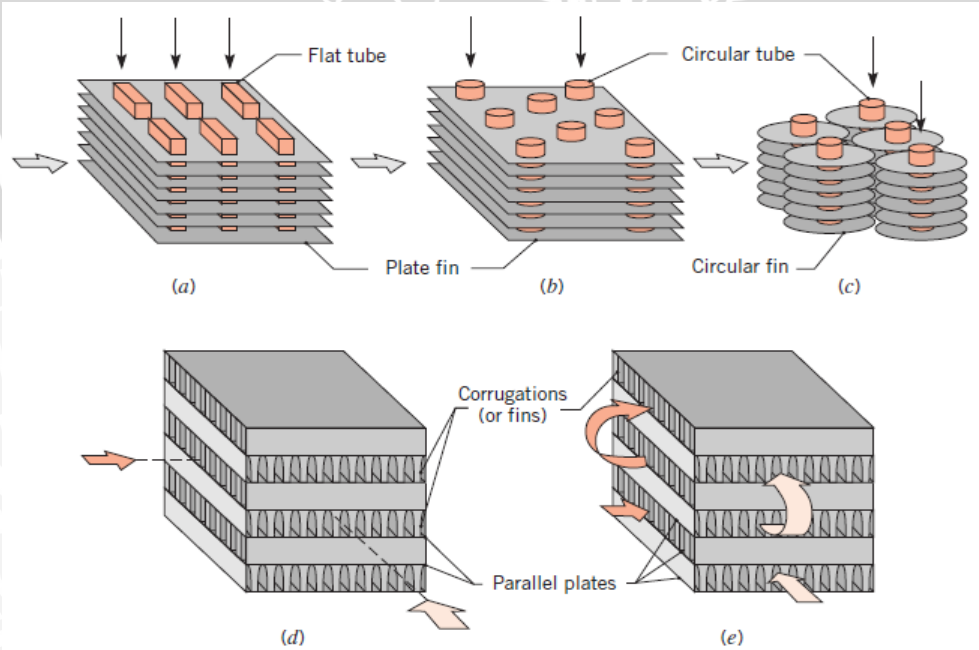
Jenis lain yang umum adalah *shell* dan *tube heat exchanger*. Bentuk spesifiknya dapat berbeda-beda tergantung dari jumlah *shell* dan jumlah *tube*. Bentuk yang paling sederhana hanya terdiri dari satu *tube* dan melewati sebuah *shell*. *Baffles* biasanya dipasang untuk meningkatkan konveksi fluida di dalam *shell* dengan membuat aliran turbulen dan kecepatan aliran silang terhadap *tube*.



Gambar 2.5 *Shell and tube heat exchanger*.
Sumber: Incropera (2011:673).

E. *Compact heat exchanger*

Bentuk khusus dari *heat exchanger* digunakan untuk mencapai luas perpindahan panas per satuan volume yang sangat besar (≥ 400 m^2/m^3 untuk cairan dan ≥ 700 m^2/m^3 untuk gas). Disebut *compact heat exchanger* karena memiliki susunan *tube* bersirip yang padat atau plat yang biasanya digunakan untuk fluida gas oleh sebab itu memiliki koefisien konveksi yang kecil. Bagian yang digunakan untuk fluida mengalir dalam *compact heat exchanger* biasanya kecil (Dh ≤ 5 mm), dan biasanya memiliki aliran yang laminar.



Gambar 2.6 *Compact heat exchanger*. (a) *Fin–tube* (*flat tubes, continuous plate fins*). (b) *Fin–tube* (*circular tubes, continuous plate fins*). (c) *Fin–tube* (*circular tubes, circular fins*). (d) *Plate–fin* (*single pass*). (e) *Plate–fin* (*multipass*).
Sumber: Incropera (2011:674).

Untuk menganalisis besar perpindahan panas yang terjadi pada *heat exchanger* dapat dilakukan dengan cara meninjau perubahan temperatur yang terjadi, seperti yang dituliskan pada pada persamaan (2-14) atau persamaan (2-15) (Cangel, 2006):

$$Q = \dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2\text{-}14)$$

atau

$$Q = \dot{m}_h \times Cp_h \times (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2\text{-}15)$$

Besar dari perbindahan panas yang terjadi antara fluida panas dan fluida dingin akan memiliki nilai yang sama, maka dapat ditulaskan seperti:

$$Q_{cold} = Q_{hot} \quad (2\text{-}16)$$

$$\dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,o} - T_{c,i}) = \dot{m}_h \times Cp_h \times (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2\text{-}17)$$

Keterangan :

Q	= Laju perpindahan panas (kj/s)
$\dot{m}_c$ / $\dot{m}_h$	= Massa alir fluida dingin dan fluida panas (kg/s)
C_{pc}	= Panas spesifik fluida dingin (kj/kg.°C)
C_{ph}	= Panas spesifik fluida dingin (kj/kg.°C)
$T_{c,o}$	= Temperatur keluar fluida dingin (°C)
$T_{c,i}$	= Temperatur masuk fluida dingin (°C)
$T_{h,i}$	= Temperatur masuk fluida panas (°C)
$T_{h,o}$	= Temperatur keluar fluida panas (°C)

2.7 Pemurnian Biogas

Kandungan biogas mengandung berbagai macam pengotor yang merugikan, maka diperlukannya tindakan pemurnian pada biogas untuk meningkatkan kandungan metana agar energi yang dihasilkan dapat optimal. Proses pemurnian biogas dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti dengan menggunakan metode absorbsi kimia dan adsorbsi fisika (padatan).

Proses pemurnian biogas bertujuan untuk mengurangi pengotor yang terkandung dalam biogas seperti gas CO_2, H_2O, H_2S. Pemurnian biogas dengan metode absorbsi kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH. Sedangkan metode adsorbsi fisika menggunakan padatan untuk pemurnian dapat dilakukan dengan menggunakan padatan seperti zeolit ataupun arang aktif. Efektivitas dari pemurnian biogas dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (2-18):

$$\text{Efektivitas Pemurnian} = \frac{CO_2\text{awal} - CO_2\text{Akhir}}{CO_2\text{awal}} \times 100\% \quad (2\text{-}18)$$

2.7.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida yang memiliki rumus molekul NaOH, yang dikenal sebagai sodium hidroksida, soda kaustik, atau soda api merupakan jenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida berasal dari oksida basa natrium oksida yang dilarutkan di dalam air. Natrium hidroksida akan membentuk larutan alkalin yang kuat saat dilarutkan ke dalam air. Natrium hidroksida merupakan basa yang sering digunakan digunakan di berbagai macam bidang industri maupun dalam laboratorium. Sifat yang dimiliki dari natrium hidroksida adalah :

Rumus	: NaOH
Penampilan	: Zat padat putih
Kepadatan	: 2.13 g/cm³
Massa molar	: 39.997 g/mol
Titik lebur	: 318 °C
Titik didih	: 1388 °C
Kelarutan dalam air	: 111 g/100 ml (20 °C)
Larut dalam	: Air, Metanol, Etanol

Natrium hidroksida murni mempunyai bentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50% yang biasa disebut dengan larutan *sorensen*. Natrium hidroksida bersifat lembap cair dan secara spontan akan menyerap karbon dioksida yang ada pada udara bebas. Saat proses melarutkan NaOH dalam air akan menimbulkan panas karena pada saat proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. NaOH juga dapat larut dalam etanol maupun metanol, meskipun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. Natrium hidroksida dapat digunakan untuk menyerap kandungan CO_2 yang terkandung dalam biogas seperti yang ditunjukkan pada reaksi kimia pada persamaan (2-19):

$$CO_2(g) + 2NaOH(aq) \longrightarrow Na_2CO_3(s) + H_2O(l) \qquad (2\text{-}19)$$

2.7.2 Zeolit

Zeolit merupakan senyawa yang terdiri dari susunan aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan SiO_4 dan AlO_4 tetrahidra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Pada setiap kerangkanya, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah dipertukarkan yang akan berpengaruh pada kemampuan adsorpsi zeolit. Selain dipengaruhi oleh jenis kation, kemampuan adsorpsi zeolit juga dipengaruhi oleh perbandingan Si atau Al yang terdapat di dalam zeolit dan juga geometri pori-pori zeolit, termasuk luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori dan bentuk

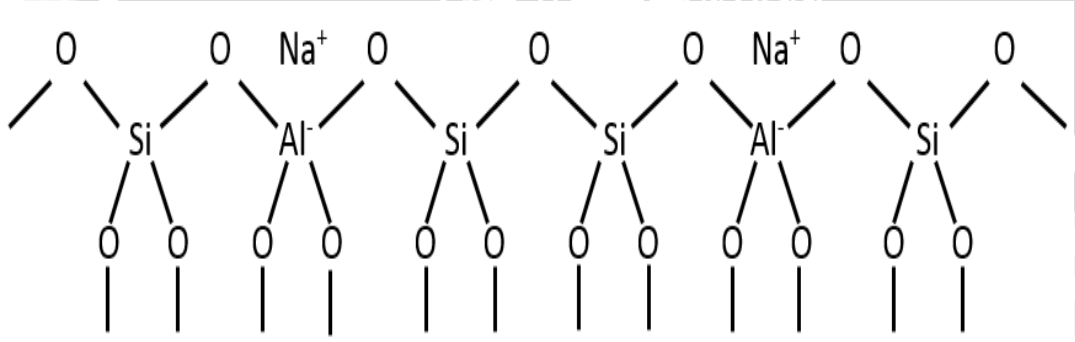
dari pori. Zeolit juga merupakan senyawa yang mampu menyerap gas-gas seperti CO_2, H_2O, H_2S, dan SO_2, kecuali gas CH_4 yang tidak terserap (Apriyanti, 2012).

