



TESIS TF 092325

**PERANCANGAN FILTER PURIFIKASI BIOGAS
(CO₂, H₂S) DENGAN MENGGUNAKAN ABSORBSI
(CaO, NaOH) DAN WATER SCRUBBER**

MUFIDATUL ISLAMIYAH
2412201014

DOSEN PEMBIMBING :
Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA.
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



THESIS TF092325

**BIOGAS PURIFICATION (CO_2 , H_2S) FILTER
DESIGN USING ABSORPTION (NaOH , CaO)
AND *WATER SCRUBBER***

MUFIDATUL ISLAMIYAH
2412201014

SUPERVISOR :
Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA.
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

MAGISTER PROGRAM
SPECIALIZATION INDUSTRIAL INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2014

LEMBAR PENGESAHAN

**Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
Mufidatul Islamiyah
Nrp. 2412201014**

Tanggal Ujian : 14 Juli 2014

Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

NIP: 19650309 199002 1 001

2. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIP: 19761223 2005011 001

3. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., PhD.

NIP: 19780902 2003121 002

4. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc.

NIP: 19620822 1988031 001

5. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

NIP: 19771127 2002121 002

(Pembimbing I)

(Pembimbing II)

(Penguji)

(Penguji)

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

19640405 199002 1 001

PERANCANGAN FILTER PURIFIKASI BIOGAS (CO₂, H₂S) DENGAN MENGGUNAKAN ABSORBSI (CaO, NaOH) DAN WATER SCRUBBER

Nama Mahasiswa : Mufidatul Islamiyah
NRP : 2412201014
Pembimbing : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.
Co-Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kandungan metana pada biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, tetapi selain metana terdapat kandungan lain dalam biogas yang mengandung *impurity* seperti CO₂ dan H₂S. Kehadiran gas tersebut dapat menurunkan kualitas biogas serta dapat menyebabkan korosi pada peralatan, oleh sebab itu perlu dilakukan pemurnian pada biogas agar kualitas biogas semakin tinggi dan korosi pada peralatan semakin kecil. Pemurnian kadar gas CO₂ dan H₂S ini perlu dilakukan menggunakan dua metode yaitu pemurnian secara fisik dengan menggunakan *water scrubber* dan pemurnian menggunakan bahan kimia seperti CaO dan NaOH. Berdasarkan kedua metode tersebut didapatkan bahwa pemurnian menggunakan *water scrubber* dapat menurunkan kadar CO₂ sebesar 22,7% dan H₂S sebesar 7,3 %, sedangkan dengan menggunakan absorben CaO dapat menurunkan kadar CO₂ sebesar 0,1 % dan H₂S 21,2 %. Jika untuk absorben NaOH dapat menurunkan kadar CO₂ sebesar 24% dan untuk H₂S 77%, sehingga dapat disimpulkan bahwa absorben paling baik dalam pemurnian biogas adalah NaOH tetapi bahan ini juga memiliki kekurangan yaitu mudah mengalami regenerasi dibandingkan CaO dan air.

Kata kunci : kandungan biogas, pemurnian, *water scrubber*, NaOH, CaO.

BIOGAS PURIFICATION (CO_2 , H_2S) FILTER DESIGN USING ABSORPTION (NaOH , CaO) AND *WATER SCRUBBER*

Student : Mufidatul Islamiyah
Student Identity Number : 2412201014
Supervisor : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.
Co-Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

ABSTRACT

Methane content in the biogas can be used as an environmentally friendly fuel, but there are other ingredients in addition to methane in biogas, including impurity such as CO_2 and H_2S . The presence of these gases can degrade the quality of biogas and causing corrosion to the equipment, therefore the biogas needs to be purified so that its quality rise and corrosive properties decreased. Biogas purification from CO_2 and H_2S gas performed using two methods: physical purification using water scrubber and purification using chemicals such as CaO and NaOH . Both methods showed that the purification using water scrubber can reduce CO_2 level by 22,7% and H_2S level by 7,3%, while using CaO absorbent can reduce CO_2 level by 0.1% and H_2S level by 21,2%, when NaOH absorbent can reduce CO_2 levels up to 24% and H_2S level up to 77%, so it can be concluded that the best absorbent for biogas purification is NaOH . But this material also have drawback; it's easier to regenerate compared with CaO and water.

Keywords: *content of biogas, purification, water scrubber, NaOH , CaO .*

KATA PENGANTAR

Bismilahirrohmanirrohim

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Alloh SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah nya hingga terselesainya karya tulis sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Proqram Pasca sarjana, bidang studi teknik fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada baginda Rosulullah SAW yang membawa kita dari jalan gelap gulita menuju jalan yang terang benerang yaitu ajaran agama islam. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semuanya yang telah memberikan dorongan dan semangat kepada penulis diantaranya:

1. Bapak, Ibu, Nenek, serta mimi dia, salma, Ail, dan adik ku yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun sepiritual, dengan kasih sayang yang tulus dan tak henti – hentinya mendoakan, memberikan pengertian dan bimbingan kepada ananda.
2. Bapak Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA. Selaku dosen pembimbing 1 dan Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS atas kesabaran, pengertian dan perhatian sehingga tesis ini bisa terselesaikan.
3. Bapak Dr.Ridho Hantoro, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing 2, yang memberikan kesempatan, arahan, bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak agus Muhammad hatta , S.T, M.Si, PhD. Selaku tim penguji yang memberikan bimbingan dalam penulisan dengan telatennya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
5. Bapak Dr.Ir.Purwadi Agus Darwinto, MSc. Selaku penguji yang selalu memberikan srah dan arahan sehingga tesis ini bisa terselesaikan.
6. Bapak Dr. Ir. Sri Mulato, M.S. selaku dosen energi, terimakasih atas saran, arahan serta solusi yang berarti bagi penulis sehingga tesis ini bisa terselesaikan.
7. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Jurusan Teknik Fisika ITS yang telah banyak memberikan kesempatan kepada saya untuk selalu berkarya dalam pengembangan IPTEK.
8. Bapak Hariyanto, selaku Ketua Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia

Kawan, Nongkojajar, Pasuruan, Jawa Timur yang bersedia memberikan akses untuk aplikasi hasil Tesis ini di *plant* biogas, serta banyak memberikan saran-saran demi kesempurnaan hasil penelitian ini.

9. Ibu yina dan keluarga yang memberikan kesempatan dalam penggunaan reaktor biogas dalam penelitian ini.
10. Mas lutfi dan semua staff LPPM lingkungan yang memberikan kesempatan atas peminjaman alat pendeteksi gas dalam pelaksanaan penelitian ini dengan baik.
11. Kepada temen – temen semua Pasca Sarjana angkatan 2012 (Mas Catur, Amik, Niken, Mei, Revina, Danis, Ridho, Yoga, Rohman, Pak Sumber, MbK Natalia, MbK Rina, Ali Dan Semua Temen Temen Gorongtalu) yang selalu memberikan dukungan motivasi dan temen seperjuangan dalam menyelesaikan tesis ini.
12. Kepada temen – temen kos MT 79 (mbk rahma, tiara, nadia amira, dwi, nadia yeremia, tika, surti, nisa, cicik, riesa, dan semua penghuni MT 79 yang selalu memberikan dukungan, motivasi serta doa sehingga terselesaikan tesis ini.
13. Semua orang yang telah membantu terselesaikannya Tesis ini yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu terimakasih atas doa serta dukungannya sehingga bisa terselesaikan tesis ini dengan baik.

Semoga Allah SWT berkenan memberikan balasan yang berlimpah ganda atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dan semoga karya ilmiah yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Amin ya Robbal'alamin.

Surabaya, 16 Agustus 2014

Penulis

Mufidatul Islamiyah

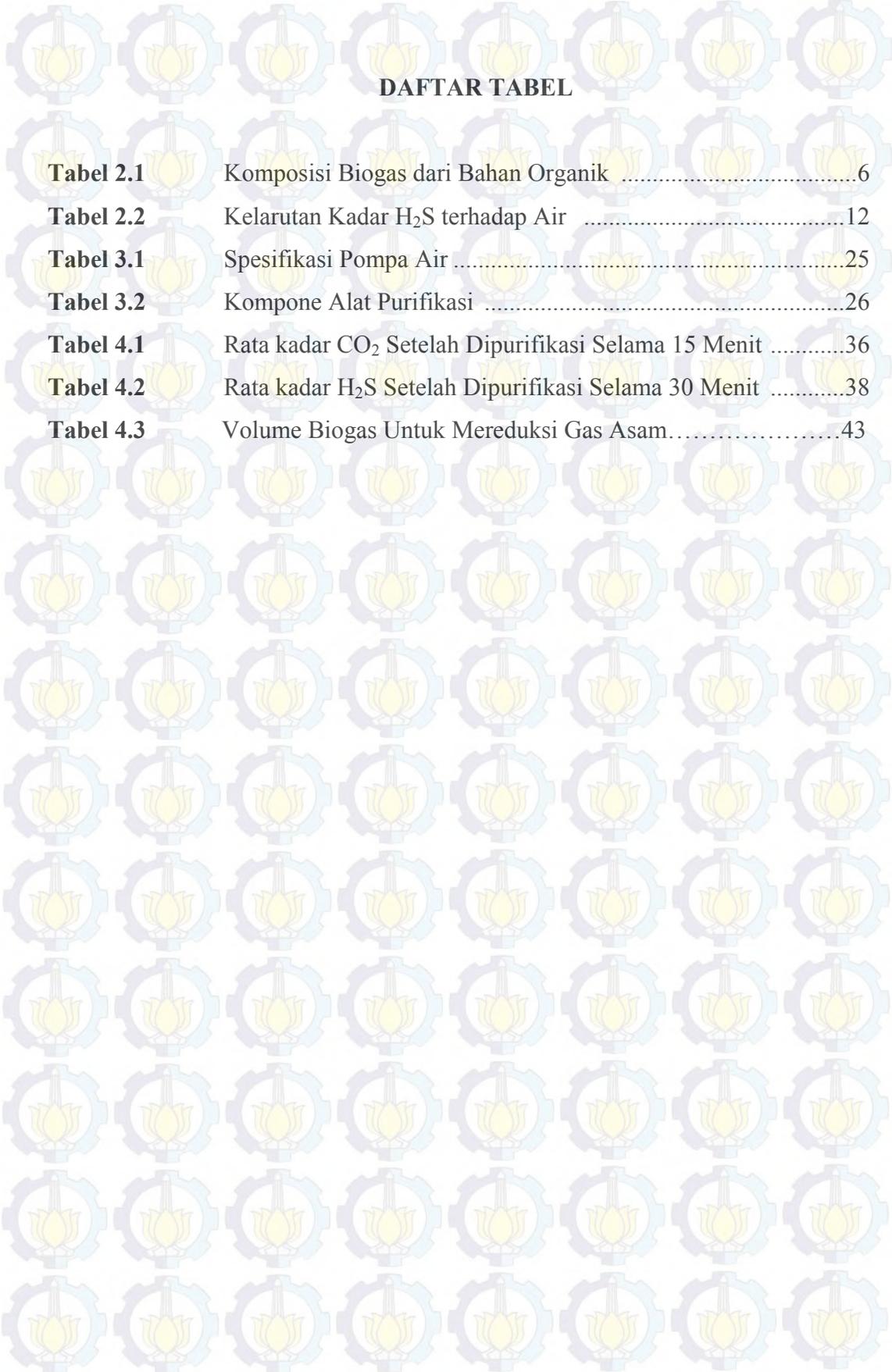
DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas	5
2.2 Komposisi Biogas	6
2.3 Metana (CH ₄)	7
2.4 Karbon Dioksida (CO ₂)	8
2.5 Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	8
2.6 Purifikasi	10
2.7 Absorben	11
2.7.1 <i>Physical Absorption</i>	11
2.7.2 <i>Chemical Absorption</i>	13
2.8 <i>Water Scrubber</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Study Literatur	22
3.2 Modifikasi Filter Purifikasi	23
3.3 pengukuran kadar CO ₂ dan H ₂ S sebelum dipurifikasi	27
3.4 pengukuran kadar CO ₂ dan H ₂ S setelah dipurifikasi	28
3.4.1 <i>water scrubber</i>	27