Zeolit terbagi menjadi dua yaitu zeolit alam dan juga zeolit sintetis atau buatan. Zeolit alam merupakan zeolit yang terbentuk dari proses alam atau secara alami. Pada saat ini dikenal sekitar 40 jenis zeolit alam, meskipun yang mempunyai nilai komersial ada sekitar 12 jenis, diantaranya klinoptilolit, mordernit, filipsit, kabasit dan erionit.

Sedangkan zeolit sintesis merupakan suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit sintesis dibuat dari bahan lain dengan proses sintetis yang dimodifikasi agar dapat menyerupai zeolit yang terdapat di alam. Mineral dari zeolit sintetis tidak dapat sama persis dengan mineral zeolit alam, meskipun zeolit sintetis mempunyai sifat fisis yang lebih baik.

Sebelum digunakan sebagai adsorben untuk dapat menyerap kandungan CO_2 pada biogas, dibutuhkan suatu proses aktivasi untuk dapat meningkatkan sifat adsorben dari zeolit. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan melalui beberapa cara seperti dengan cara dilakukan pemanasan dalam jangka waktu dan suhu tertentu. Aktivasi zeolit juga dapat dilakukan dengan proses kimia seperti dengan pemberian larutan NaOH atau KOH yang berfungsi untuk membersihkan permukaan luar dari zeolit.

Unsur pembentuk utama dari zeolit adalah SiO_4 dan AlO_4 yang membentuk tetrahidral yang pada setiap atom oksigen berada pada keempat sudutnya. Struktur yang terbentuk merupakan jaringan tiga dimensi dengan setiap atom oksigen digunakan bersama oleh dua tetrahedral seperti pada gambar 2.7.



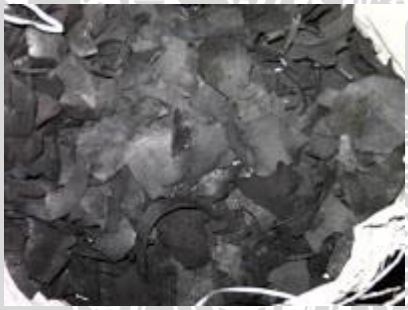
Gambar 2.7 Unsur penyusun zeolit

Struktur rangka utama zeolit ditempati oleh atom silikon atau aluminium dengan empat atom oksigen pada setiap sudut. Hal ini yang menyebabkan zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorben. Atom oksigen yang terdapat dalam struktur zeolit tersebut terbagi antara dua tetrahedral, sehingga membentuk suatu rangka yang bersambung. Penggantian Si^{4+}

dengan Al^{3+} dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka bermuatan negatif, hal tersebut yang membuat zeolit bermuatan negatif dan perlu diaktifkan terlebih dahulu dengan menggunakan kation untuk menyeimbangkan muatan (Kundari, 2008)

2.7.3 Arang Aktif

Arang aktif berasal dari arang yang telah mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia akibat diberi perlakuan khusus yang bertujuan untuk aktifasi menggunakan aktivator dari bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi, sehingga kemampuan arang sebagai adsorben dapat meningkat. Sifat yang dimiliki arang aktif yaitu mempunyai kemampuan tinggi sebagai adsorben bahan kimia dalam fase gas atau cairan tergantung dari ukuran pori. Penyerapan dalam fase gas dipengaruhi oleh struktur mikropori < 20 ångström (A°) yang dapat digunakan untuk mendaur ulang zat cair, pengendali emisi gas pada minyak gas, saringan pada rokok dan pengendali emisi gas pada industri, sedangkan untuk fase cair oleh struktur mesopori 20-500 ångström (A°) dapat digunakan untuk pemurnian air minum, perlakuan limbah cair, penghilangan warna pada makanan dan bahan kimia (Darwawan, 2008).



Gambar 2.8 Arang aktif
Sumber : Hidayat, 2012

Arang aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung lignoselulosa. Tempurung merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan arang aktif seperti tempurung kelapa, kelapa sawit, Brazil nut, pecan nut, almond nut maupun biji jarak (Bonelli, 2001). Untuk meningkatkan kemampuan adsorbsinya, arang harus di aktivasi terlebih dahulu. Ada dua cara untuk membuat arang aktif yaitu dengan aktivasi secara fisik dan kimia. Aktivasi secara fisik dapat dilakukan cara memanaskan arang pada suhu sekitar 800 °C. Sedangkan aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan cara merendam arang dengan bahan pengaktif seperti H_3PO_4, NH_4HCO_3, KOH, dan NaOH berfungsi untuk menghilangkan atau mengeluarkan kotoran-kotoran yang terdapat pada permukaan arang berupa senyawa-senyawa hidrokarbon

atau tar yang melapisi permukaan. Kualitas dari arang aktif juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bahan baku yang digunakan, bahan pengaktif, suhu dan cara pengaktivannya (Darwawan, 2008).

2.8 Hipotesa

Dengan meningkatkan kecepatan fluida pendingin pada *heat exchenger* akan menyebabkan laju perpindahan panasnya semakin besar. Ketika laju perpindahan panas pada *heat exchanger* semakin besar, maka temperatur biogas akan semakin rendah sehingga mengakibatkan nilai densitasnya semakin besar. Apabila nilai densitasnya semakin meningkat, pada volume penyimpanan biogas yang sama akan menghasilkan massa penyimpanan yang lebih besar. Kemudian kandungan karbon dioksida pada biogas dapat direduksi dengan menggunakan larutan NaOH, zeolit dan arang aktif.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental. Jenis penelitian ini digunakan untuk meneliti hubungan sebab dan akibat antar variabel suatu proses, dengan melakukan tiruan terhadap proses sebenarnya yang kemudian akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu hasil yang efektif. Dengan metode ini akan diuji pengaruh dari kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* terhadap kapasitas penyimpanan biogas dalam tabung bertekanan.

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2016 – April 2016. Tempat yang digunakan untuk penelitian ini di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah :

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan variabel ini biasanya ditentukan terlebih dahulu sebelum kegiatan penelitian dilaksanakan. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger* yaitu sebesar 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s.

2. Variabel terkontrol

   Variabel terkontrol adalah variabel yang dikondisikan konstan atau besarnya tetap selama penelitian berlangsung. Nilai dari variabel terkontrol ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah :

   - Larutan NaOH dengan konsentrasi 40 %.
   - Jumlah massa zeolit sebesar 1170 gram.
   - Arang aktif dengan massa 25 gram.
   - Tekanan penyimpanan biogas 250 Psi (1825,02 kPa).
   - Biogas terdiri dari 60% CH_4 dan 40% CO_2 dengan laju aliran 10 L/min.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya didapatkan akibat pengaruh dari variabel bebas yang digunakan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian kali ini adalah :

- Temperatur biogas masuk & keluar *heat exchanger*.
- Besar massa penyimpanan biogas pada tabung bertekanan.
- Komposisi biogas

3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah:

1. Tabung CH_4

Tabung CH_4 merupakan tabung yang digunakan sebagai tempat penyimpanan gas CH_4.

2. Tabung CO_2

Tabung CO_2 merupakan tabung yang digunakan sebagai tempat penyimpanan gas CO_2.

3. *Flowmeter* gas

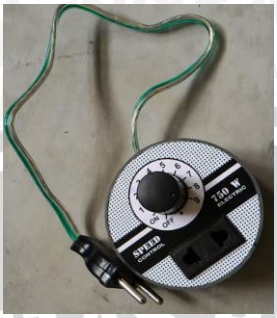
Digunakan untuk mengatur dan mengkontrol laju volume masuk gas yang akan memasuki kompresor.

Merek	: Zyia
Model	: LZM-4T
Akurasi	: ± 4 %
Kapasitas aliran	: 0 – 12 liter/menit
Buatan	: Zhejiang, China

Gambar 3.1 *Flowmeter gas*

4. *Speed Control*

Speed Control memiliki fungsi untuk mengatur kecepatan putar dari kipas *heat exchanger*.



Gambar 3.2 *Speed Control*

5. *Pressure gage*

Pressure gage merupakan alat ukur digunakan untuk mengukur besar tekanan pada biogas.

6. *Thermokopel*

Digunakan sebagai sensor pengukuran temperatur dari biogas yang memiliki spesifikasi:

Tipe : *Thermokopel* tipe K

Range : 0 – 400 °C

7. *Selenoid*

Berfungsi sebagai katup searah yang digunakan sebagai pengaman agar tidak ada aliran balik dari tabung bertekanan menuju kompressor.

Gambar 3.3 *Selenoid*

8. Regulator gas

Regulator gas yang berfungsi sebagai konektor alat penabungan biogas dengan tabung penyimpanan.

9. Kompressor

Digunakan untuk mengkompresi biogas ke dalam tabung. Kompresor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Merk	: Matsushita Electric
Tipe	: Kompresor *Rotary*
Daya	: 1 HP
Tegangan	: 220 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Laju aliran	: 20 liter/menit
Buatan	: China

Gambar 3.4 Kompresor

10. Tabung NaOH

Tabung NaOH berfungsi sebagai tempat yang digunakan untuk meletakkan larutan NaOH pada sistem purifikasi.

11. Tabung zeolit

Tabung zeolit merupakan tempat yang digunakan untuk meletakkan zeolit pada sistem purifikasi.

12. Tabung arang

Tabung arang merupakan tempat yang digunakan untuk meletakkan arang aktif pada sistem purifikasi.

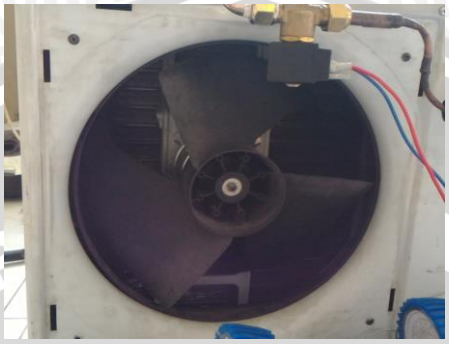
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

13. *Heat exchanger*

Heat exchanger digunakan untuk mendinginkan atau menurunkan temperatur biogas bertekanan yang keluar dari kompresor.

Jenis : *Compact heat exchanger*

Media Pendingin : Fluida udara dengan bantuan fan



Gambar 3.5 *Heat exchanger*

14. *Gas analyzer*

Gas analyzer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kandungan CO_2 pada biogas hasil purifikasi.

Merek : Multi-gas Detecting Alarm

Model : IRCD4

Charger power supply : 110-240 Volt
50-60 Hz

Battery item : PL123450 3.7V/1500mA

Measuring range CO_2 : 0 ~ 100 % vol (*resolution* 1% vol)

Akurasi : ±10 %

Gambar 3.6 *Gas analyzer*

15. Tabung

Merupakan media yang digunakan untuk menyimpan biogas.

16. *Gas mixer*

Gas mixer merupakan alat yang berfungsi untuk mencampur gas CH_4 dan gas CO_2 sebagai penyusun dari biogas.

17. Pipa tembaga

Pipa yang difungsikan sebagai tempat mengalirnya biogas.

18. *Digital instruments*

Digunakan untuk membaca nilai temperatur yang diperoleh dari termokopel dan juga untuk mengukur kecepatan aliran udara fluida pendingin.

Merek	: LT Lutron
Model	: LM-8000
Jangkauan pengukuran	:
– Kecepatan udara	: 0.4 - 30.0 m/s
– Temperatur (*Type K*)	: -100 - 1300 ℃
Buatan	: Taiwan

Gambar 3.7 *Digital instruments*

19. *Stopwatch*

Digunakan untuk menghitung lama waktu penyimpanan biogas ke dalam tabung hingga mencapai tekanan 250 Psi.

20. Katup

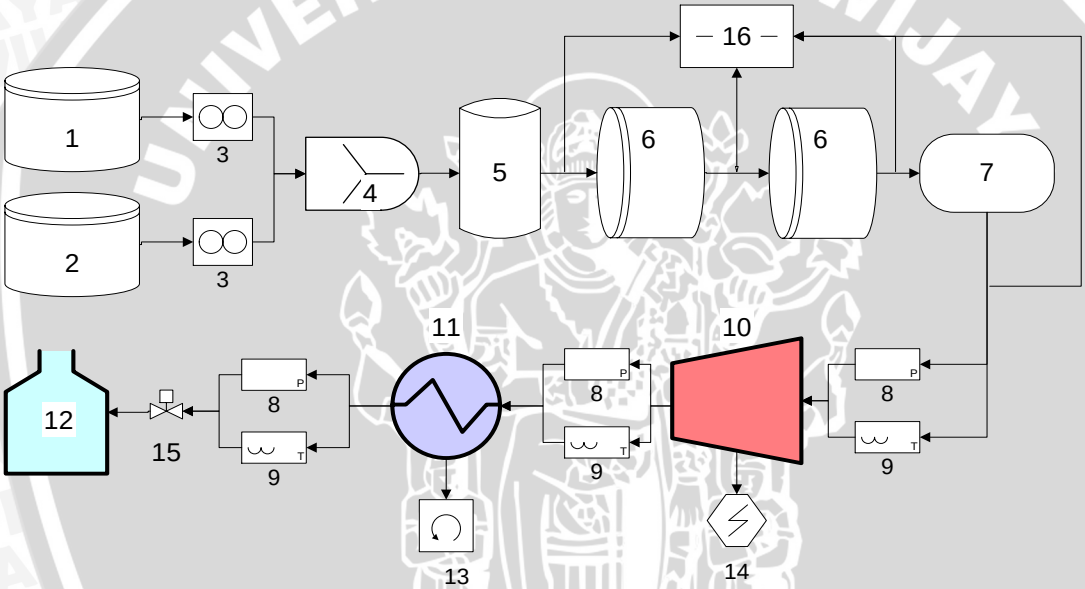
Katup yang berfungsi sebagai media untuk mengambil sampel dari biogas pada sistem purifikasi.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan:

1. Gas CH_4 yang merupakan penyusun utama membuat biogas.
2. Gas CO_2 yang digunakan sebagai campuran dari biogas.
3. NaOH yang digunakan sebagai absorben untuk menyerap kandungan CO_2 pada biogas.
4. H_2O yang digunakan untuk melarutkan NaOH.
5. Zeolit yang digunakan untuk menyerap CO_2 pada biogas.
6. Arang yang berfungsi menyerap kandungan gas CO_2.

3.5 Skema Penelitian



Keterangan :

1. Tabung CH_4
2. Tabung CO_2
3. *Flowmeter*
4. *Gas mixer*
5. Tabung NaOH
6. Tabung zeolit
7. Tabung arang aktif
8. *Pressure gauge*
9. *Termokopel*
10. Kompresor
11. *Heat exchanger*
12. Tabung penyimpanan biogas
13. *Fan speed control*
14. Volt meter dan ampere meter
15. Selenoid
16. *Gas analyzer*

3.6 Prosedur Penelitian

1. Studi literatur

   Merupakan kegiatan mempelajari referensi yang terkait dengan topik penelitian seperti dari buku-buku, jurnal, atau teori-teori yang mendukung untuk menentukan hipotesa dan memperjelas hasil dari penelitian yang dilakukan.

2. Observasi lapangan

   Observasi lapangan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mencari alat dan bahan apa saja yang diperlukan untuk melakukan penelitian seperti *heat exchanger*, kompresor dan lainnya.

3. Perancangan dan pembuatan alat

   Kegiatan yang dilakukan untuk pembuatan alat penelitian seperti perancangan atau desain dan juga instalasi dari sistem purifikasi, kompresor serta *heat exchanger* yang dihubungkan menggunakan pipa tembaga.

4. Penelitian dan pengambilan data

   Penelitian dilakukan untuk mengamati kemampuan penyerapan gas CO_2 pada sistem purifikasi dan juga mengamati temperatur biogas saat sebelum masuk kompresor, sesudah masuk kompresor, dan juga setelah melewati *heat exchanger* pada setiap kondisi variasi kecepatan fluida pendingin.

5. Analisis data hasil penelitian

   Analisis data hasil penelitian merupakan tindakan menganalisa atau membandingkan data yang didapat dari proses penelitian dalam bentuk tabel atau grafik dan menganalisa penyebab atau faktor-faktor yang mempengaruhi data hasil penelitian tersebut. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, menghitung besar laju perpindahan panas pada *heat exchanger*, menghitung nilai densitas biogas yang dapat dicari menggunakan tabel properti gas berdasarkan dari besar tekanan dan temperatur biogas, serta menghitung besar massa penyimpanan biogas yang dihasilkan pada setiap variasi.

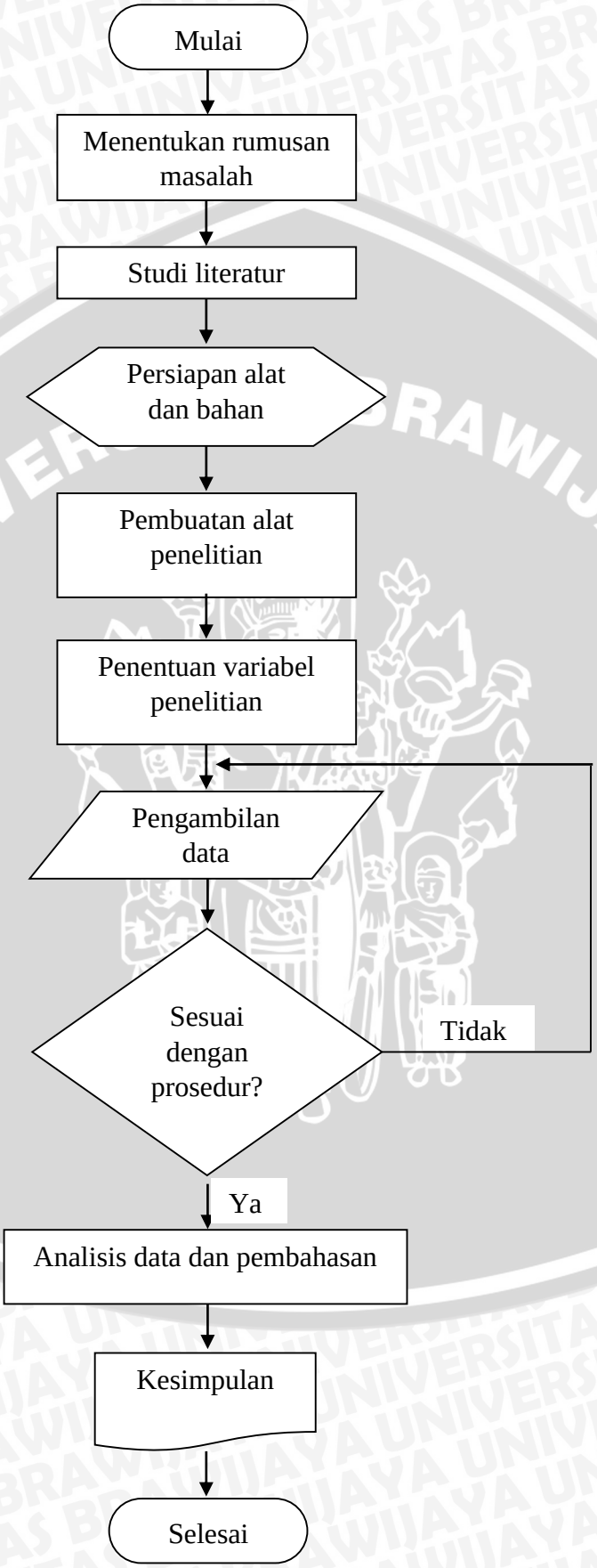
3.7 Metode Pengambilan Data

1. Siapkan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan proses penelitian.
2. Pastikan semua alat tidak ada kebocoran dan sudah terpasang dengan benar sesuai rancangan instalasi yang telah dibuat sebelumnya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