3.4.2 Material Absorben (CaO dan NaOH)	27
3.5 Pengukuran Suhu Pembakaran Biogas	29
3.6 Analisis	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Kadar CO ₂ Sebelum Di Purifikasi	31
4.2 Kadar H ₂ S Sebelum Di Purifikasi	32
4.3 Pengaruh CaO, NaOH dan <i>water scrubber</i> terhadap purifikasi gas CO ₂	34
4.4 Pengaruh CaO, NaOH dan <i>water scrubber</i> terhadap purifikasi gas H ₂ S	38
BAB V KESIMPULAN	45
5.1 Kesimpulan	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	49
Lampiran 1	51
Lampiran 2	53
Lampiran 3	55
Lampiran 4	57
Lampiran 5	59
Lampiran 6	61
Lampiran 7	63
Lampiran 8	65
Lampiran 9	67
Lampiran 10	69
Lampiran 11	71
Lampiran 12	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tahapan reaksi Pembentukan Biogas	5
Gambar 2.2	Proses absorpsi fisik	12
Gambar 2.3	Grafik kelarutan air terhadap gas CH ₄ , CO ₂ dan H ₂ S.....	13
Gambar 2.4	Proses absorpsi kimia	14
Gambar 2.5	(a) Gafik konsentrasi CO ₂ terhadap konsentrasi NaOH dan (b). kosentatrasi CO ₂ terhadap waktu	15
Gambar 2.6	Grafik Kadar H ₂ S terhadap Laju Aliran Biogas	15
Gambar 2.7	Hasil Pengukuran Kadar H ₂ S dengan Massa Absorben 1,5 kg .18	
Gambar 2.8	Hasil Pengukuran Kadar H ₂ S dengan Massa Absorben 0,5 kg .19	
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2	perbandingan desain filter purifikasi dengan penelitian sebelumnya dan komponenanya	23
Gambar 3.3	pompa air dan meteran air.....	25
Gambar 3.4	Alat Purifikasi Biogas	26
Gambar 3.5	Proses Pengukuran Sebelum Dipurifikasi	27
Gambar 3.6	(a) Alat pendeteksi gas H ₂ S (b) alat pendeteksi gas CO ₂	27
Gambar 3.7	Proses Pengukuran Saat Dipurifikasi.....	28
Gambar 3.8	Bahan Absorben CaO dan NaOH	29
Gambar 4.1	Kadar CO ₂ sebelum dipurifikasi.....	31
Gambar 4.2	Kadar H ₂ S sebelum dipurifikasi.....	33
Gambar 4.3	Perbandingan kadar CO ₂ sebelum dan sesudah di purifikas.....	34
Gambar4.4	Suhu pembakaran sebelum di purifikasi dan sesudah dipurifikasi.....	37
Gambar 4.5	Perbandingan kadar H ₂ S sebelum dan sesudah di purifikasi...39	
Gambar4.6	NaOH sebelum dan sesudah dipurifikasi.....	41
Gambar4.7	air sebelum dan sesudah dipurifikasi.....	42
Gambar4.8	CaO sebelum dan sesudah dipurifikasi.....	43