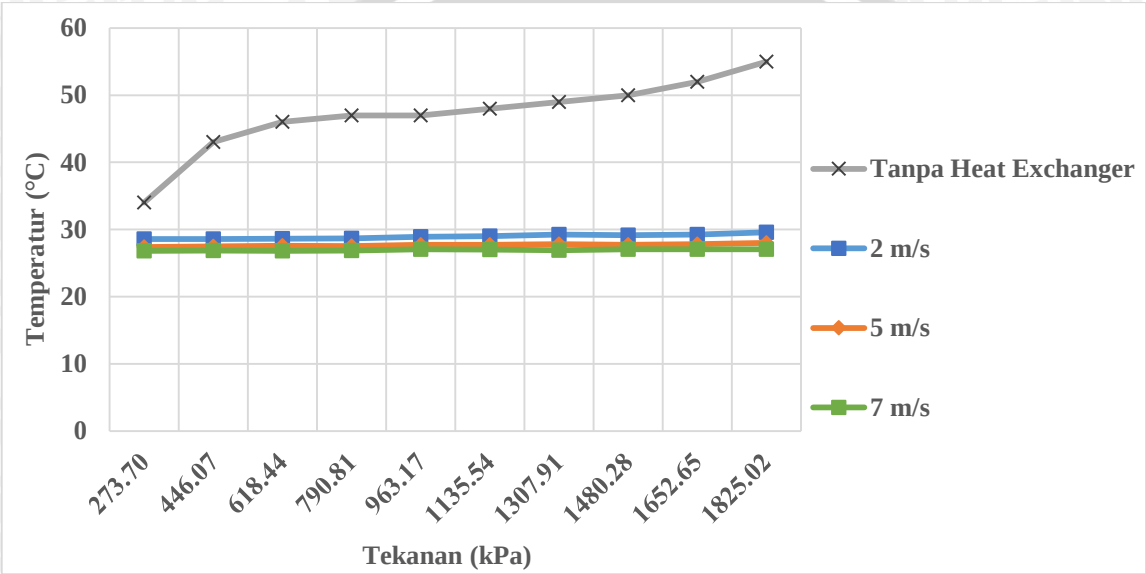
3. Larutkan NaOH dengan konsentrasi 40% ke dalam H_2O, lalu siapkan juga zeolit dan arang.aktif kemudian masukkan larutan NaOH, zeolit, dan arang aktif ke dalam tempatnya.
4. Nyalakan kompresor dan *fan heat exchanger*.
5. Atur aliran biogas dengan laju sebesar 10 liter/menit dengan campuran CH_4 60% dan CO_2 40%.
6. Pengambilan data pertama dilakukan dengan kecepatan aliran udara fluida pendingin sebesar 2 m/s.
7. Hitung lama waktu proses pengisian biogas ke dalam tabung menggunakan *stopwatch*.
8. Catat data temperatur gas masuk kompresor, temperatur gas keluar kompresor, dan temperatur gas keluar *heat exchanger* pada setiap penambahan tekanan gas keluar kompresor sebesar 25 psi.
9. Kompresikan gas pada tabung hingga tekanan gas keluar kompresor mencapai 250 psi.
10. Ambil sampel biogas setelah melewati sistem purifikasi, kemudian ukur kandungan dari gas CO_2 menggunakan *gas analyzer*.
11. Lakukan pengujian sebanyak tiga kali pada setiap variasi kecepatan aliran fluida pendingin.
12. Ulangi kembali langkah tujuh, delapan, sembilan, sepuluh, dan sebelas pada variasi kecepatan aliran udara fluida pendingin sebesar 5 m/s dan 7 m/s.

3.8 Diagram Alir Penelitian



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Saat Penggunaan *Heat Exchanger* Dan Tanpa *Heat Exchanger*



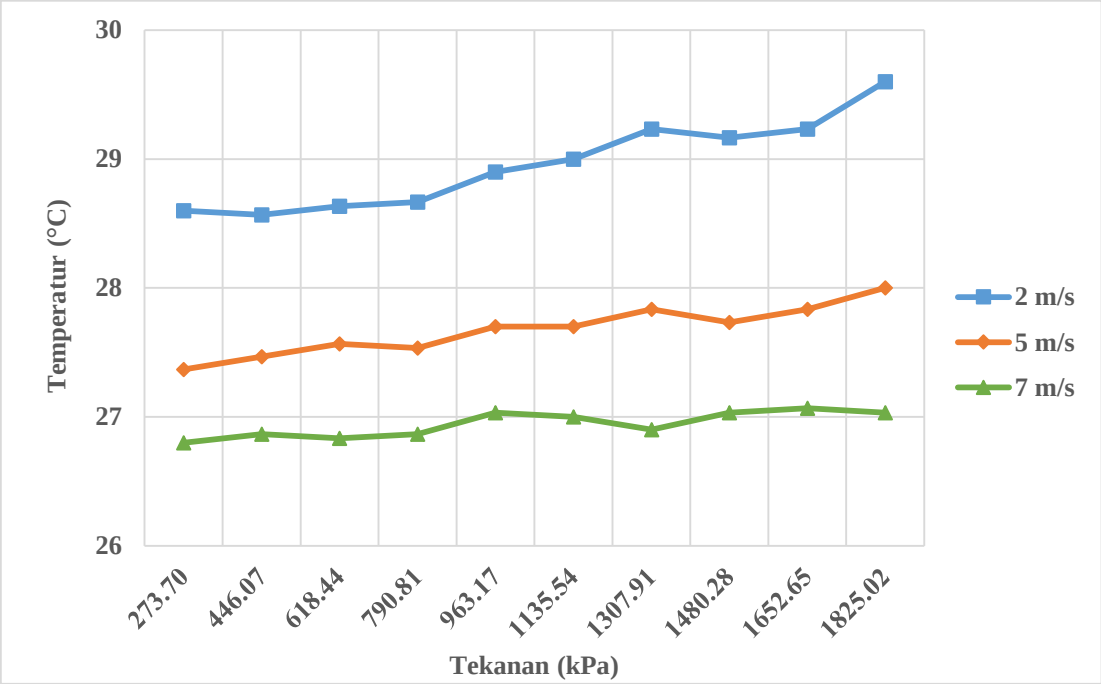
Gambar 4.1 Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas saat penggunaan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa tanpa penggunaan *heat exchanger* temperatur dari biogas akan terus meningkat bersamaan dengan meningkatnya tekanan pada biogas. Hal tersebut sesuai dengan persamaan gas ideal yaitu temperatur suatu gas akan berbanding lurus sesuai dengan penambahan tekanannya. Seperti yang dapat dilihat pada persamaan (4-1):

$$P \times V = m \times R \times T \qquad (4\text{-}1)$$

Akan tetapi dengan penggunaan *heat exchanger*, biogas akan didinginkan dengan membuang kalor atau panasnya sehingga diperoleh temperatur biogas yang mendekati temperatur dari lingkungan. Hal ini sesuai seperti yang ditunjukan grafik di atas, dengan variasi kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s temperatur dari biogas mendekati temperatur dari lingkungan. Sebagai contoh temperatur biogas tanpa penggunaan *heat exchanger* pada tekanan 1825.02 kPa akan menghasilkan temperatur sebesar 55 °C. Sedangkan dengan penggunaan *heat exchanger* dengan kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s berturut-turut menghasilkan temperatur sebesar 29.60 °C, 28.00 °C, dan 27.03 °C.

4.2 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin

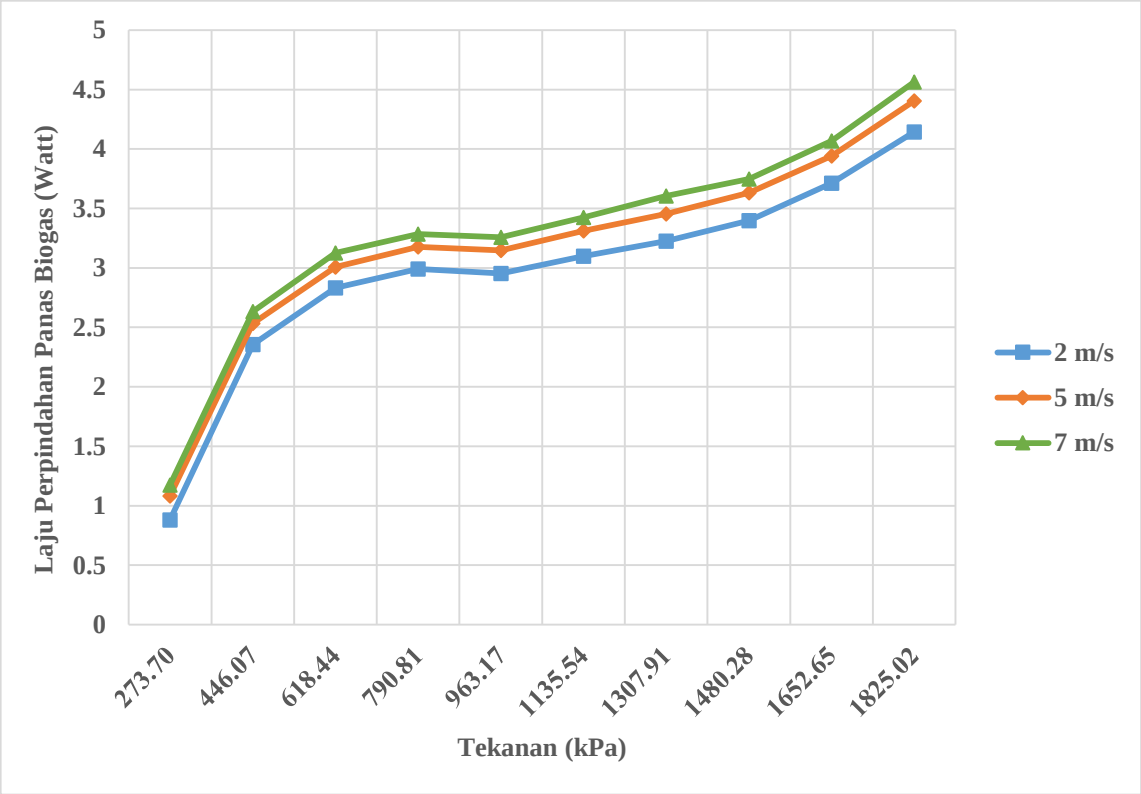


Gambar 4.2 Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas pada variasi kecepatan fluida pendingin

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa pada kecepatan fluida pendingin 2 m/s menghasilkan grafik yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan tekanan biogas. Hal ini dikarenakan kecepatan fluida pendingin yang lambat mengakibatkan pembuangan panas lebih lambat dari pada penambahan panas akibat kenaikan tekanannya. Pada kecepatan 5 m/s juga terdapat kenaikan temperatur seiring dengan penambahan tekanan biogas namun kenaikanya tidak sebesar saat kecepatan 2 m/s karena kecepatan fluida pendinginan yang lebih cepat mengakibatkan pembuangan panas ke lingkungan yang lebih cepat. Sedangkan pada kecepatan 7 m/s temperatur biogas yang dihasilkan akan lebih stabil pada setiap penambahan tekanan biogas dikarenakan kecepatan fluida pendingin yang tinggi sehingga panas yang dihasilkan dari proses penambahan tekanan dapat dibuang dengan optimal.

Hal di atas menunjukkan pengaruh dari kecepatan fluida pendingin terhadap besar temperatur biogas. Dimana dengan kecepatan fluida pendingin yang tinggi, maka didapatkan pendinginan yang optimal sehingga temperatur biogas lebih stabil. Sebagai contoh pada kecepatan fluida pendinginan 2 m/s terjadi peningkatan temperatur sebesar 1 °C, kecepatan 5 m/s sebesar 0.63 °C, dan pada kecepatan 7 m/s sebesar 0.23 °C.

4.3 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin



Gambar 4.3 Hubungan antara tekanan terhadap laju perpindahan panas pada variasi kecepatan fluida pendingin

Gambar 4.3 menjelaskan bahwa laju perpindahan panas akan semakin besar berbanding lurus dengan kecepatan fluida pendinginnya. Hal ini disebabkan karena pada saat kecepataan fluida pendingin besar maka nilai dari koefisien perpindahan panas secara konveksi akan semakin besar yang menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* semakin besar. Besar dari laju perpindahan panas pada *heat exchanger* dapat analisis atau dihitung menggunakan persamaan (4-2) :

$$Q = \dot{m} \times Cp \times (T_1 - T_2) \qquad (4\text{-}2)$$

Untuk hasil perhitungan laju perpindahan panas secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 7. Contoh perhitungan dari besar laju perpindahan panas pada *heat exchanger* saat tekanan 1825,02 kPa untuk masing-mansing variasi kecepatan fluida pendingin adalah :

1. Kecepatan fluida pendingin 2 m/s

   P = 1825.02 kPa T_1 = 55°C T_2 = 29.60°C

   $Q = 0.00007421\ \mathrm{kg/s} \times 2.198358\ \mathrm{kJ/kg.°C} \times (55°C - 29.60°C)$

   $Q = 0.004143764\ \mathrm{kJ/s} = 4.14\ Watt$

2. Kecepatan fluida pendingin 5 m/s

   P = 1825.02 kPa T_1 = 55°C T_2 = 28.00°C

   $Q = 0.00007421\ \mathrm{kg/s} \times 2.198358\ \mathrm{kJ/kg.°C} \times (55°\mathrm{C} - 28.00°\mathrm{C})$

   $Q = 0.004404788\ \mathrm{kJ/s} = 4.40\ Watt$

3. Kecepatan fluida pendingin 7 m/s

   P = 1825.02 kPa T_1 = 55°C T_2 = 27.03°C

   $Q = 0.00007421\ \mathrm{kg/s} \times 2.198358\ \mathrm{kJ/kg.°C} \times (55°\mathrm{C} - 27.03°\mathrm{C})$

   $Q = 0.00456249\ \mathrm{kJ/s} = 4.56\ Watt$

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.4 Hubungan Antara Variasi Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Perpindahan Panas

Tabel 4.1 Hubungan antara variasi kecepatan fluida pendingin terhadap koefisien perpindahan panas

No	Kecepatan Fluida Pendingin (m/s)	Bilangan *Reynold*	Koefisien Perpindahan Panas (W/m^2·K)
1	2	2531.01	38.57
2	5	6327.51	60.99
3	7	8858.52	72.16

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan fluida pendingin, maka koefisien perpindahan panas yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena aliran fluida yang tinggi juga akan memiliki bilangan *reynold* yang tinggi sehingga menyebabkan nilai dari bilangan *nusselt* yang juga semakin besar. Bilangan *nusselt* ini yang nantinya akan mempengaruhi besar dari koefisien perpindahan panas secara konveksi seperti yang dapat dilihat pada persamaan (4-3) dan persamaan (4-4) :

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} \tag{4-3}$$

$$Nu = \frac{h \times L}{k} = 0{,}664 \times Re^{0{,}5} \times Pr^{\frac{1}{3}} \tag{4-4}$$

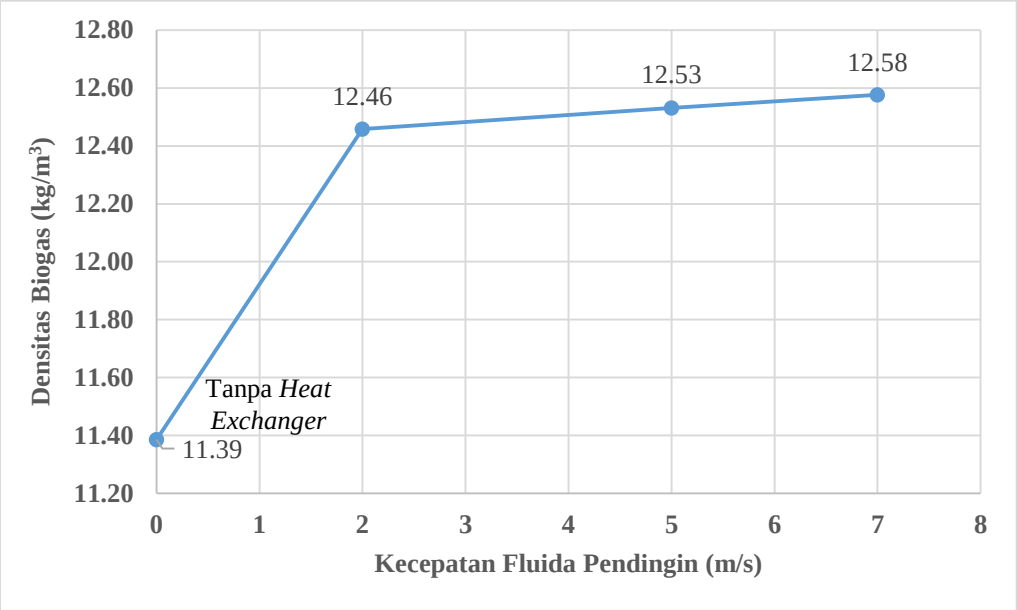
Sebagai contoh perhitungan koefisien perpindahan panas pada kecepatan fluida pendingin sebesar 7 m/s adalah :

$$Re = \frac{7 \times 0.02}{1.5804 \times 10^{-5}} = 8858.52$$

$$Nu = \frac{h \times L}{k} = 0{,}664 \times 8858.52^{0{,}5} \times 0.72904^{\frac{1}{3}} = 56.24696$$

$$h = \frac{56.24696 \times 0.025658}{0.02} = 72.16\ W/m^2 \cdot K$$

4.5 Hubungan Antara Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Densitas Biogas Pada Tekanan 1825.02 kPa



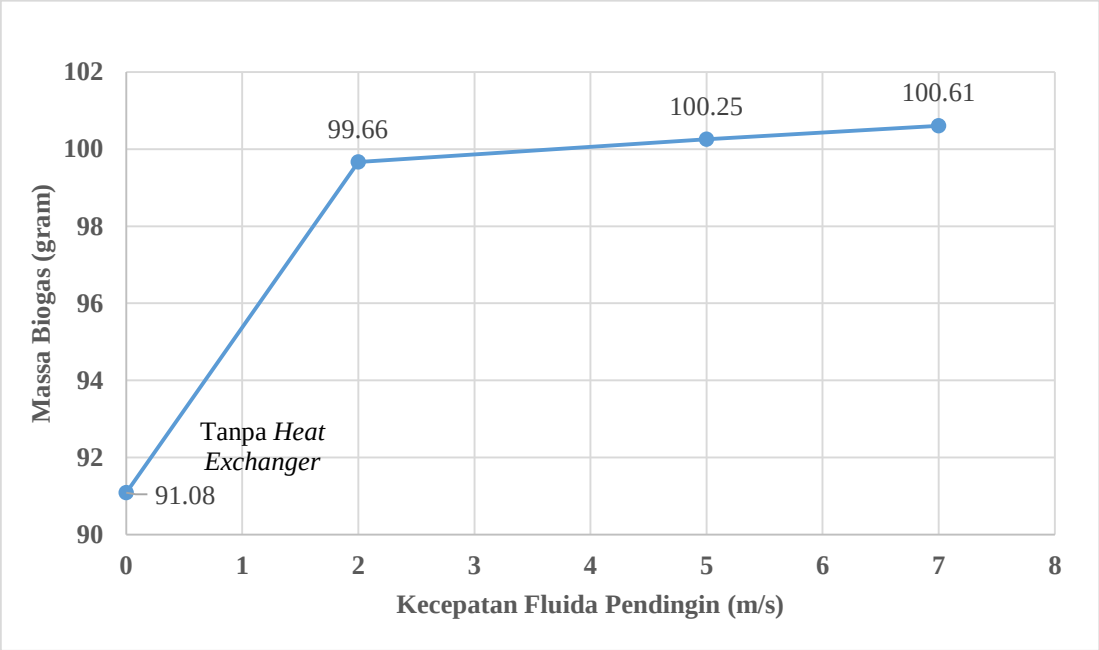
Gambar 4.4 Hubungan antara kecepatan fluida pendingin terhadap densitas biogas pada tekanan 1825.02 kPa