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Biogas dari Bahan Organik	6
Tabel 2.2	Kelarutan Kadar H ₂ S terhadap Air	12
Tabel 3.1	Spesifikasi Pompa Air	25
Tabel 3.2	Komponen Alat Purifikasi	26
Tabel 4.1	Rata kadar CO ₂ Setelah Dipurifikasi Selama 15 Menit	36
Tabel 4.2	Rata kadar H ₂ S Setelah Dipurifikasi Selama 30 Menit	38
Tabel 4.3	Volume Biogas Untuk Mereduksi Gas Asam.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Biogas merupakan jenis bahan bakar yang diproses melalui *anaerob digester* dengan bantuan mikroorganisme di dalam reaktor (Rostika, 2011). Pada proses anaerobik ini dihasilkan biogas dengan kadar terbesar adalah CH_4 (metana) dan CO_2 (karbon dioksida). Namun pada proses ini juga dihasilkan senyawa kontamina yang tidak diinginkan seperti H_2S (hidrogen sulfida) (Hernandez *et al* , 2011). Sementara itu, Salah satu sumber biogas yang banyak digunakan adalah kotoran sapi, dimana kandungan H_2S tidak begitu tinggi sekitar 1% dalam biogas (Bagudo *et al*, 2011).

Komposisi biogas dari kotoran sapi terdiri atas CH_4 (55 – 65 %), CO_2 (35 – 45 %) dan kurang dari 1% mengandung nitrogen (Rasi, 2009). Kehadiran CO_2 dan H_2S merupakan polutan yang dapat menurunkan kualitas dari biogas, karena keberadaan H_2S ini dapat menyebabkan korosi (Truong L.V.A *et al*, 2005). Selain H_2S , kehadiran CO_2 juga dapat mengurangi kandungan energi dan nilai kalor dari biogas, serta dapat menyebabkan korosi (Ning Ping *et al*, 2012). Agar kualitas biogas yang dihasilkan lebih produktif maka gas yang mengandung polutan harus dihilangkan (Truong L.V.A *et al*, 2005). Untuk menghilangkan kadar gas H_2S maupun CO_2 dan meningkatkan kualitas dari biogas, maka dilakukan proses purifikasi (Krischan J *et al*, 2012).

Purifikasi merupakan proses pengabungan dua metode yaitu secara fisik dan kimia yang di letakkan di sebuah kolom bertekanan yang disebut *water scrubber* ((Mulatosri, 2013). Beberapa metode telah diterapkan dalam menghilangkan gas polutan yaitu dengan proses *chemical adsorption*, *physical adsorption* (kuo-ling. H *et al*, 2013). *Physical adsorption* merupakan proses penyerapan secara fisik sedangkan *Chemical adsorption* merupakan proses penyerapan secara kimia yang digunakan untuk purifikasi dalam biogas. *Chemical adsorption* CO_2 dan H_2S dengan menggunakan larutan NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dikemas dalam kolom

eksperimental telah diusulkan oleh Tippayawong *et al*, 2010. Pada metode ini diperoleh reaksi efektif terhadap CO₂ dan dapat mengurangi H₂S.

Purifikasi menggunakan absorben CaO dan CaCl₂ dengan menggunakan metode *water scrubber* untuk mereduksi gas CO₂ dan H₂S telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya Abdurrakhman Arief, 2013. Komponen dari kolom purifikasi ini dilengkapi dengan *tray trap* yang secara berurutan sebagai tempat absorben CaO dan CaCl₂ yang disusun secara betingkat. Selain *tray trap* kolom purifikasi ini juga dilengkapi dengan nozzle yang berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air pada *water scrubber*. Pada penelitian tersebut bervariasi massa absorben CaO dan CaCl₂ sebesar 1,5 kg dan 0,5 kg. Hasil dalam reduksi gas H₂S dengan menggunakan massa 1,5 kg diperoleh sebesar 57,87%, sedangkan dengan menggunakan massa 0,5 kg penurunan kadar H₂S sebesar 74,59% dan kadar penurunan kadar CO₂ sebesar 21%. Tetapi dalam percobaan tersebut lama kemampuan dari absorben CaO dan CaCl₂ dalam mereduksi gas H₂S maupun CO₂ tidak diketahui, serta waktu regenerasi dari kedua absorben ini belum ditentukan. Selain itu *water scrubber* yang dibuat belum dilengkapi dengan alat ukur aliran air yang masuk ke kolom purifikasi (Abdurrakhman Arief, 2013). Alat ukur ini penting untuk menentukan volume air yang diperlukan untuk mereduksi H₂S dan CO₂.

Pada penelitian ini digunakan kolom purifikasi yang sama dengan metode *water scrubber* sebelumnya (Abdurrakhman Arief, 2013), tetapi digunakan *tray trap* yang lebih sederhana yang berjumlah satu buah. Pada *tray trap* ini digunakan satu absorben saja yaitu CaO atau NaOH. Hal ini dimaksudkan untuk membuat filter yang lebih praktis dan sederhana.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

1. Berapa besar pengaruh absorben NaOH, CaO dan *water scurrber*, terhadap purifikasi kandungan gas CO₂ dan H₂S.
2. Berapa lama reduksi kadar CO₂ dan H₂S dengan menggunakan absorben CaO, NaOH serta *water scrubber*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

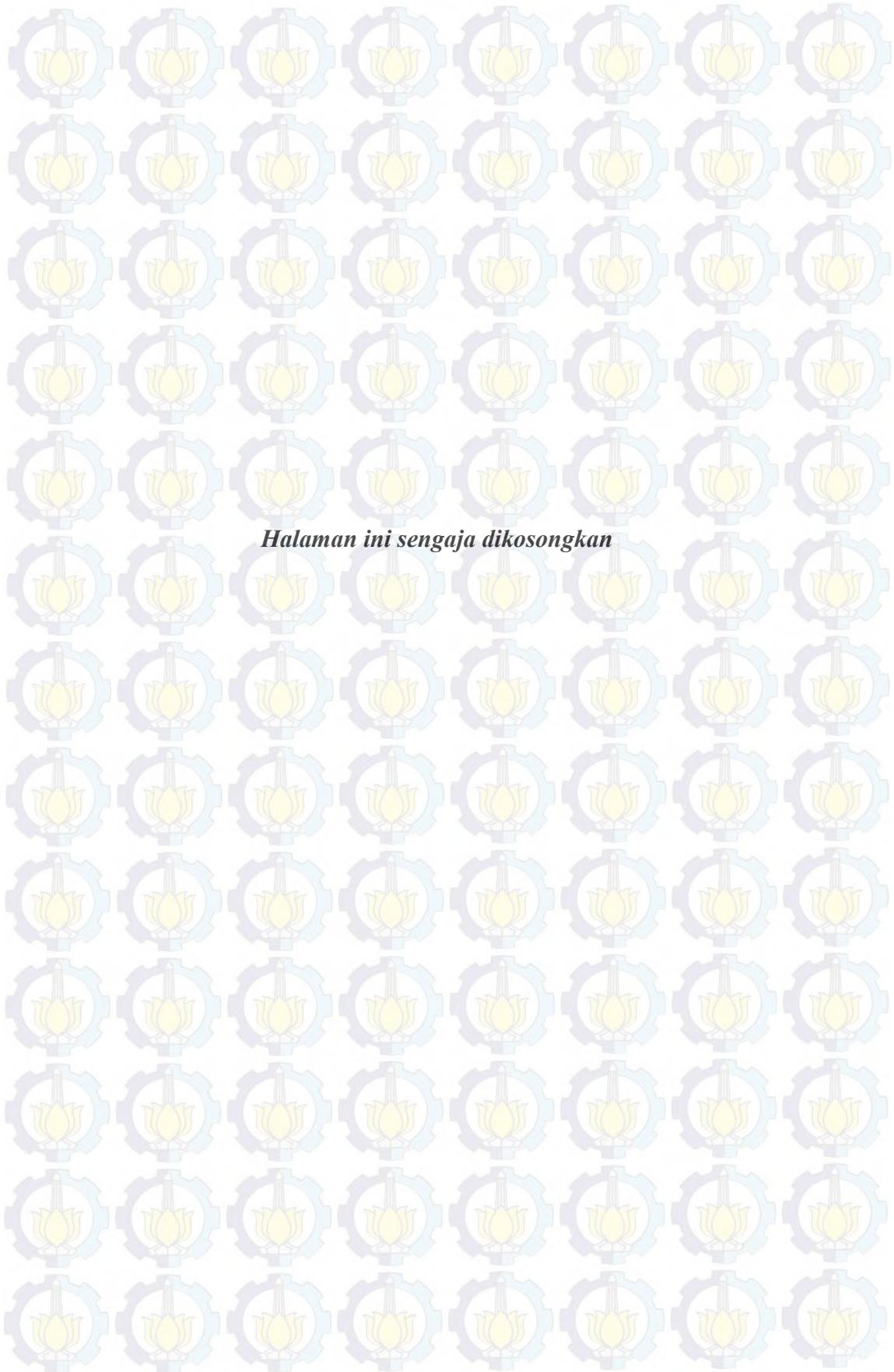
1. Untuk mengetahui pengaruh CaO, NaOH dan *water scrubber* terhadap reduksi kadar CO₂ dan H₂S pada biogas.
2. Untuk mengetahui waktu regenerasi absorben CaO, NaOH dan air (H₂O) dalam mereduksi kadar CO₂ dan H₂S pada biogas.