Gambar 4.4 menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan fluida pendingin maka nilai densitas biogas yang dihasilkan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan penggunaan kecepatan fluida pendingin yang semakin besar mengakibatkan temperatur biogas menjadi semakin rendah sehingga jarak antar molekul biogas menjadi semakin rapat yang menyebabkan nilai dari kerapatan massa atau densitasnya semakin besar sesuai dengan persamaan (4-5) :

$$P \times \frac{1}{\rho} = R \times T \qquad (4\text{-}5)$$

Perhitungan nilai densitas pada penelitian kali ini didapatkan dengan menggunakan tabel propertis dari metana dan karbon dioksida (lampiran 10 dan lampiran 11). Kandungan biogas setelah melewati sistem purifikasi memiliki kandungan rata-rata metana 98% dan karbon dioksida 2%. Sebagai contoh pada tekanan 1825.02 kPa tanpa penggunan *heat exchanger* nilai dari densitas biogas sebesar 11.39 kg/m^3. Sedangkan dengan penggunaan *heat exchanger* pada kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s nilai dari densitas biogas berturut-turut adalah 12.46 kg/m^3, 12.53 kg/m^3, 12.58 kg/m^3. Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa penggunaan temperatur yang lebih rendah lagi akan meningkatkan nilai densitasnya, maka diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat diteliti dengan penggunaaan temperatur fluida pendingin yang lebih rendah.

4.6 Hubungan Antara Kecepatan Fluida Pendingin Terhadap Massa Biogas Pada Tekanan 1825.02 kPa



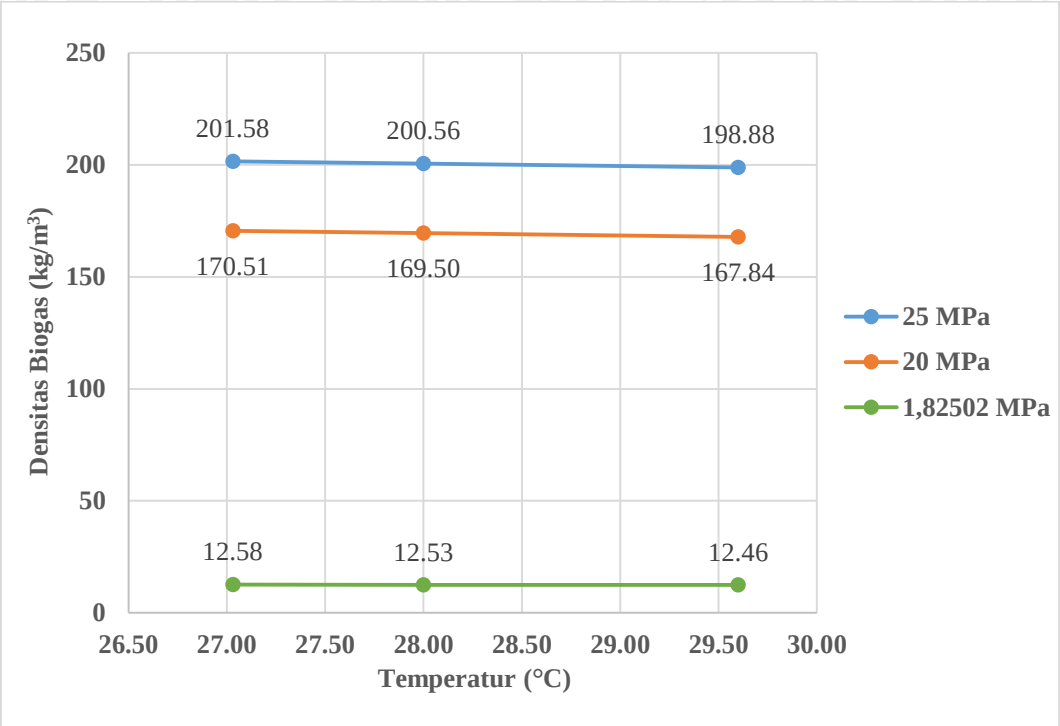
Gambar 4.5 Hubungan antara kecepatan fluida pendingin terhadap massa biogas pada tekanan 1825.02 kPa

Gambar 4.5 menjelaskan bahwa semakin tinggi kecepatan fluida pendingin pada *heat exchanger*, maka massa dari biogas akan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan pada kecepatan fluida pendingin yang tinggi menyebabkan temperatur biogas akan semakin rendah sehingga nilai densitasnya meningkat. Jika nilai densitas meningkat, maka massa biogas pada volume penyimpanan yang sama akan semakin besar seperti yang terlihat pada persamaan (4-6) :

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (4\text{-}6)$$

Pada penelitian kali ini digunakan tabung penyimpanan biogas dengan volume sebesar 8 liter. Tanpa penggunaaan *heat exchanger* didapatkan massa penyimpanan sebesar 91,08 gram. Kemudian jika menggunakan *heat exchanger* dengan kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s didapatkan massa biogas berturut-turut sebesar 99.66 gram, 100.25 gram, 100.61 gram. Dari gambar 4.5 dapat diketahui, dengan menurunkan temperatur biogas menjadi lebih rendah dari pada temperatur lingkungan, maka massa biogas akan dapat ditingkatkan lagi.

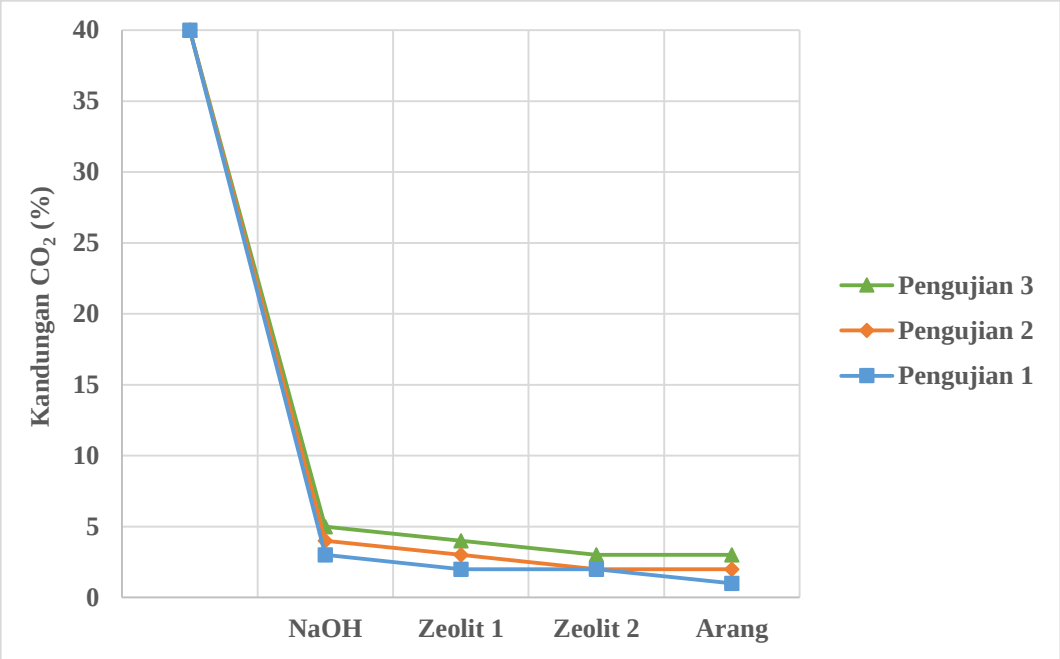
4.7 Hubungan Antara Temperatur Terhadap Densitas Biogas Pada Variasi Tekanan



Gambar 4.6 Hubungan antara temperatur terhadap densitas biogas pada variasi tekanan

Gambar 4.6 dilakukan analisis nilai densitas biogas menggunakan temperatur yang sama dengan eksperimen pada tekanan 20 MPa dan 25 MPa. Analisis ini bertujuan untuk memprediksi besar peningkatan nilai densitas biogas dengan tekanan yang lebih besar. Pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa nilai densitas biogas akan meningkat seiring dengan peningkatan tekanan biogas pada temperatur yang sama. Berdasarkan analisis tersebut, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan tekanan penyimpanan biogas agar kapasitas penyimpanannya dapat ditingkatkan lagi. Media penyimpanan biogas yang sesuai pada tekanan tersebut adalah dengan menggunakan tabung CNG. Tabung CNG memiliki kemampuan menyimpan biogas pada tekanan yang tinggi seperti dapat dilihat pada lampiran 8. Dengan meningkatkan tekanan biogas nantinya juga akan menyebabkan peningkatkan temperatur biogas yang lebih besar sehingga diperlukan penggunaan *heat exchanger* yang lebih besar atau dengan menggunakan fluida pendingin pada *heat exchanger* dengan temperatur yang lebih rendah untuk mendapatkan nilai laju perpindahan panas yang lebih besar agar peningkatan temperatur yang terjadi akibat penambahan tekanan biogas dapat direduksi sehingga diharapkan biogas akan memiliki temperatur yang rendah.

4.8 Hubungan Antara Sistem Purifikasi Terhadap Kandungan CO_2 Pada Setiap Proses Penabungan Biogas



Gambar 4.7 Hubungan antara sistem purifikasi terhadap kandungan CO_2 pada setiap proses penabungan biogas

Gambar 4.7 menjelaskan bahwa semakin lama waktu purifikasi, maka kemampuan penyerapan karbon dioksida akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada tabung pertama larutan NaOH sudah berikatan dengan karbon dioksida menjadi Na_2CO_3 sehingga kemampuan penyerapannya semakin berkurang. Setelah dilakukan pengujian sebanyak tiga kali diperlukan penggantian larutan NaOH karena lubang dari *bubble generator* sudah tertutup oleh Na_2CO_3 yang menyebabkan tersumbatnya saluran masuk biogas. Efektifitas dari penyerapan karbon dioksida pada sistem purifikasi dapat dilihat pada berikut ini :

1. Pengujian 1

   $$\text{Efektivitas Pemurnian} = \frac{40-1}{40} \times 100\% = 97.5\%$$

2. Pengujian 2

   $$\text{Efektivitas Pemurnian} = \frac{40-2}{40} \times 100\% = 95\%$$

3. Pengujian 3

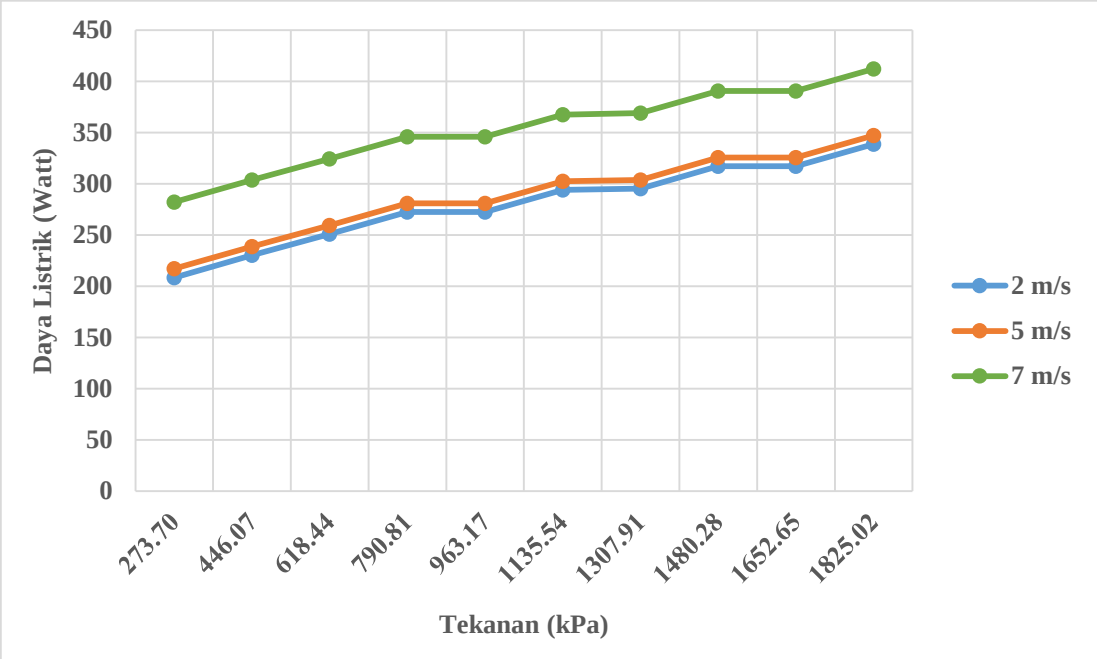
   $$\text{Efektivitas Pemurnian} = \frac{40-3}{40} \times 100\% = 92.5\%$$

Data lain yang mendukung pada penelitian ini yaitu visualisasi dari larutan NaOH yang sudah digunakan sebanyak tiga kali pada proses penabungan biogas. Pada gambar 4.8 dapat dilihat jika sebagian besar larutan NaOH sudah bereaksi dengan karbon dioksida menjadi Na_2CO_3 yang bertekstur padat. Endapan dari Na_2CO_3 ini yang dapat menyumbat lubang dari *bubble generator*, sehingga diperlukan penggantian larutan NaOH setelah digunakan sebanyak tiga kali proses penabungan. Dari gambar tersebut juga terlihat larutan NaOH yang semakin sedikit sehingga kemampuan untuk menyerap karbon dioksida semakin berkurang.

Dari analisis tersebut maka sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar larutan NaOH yang digunakan pada sistem purifikasi dapat selalu diperbarui (regenerasi) agar penyerapan karbon dioksida dapat selalu maksimal dan juga lubang dari *bubble generator* tidak tersumbat oleh endapan Na_2CO_3.

Gambar 4.8 Visualisasi Larutan NaOH setelah bereaksi dengan CO_2

4.9 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Daya Listrik Pada Variasi Kecepatan Fluida Pendingin



Gambar 4.9 Hubungan antara tekanan terhadap daya listrik pada variasi kecepatan fluida pendingin

Gambar 4.9 menjelaskan bahwa daya listrik yang dibutuhkan akan semakin besar seiring dengan kenaikan tekanan biogas karena kerja dari kompresor yang semakin berat. Kemudian dapat dilihat juga bahwa pada setiap variasi kecepatan fluida pendingin juga menyebabkan perbedaan konsumsi daya listrik. Hal tersebut diakibatkan karena kecepatan *fan* dengan putaran yang lebih tinggi akan membutuhkan membutuhkan daya yang lebih besar juga. Konsumsi energi total pada satu kali proses penabungan biogas pada berbagai variasi kecepatan fluida pendingin dihitung menggunakan persamaan (4-9) dan dapat dilihat pada lampiran 9. Energi total disini merupakan besarnya energi yang dibutuhkan pada setiap kali proses penabungan biogas.

$$E = V \times I \times t \tag{4-7}$$

$$E_{total} = E_{kompresor} + E_{fan} \tag{4-8}$$

$$E_{total} = [(V_1 \times I_1 \times t_1) + (V_2 \times I_2 \times t_2) + \cdots + (V_{10} \times I_{10} \times t_{10})] + [V_{fan} \times I_{fan} \times t_{fan}] \tag{4-9}$$

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan *heat exchanger* pada proses penabungan biogas akan berfungsi untuk mendinginkan biogas. Pada tekanan 1825.02 kPa tanpa penggunaan *heat exchanger* temperatur biogas mencapai 55 °C. Sedangkan dengan penggunaan *heat exchanger* diperoleh temperatur yang lebih rendah yaitu pada kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5m/s, dan 7 m/s memiliki temperatur berturut-turut sebesar 29.6 °C, 28.0 °C, 27.03 °C.
2. Semakin tinggi kecepatan dari fluida pendingin menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* semakin besar. Pada tekanan 1825.02 kPa dengan kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s menghasilkan laju perpindahan panas berturut-turut 4.14 Watt, 4.40 Watt, 4.56 Watt.
3. Massa penyimpanan dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan temperaturnya sehingga nilai densitasnya akan semakin besar. Pada tabung penyimpanan biogas dengan volume sebesar 8 liter pada tekanan 1825.02 kPa, tanpa penggunaan *heat exchanger* didapatkan massa penyimpanan sebesar 91.08 gram. Sedangkan dengan menggunakan *heat exchanger* pada kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5m/s, 7 m/s menghasilkan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 99.66 gram, 100.25 gram, dan 100.61 gram.
4. Kemampuan dari sistem purifikasi dalam penyerapan CO_2 akan berkurang pada setiap kali proses penabungan biogas. Pada pengujian 1 sistem purifikasi mampu menyerap kandungan CO_2 sebanyak 39 %, pengujian 2 sebanyak 38 %, dan pengujian 3 sebanyak 37 %.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian kali ini, didapatkan saran-saran yang nantinya dapat diterapkan untuk diteliti lebih mendalam pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan biogas asli agar nantinya dapat diteliti juga kemampuan sistem purifikasi dalam penyerapan H_2S.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan inovasi pada tabung purifikasi NaOH agar larutan NaOH dapat selalu diperbarui (regenerasi) supaya kemampuan penyerapannya tidak berkurang dan juga agar lubang *bubble generator* tidak tersumbat oleh endapan Na_2CO_3.
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan tabung penyimpanan dengan kekuatan yang lebih besar agar penyimpanan biogas dapat dilakukan pada tekanan yang lebih tinggi.
4. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya sebaiknya diteliti tentang penggunaan fluida pendingin pada *heat exchanger* dengan temperatur yang lebih rendah.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Apriyanti, Eny. 2012. Adsorpsi CO_2 Menggunakan Zeolit : Aplikasi Pada Pemurnian Biogas. *Jurnal Dinamika Sains Universitas Padjadjaran*. X (22) : 1-11.

Arismunandar, Wiranto. & Saito, Heizo. 1986. *Penyegaran Udara*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Cangel, Yunus A. 2006 . *Heat and Mass Transfer*. Singapore : Mc Graw Hill.