1.4 BATASAN MASALAH

1. Penelitian dilakukan untuk purifikasi gas CO₂ dan H₂S yang merupakan pengotor dalam biogas.
2. Pemurnian biogas ini menggunakan metode *water scrubber* prinsipnya adalah sebagian biogas mentah bergerak naik ke kolom melawan arah arus air CO₂ dan H₂S menjadi terlarut dalam aliran cairan. Gas CO₂ dan H₂S yang terlarut dalam air kemudian dikembalikan ke bawah kolom.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Hasil perancangan filter purifikasi diharapkan dapat di manfaatkan sebagai alat pemurnian yang dapat mengurangi kadar biogas yang terkontamina sehingga biogas yang dihasilkan rama lingkungan dan baik bagi kesehatan.



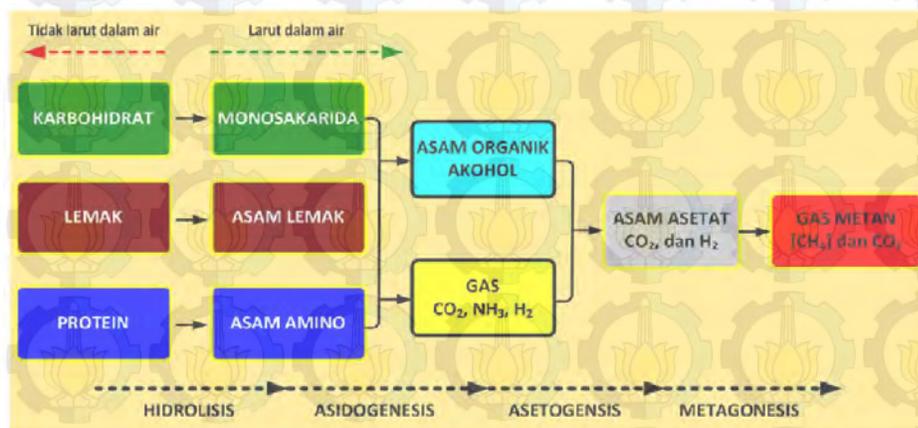
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses degradasi material organik tanpa melibatkan oksigen atau disebut dengan *anaerobic digestion* (Rostika, 2011), contoh material organik yang digunakan sebagai sumber biogas adalah sampah organik, sisa makanan, limbah industri dan kotoran hewan (Widyastuti dkk, 2013). Material organik yang terkumpul pada reaktor akan terurai menjadi empat tahapan yaitu proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis, gambar 2.1 merupakan proses pembentukan biogas (Mulato Sri, 2013).



Gambar 2.1. Tahapan reaksi pembentukan biogas

Tahap pertama dalam proses pembentukan biogas adalah hidrolisis, selama tahap ini makromolekul organik seperti protein, karbohidrat dan lemak dipecah menjadi asam amino, gula dan asam lemak. Pada tahap kedua proses bakteri *Acidogenic* mengkonversi asam amino, gula dan asam lemak menjadi asam organik, alkohol, CO₂ dan H₂. Kemudian tahap ketiga yaitu bakteri *Acetogenic* mengubah asam lemak dan alkohol menjadi asetat, CO₂ dan H₂, dimana produk ini diuraikan oleh bakteri *Metanogen* membentuk metana, karbondioksida dan kandungan lain (Ingrid *et al*, 2009).

2.2 Komposisi Biogas

Kandungan biogas sebagian besar adalah metana (CH_4) lebih dari 50% dan sisanya berupa gas CO_2 dan H_2S (Rostika, 2011), tetapi kandungan metana yang berada pada biogas berbeda untuk tiap kotoran hewan maupun tumbuhan seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Komposisi biogas dari bahan organik

Substrate	Biogas (Cm^3)	CH_4 (cm^3)	CH_4 (%)	CO_2 (cm^3)	CO_2 (%)	H_2S (cm^3)	H_2S (%)
Kotoran sapi	8545	5639.85	66	2830.5	33	74.65	1
sekam padi	1386	900.5	64.97	462.12	33	22.4	2
serbuk gergaji	974	670	68.79	288.83	29.65	14.93	1.53
limbah kertas	476	345.54	72.59	115.53	24.27	14.93	3.14

Berdasarkan tabel 2.1 secara kuantitatif kotoran sapi memiliki volume terbesar untuk produksi biogas dibandingkan dengan substrat yang lain. Volume kotoran sapi adalah 8545 cm^3 , kemudian diikuti dengan sekam padi yang memberikan 1386 cm^3 dan terbaik berikutnya untuk kualitas biogas adalah serbuk gergaji, sedangkan potensi paling sedikit ditemukan pada limbah kertas yaitu 476 cm^3 (Bagudo *et al*, 2011). Analisis komposisi berdasarkan pada tabel 2.1 menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan untuk semua substrat berkualitas tinggi. Presentase metana (CH_4) diambil sebagai ukuran kualitas biogas dan dalam arti bahwa biogas yang dihasilkan oleh setiap substrat seperti limbah kertas sebesar 72,59%, serbuk gergaji 68,79% sedangkan untuk sekam padi 64,97% dan paling terendah kandungan metana adalah kotoran sapi yaitu 66%. Karbondioksida (CO_2) dari semua substrat pada umumnya sangat rendah mulai dari limbah kertas dengan 24,27%, yang terendah kedua diikuti serabut gergaji dengan 29,65%, sedangkan untuk sekam padi dan kotoran sapi prosentasi karbon dioksida sebesar 33% dan ini merupakan kandungan tertinggi di bandingkan dengan limbah kertas dan serabut gergaji. Kualitas

biogas ditentukan dengan kandungan karbondioksida (CO_2) semakin tinggi presentase CO_2 maka semakin rendah kualitas biogas yang dihasilkan, karena kehadiran CO_2 dalam biogas hanya menghambat pembakaran (Bagudo *et al*, 2011).

Kehadiran H_2S (hidrogen sulfida) juga menunjukkan kualitas dari biogas, semakin besar H_2S dalam biogas akan menurunkan kualitas bioagas. Berdasarkan tabel 2.1 menunjukkan bahwa kadar H_2S yang terkandung pada substrat adalah 1 - 3,14 %, kandungan H_2S terbesar berasal dari limbah kertas yaitu 3,14% hal ini disebabkan karena adanya aditif selama proses pembuatan pulp, dan kandungan H_2S terendah adalah kotoran sapi yaitu 1 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kotoran sapi merupakan substrat yang paling cocok untuk produksi biogas karena kandungan H_2S nya tidak begitu tinggi (Bagudo *et al*, 2011). Selain kandungan H_2S tidak begitu besar kotoran sapi ini juga baik di gunakan sebagai sumber biogas untuk mengurangi 50 – 90% polutan, bau serta bibit penyakit yang terkandung dalam kotoran ternak tersebut (Richard J *et al*, 2011).

2.3 Metana (CH_4)

Metana adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan konsentrasi gas metana paling besar kandungannya pada gas alam. Metana lebih ringan dari pada udara, sehingga akan mengalir dengan mudah kepermukaan, metana juga mudah terbakar (Kentucky, 2011). Konsentrasi CH_4 pada biogas tergantung pada sumbernya misal sumber biogas dari limbah pertanian mengandung CH_4 55 – 58%, limbah digester mengandung CH_4 61 - 65% dan tempat pembuangan sampah TPS) mengandung CH_4 47 - 57% (Yan Cheng *et al*, 2014). Produksi CH_4 tergantung pada beberapa faktor seperti suhu, ukuran partikel limbah, PH reaktor, kehadiran komponen yang beracun seperti karbon dioksida (CO_2). Kehadiran CO_2 dalam biogas dapat menurunkan nilai kalor, karena kehadiran CO_2 dapat menurunkan aktifitas dari mikroorganisme metanogen yaitu mikroorganisme penghasil gas CH_4 , nilai kalor pada biogas kisaran 17 – 34 MJm^{-3} (Hernandez- Sanchez E *et al*, 2013).

Produksi biogas maksimal pada setiap substrat berbeda beda misalnya kotoran ternak menghasilkan metana 200 m^3 , kotoran babi menghasilkan metana 300 m^3 dan

sampah organik menghasilkan metana 250 m^3 , hal ini menunjukkan bahwa sampah organik memiliki hasil lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran ternak maupun sapi, hal ini disebabkan karena suhu pada digester untuk setiap substrat berbeda beda kisaran $20 - 40^\circ\text{C}$ disamping ada perbedaan suhu waktu peruraian substrat juga berpengaruh dimana untuk kotoran membutuhkan waktu peruraian selama $20 - 30$ hari dalam reaktor, kotoran ayam $20 - 40$ hari sedangkan kotoran babi membutuhkan waktu selama $15 - 25$ hari. Waktu peruraian yang terlalu pendek menyebabkan bakteri dalam digester lebih cepat dalam memproduksi biogas, sehingga fermentasi praktis terhenti dan biogas yang dihasilkan tidak begitu besar (T. Temilola *et al*, 2014).

2.4 Karbon Dioksida (CO_2)

Karbon dioksida merupakan kontamina dalam biogas karena kehadiran CO_2 dapat menurunkan kalor pada pembakaran. Sifat asam pada CO_2 ini juga dapat menyebabkan korosi, kandungan CO_2 dalam biogas harus lebih kecil dari 4% agar kalor yang di hasilkan dalam biogas semakin tinggi dan juga agar mengurangi korosi akibat adanya kandungan CO_2 yang terlalu tinggi dalam biogas (Rongwonga Wichitpan *et al*, 2011). Komposisi CO_2 pada biogas untuk tiap substrat berbeda beda misalnya kotoran sapi kandungan metana $35 - 45 \%$, sampah organik kandungan CO_2 kisaran $30 - 40 \%$ sedangkan kandungan CO_2 dari tempat pembuangan sampah (TPS) $30 - 40 \%$, biogas bisa di gunakan sebagai bahan bakar tetapi kandungan CO_2 yang terlalu tinggi dapat mengurangi nilai kalor pada pembakaran (C.S.Lau *et al*, 2010), oleh sebab itu kadar CO_2 yang diijinkan dalam saluran pipa biogas tidak boleh melebihi 2% hal ini bertujuan untuk mengurangi korosi akibat sifat asam yang dimiliki oleh gas CO_2 dan juga untuk meningkatkan kadar CH_4 sehingga nilai kalor yang di hasilkan juga cukup besar (Ning Ping *et al*, 2012).

2.5 Hidrogen Sulfida (H_2S)

Hidrogen sulfida merupakan kontamina utama dalam biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik dari bahan organik, kehadirannya dapat menyebabkan korosi pada logam dan beracun karena mengandung sulfur (Cheroky P *et al*, 2013). Hidrogen sulfida merupakan polutan beracun yang kandungan banyak di temukan

dalam minyak bumi, pengolahan makanan, pengolahan limbah serta pada biogas, H₂S merupakan gas yang berbau busuk (Saenz – Ramirez. D *et al*, 2009). Sifat dan karakter H₂S adalah tidak berwarna, memiliki bau yang khas, berat jenis gas H₂S lebih berat dari pada udara sekitar 20% dengan perbandingan 1,2 : 1 sehingga gas H₂S cenderung berkumpul pada tempat yang lebih rendah, gas H₂S ini juga bersifat korosi yang dapat menyebabkan karat pada pelaratan, gas H₂S dapat larut dalam air daya larut 437/100 mL pada suhu 0⁰C dan 186/100 mL pada suhu 40⁰C (Truong L.V.-A, N *et al*, 2005).

Kandungan H₂S dalam biogas mulai dari 10 ppm – 10.000 ppm tergantung pada sumber bahan organik (Maizonnase Mark *et al*, 2013), misalnya kotoran sapi mengandung H₂S sebesar 1% atau setara dengan 10.000 ppm, sekam padi mengandung H₂S 2 %, sedangkan limbah kertas mengandung 3,14%, kandungan H₂S yang tidak begitu tinggi adalah kotoran sapi oleh sebab itu kotoran sapi cocok di gunakan sebagai sumber biogas (Bagudo *et al*,2011). Kosentrasi H₂S dalam biogas yang di ijinakan agar menjadi bahan bakar yang rama lingkungan adalah dibawah 500 ppm atau setara 0,05%, karena merupakan batas maksimal yang direkomendasikan untuk menghindari korosi, selain bersifat korosi efek H₂S juga tidak baik bagi kesehatan jika kandungan H₂S antara 1000 – 3000 ppm dapat menyebabkan kematian (Boonya *et al*, 2013).

Referensi lain juga menyatakan bahwa kandungan H₂S dalam biogas yang diijinkan maksimal 5 ppm, karena H₂S bila terbakar akan membentuk zat baru bersama oksigen membentuk sulfur dioksida (SO₂) atau sulfur trioksida (SO₃), serta pada saat yang sama membentuk *sulphur acid* (H₂SO₃) dimana senyawa ini yang dapat menyebabkan korosi (Rostika, 2011), oleh karena itu sebelum digunakan sebagai bahan bakar penghapusan gas H₂S dan CO₂ harus di lakukan dengan metode purifikasi atau pemurnian biogas.

2.6 Purifikasi

Pemurnian dalam penelitian ini adalah menghilangkan pengotor dalam kandungan biogas, karena biogas merupakan gas alam yang ramah lingkungan, bersih, bahan bakar murah dan serbaguna oleh sebab itu agar biogas masuk spesifikasi bahan bakar yang sempurna tersebut maka pengotor seperti karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S) perlu dihilangkan dari kandungan biogas dengan cara pemurnian atau sering disebut purifikasi. Pemurnian karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S) ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan asam dalam biogas yang dapat menyebabkan korosi serta untuk meningkatkan energi dan nilai kalor dari gas alam tersebut. Ada beberapa metode yang digunakan untuk penghapusan gas pengotor tersebut diantaranya adalah adsorpsi fisik, absorpsi kimia, pemisahan membrane, pemisahan kriogenik dan kimia konversi, diantara metode ini proses absorpsi menjadi sangat kompetitif karena menguntungkan dalam kebutuhan energi yang rendah dan pemeliharaan rendah. Hal ini juga di ketahui bahwa metode absorpsi sangat baik untuk pemisahan CO_2 dari gas alam, ada berbagai bahan yang digunakan seperti zeolit, karbon aktif, dan saringan molekul karbon. Tetapi karbon aktif paling efektif sering digunakan, paling efektif karena karbon aktif ini memiliki spesifik tinggi dan volume pori yang besar (Ning Ping *et al*, 2012).

Pengukuran kadar karbon dioksida (CO_2) dan kadar hidrogen sulfida (H_2S) setelah di purifikasi dengan menggunakan persamaan (1) hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa % penurunan kadar sebelum dan setelah di murnikan, sedangkan untuk mengetahui berapa banyak volume biogas yang digunakan untuk mereduksi kadar karbon dioksida (CO_2) dan kadar hidrogen sulfida (H_2S) dapat menggunakan persamaan (2).

$$\% \text{ kadar} = \frac{\% \text{kadar sebelum di purifikasi} - \% \text{kadar setelah di purifikasi}}{\% \text{kadar sebelum di purifikasi}} 100\% \quad (1)$$

$$V = A \cdot h \quad (2)$$

Dimana : A = Luasan manometer (m^2)

h = perubahan tinggi manometer (m)

V = volume (m^3)