Darmawan, Saptadi. 2008. Sifat Arang Aktif Tempurung Kemiri Dan Pemanfaatannya Sebagai Penyerap Emisi Formaldehida Papan Serat Berkerapatan Sedang. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

Fadli, Dian., Irsyad, Muhammad. & Susila, M. Dyan. 2013. Kaji Eksperimental Sistem Penyimpanan Biogas Dengan Metode Pengkompresian dan Pendinginan pada Tabung Gas Sebagai Bahan Bakar Pengganti Gas LPG. *Jurnal FEMA*. I (4) : 42-48.

Hamidi, Nurkholis., Wardana, ING. & Widhiyanuriyawan, Denny. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. II (3) : 227-231.

Haryati, Tuti. 2006. Biogas Limbah Perternakan Yang Menjadi Sumber Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Peternakan*. XVI (3) : 160-169.

Hotma, Lambert. 2015. Pengaruh Jumlah Lubang *Bubble Generator* dan Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CH_4 dan CO_2 pada Purifikasi Bertingkat Sistem Kontinyu. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

Incropera, Frank P., Bergman, Theodore L., Lavine, Adrienne. & Dewitt, David P. 2011. *Introduction to Heat Transfer*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.

Kundari, Noor Anis. & Wiyuniati, Slamet. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*. IV : 489-496.

Kurniawan, Zulkifli., Wardana, ING. & Widhiyanuriyawan, Denny. 2014. Pengaruh Temperatur Larutan Triethylamine (Tea), Air dan $Ca(OH)_2$ terhadap Pelepasan CO_2 pada Proses Pemurnian Biogas. *Jurnal Rekayasa Mesin*. V (1) : 17-25.

Sriyanto, Nurvega. 2009. Rekayasa Mesin Kompresi Biogas. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.

Stoecker. & Jones. 1992. *Refrigeration And Air Conditioning*, Jilid 2. Cetakan I. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta : Erlangga.

Sudjito., Baedoewie, Saifuddin. & Sugeng, Agung. 2003. *Diktat Termodinamika Dasar*. Malang : Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.

Sugiarto,. Tjuk, Oerbandono., Widhiyanuriyawan, Denny. & Putra, Faruq. 2013. Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit. *Jurnal Rekayasa Mesin*. IV (1) : 1-10.

Sularso. & Tahara, Haruo. 2000. *Pompa dan Kompresor pemilihan, pemakaian dan pemeliharaan*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Sutarti, Mursi., Rahmawati, Minta. 1994. Zeolit. *Tinjauan Literatur Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI*. Jakarta.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

U.S. Energy Information Administration. 2013. *World Energy Consumption*. Wasington, DC : U.S. Department of Energy.Kundari, Noor Anis. & Wiyuniati, Slamet. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*. IV : 489-496.

Widhiyanuriyawan, Denny., Hamidi, Nurkholis. & Hotma, Lambert. 2015. Pengaruh Jumlah Lubang *Bubble Generator* dan Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CH_4 dan CO_2 pada Purifikasi Bertingkat Sistem Kontinyu. *Jurnal Rekayasa Mesin*. V (3) : 33-39.

Widhiyanuriyawan, Denny., Hamidi, Nurkholis. & Trimandoko, Candra. 2014. Purifikasi Biogas dengan Variasi Ukuran dan Massa Zeolit terhadap Kandungan CH4 dan CO2. Jurnal Rekayasa Mesin. V (3) : 27-32.

World Meteorological Organization. 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva : World Meteorological Organization.

Zemansky. & Sears. 1991. *Fisika Untuk Universitas*. Jakarta : Bina Cipta.

Lampiran 1 Data temperatur kecepatan fluida pendingin 2 m/s

1. Pengujian 1

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	29.1
2	50	43	28.8
3	75	46	28.9
4	100	47	28.9
5	125	47	29
6	150	48	29
7	175	49	29.2
8	200	50	29.2
9	225	52	29.4
10	250	55	29.9

2. Pengujian 2

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	28.1
2	50	43	28.3
3	75	46	28.3
4	100	47	28.4
5	125	47	28.5
6	150	48	28.6
7	175	49	29
8	200	50	28.7
9	225	52	29
10	250	55	29.1

3. Pengujian 3

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	28.6
2	50	43	28.6
3	75	46	28.7
4	100	47	28.7
5	125	47	29.2
6	150	48	29.4
7	175	49	29.5
8	200	50	29.6
9	225	52	29.3
10	250	55	29.8

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2 Data temperatur kecepatan fluida pendingin 5 m/s

1. Pengujian 1

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	27.4
2	50	43	27.5
3	75	46	27.5
4	100	47	27.5
5	125	47	27.6
6	150	48	27.7
7	175	49	27.8
8	200	50	27.9
9	225	52	27.9
10	250	55	28.1

2. Pengujian 2

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	27.4
2	50	43	27.5
3	75	46	27.6
4	100	47	27.5
5	125	47	27.6
6	150	48	27.7
7	175	49	27.9
8	200	50	27.5
9	225	52	27.8
10	250	55	27.6

3. Pengujian 3

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	27.3
2	50	43	27.4
3	75	46	27.6
4	100	47	27.6
5	125	47	27.9
6	150	48	27.7
7	175	49	27.8
8	200	50	27.8
9	225	52	27.8
10	250	55	28.3

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 3 Data temperatur kecepatan fluida pendingin 7 m/s

1. Pengujian 1

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	26.5
2	50	43	26.5
3	75	46	26.7
4	100	47	26.8
5	125	47	27
6	150	48	26.9
7	175	49	26.9
8	200	50	27
9	225	52	26.9
10	250	55	27

2. Pengujian 2

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	27.1
2	50	43	27.2
3	75	46	27
4	100	47	26.9
5	125	47	27
6	150	48	27.1
7	175	49	26.9
8	200	50	27.1
9	225	52	27.2
10	250	55	27.1

3. Pengujian 3

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)
1	25	34	26.8
2	50	43	26.9
3	75	46	26.8
4	100	47	26.9
5	125	47	27.1
6	150	48	27
7	175	49	26.9
8	200	50	27
9	225	52	27.1
10	250	55	27

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 4 Data temperatur rata-rata kecepatan fluida pendingin 2, 5, dan 7 m/s

1. Kecepatan fluida pendingin 2 m/s

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	Waktu (Detik)
1	25	34	28.60	121
2	50	43	28.57	248
3	75	46	28.63	381
4	100	47	28.67	512
5	125	47	28.90	646
6	150	48	29.00	777
7	175	49	29.23	915
8	200	50	29.17	1053
9	225	52	29.23	1188
10	250	55	29.60	1326

2. Kecepatan fluida pendingin 5 m/s

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	Waktu (Detik)
1	25	34	27.37	123
2	50	43	27.47	255
3	75	46	27.57	391
4	100	47	27.53	525
5	125	47	27.70	657
6	150	48	27.70	795
7	175	49	27.83	936
8	200	50	27.73	1077
9	225	52	27.83	1218
10	250	55	28.00	1356

3. Kecepatan fluida pendingin 7 m/s

No	Tekanan (Psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	Waktu (Detik)
1	25	34	26.80	131
2	50	43	26.87	267
3	75	46	26.83	402
4	100	47	26.87	539
5	125	47	27.03	673
6	150	48	27.00	806
7	175	49	26.90	948
8	200	50	27.03	1087
9	225	52	27.07	1226
10	250	55	27.03	1368

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 5 Data Konsumsi Energi Listrik

1. Kecepatan fluida pendingin 2 m/s

No	Tekanan (Psi)	Daya (Watt)
1	25	208.5
2	50	230.2
3	75	250.8
4	100	272.4
5	125	272.4
6	150	294
7	175	295.3
8	200	317
9	225	317
10	250	338.7

2. Kecepatan fluida pendingin 5 m/s

No	Tekanan (Psi)	Daya (Watt)
1	25	217
2	50	238.7
3	75	259.3
4	100	280.9
5	125	280.9
6	150	302.5
7	175	303.8
8	200	325.5
9	225	325.5
10	250	347.2

3. Kecepatan fluida pendingin 7 m/s

No	Tekanan (Psi)	Daya (Watt)
1	25	282.1
2	50	303.8
3	75	324.4
4	100	346
5	125	346
6	150	367.6
7	175	368.9
8	200	390.6
9	225	390.6
10	250	412.3

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 6 Data kandungan CO_2

Pengujian	Tabung NaOH (% CO_2)	Tabung Zeolit I (% CO_2)	Tabung Zeolit II (% CO_2)	Tabung Arang (% CO_2)
1	3	2	2	1
2	4	3	2	2
3	5	4	3	3

Lampiran 7 Data laju perpindahan panas pada *heat exchanger*

No	Tekanan (kPa)	2 m/s (Watt)	5 m/s (Watt)	7 m/s (Watt)
1	273.70	0.88	1.08	1.17
2	446.07	2.35	2.53	2.63
3	618.44	2.83	3.01	3.13
4	790.81	2.99	3.18	3.28
5	963.17	2.95	3.15	3.26
6	1135.54	3.10	3.31	3.43
7	1307.91	3.22	3.45	3.61
8	1480.28	3.40	3.63	3.75
9	1652.65	3.71	3.94	4.07
10	1825.02	4.14	4.40	4.56

Lampiran 8 Spesifikasi tabung CNG Tipe 2

Diameter / Capacity (mm/ L)	Pressure (Bar)	Length (mm)	Weight (kg)	Gas Volume (m3)
325/ 50L	200	830	42	10
406/ 190L	250	1800	188	47.5

Lampiran 9 Konsumsi energi total pada variasi kecepatan fluida pendingin

No	Kecepatan Fluida Pendingin (m/s)	Konsumsi Energi Total (Joule)	kWh
1	2	372553.3	0.1035
2	5	392469	0.109
3	7	484239.9	0.1345

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA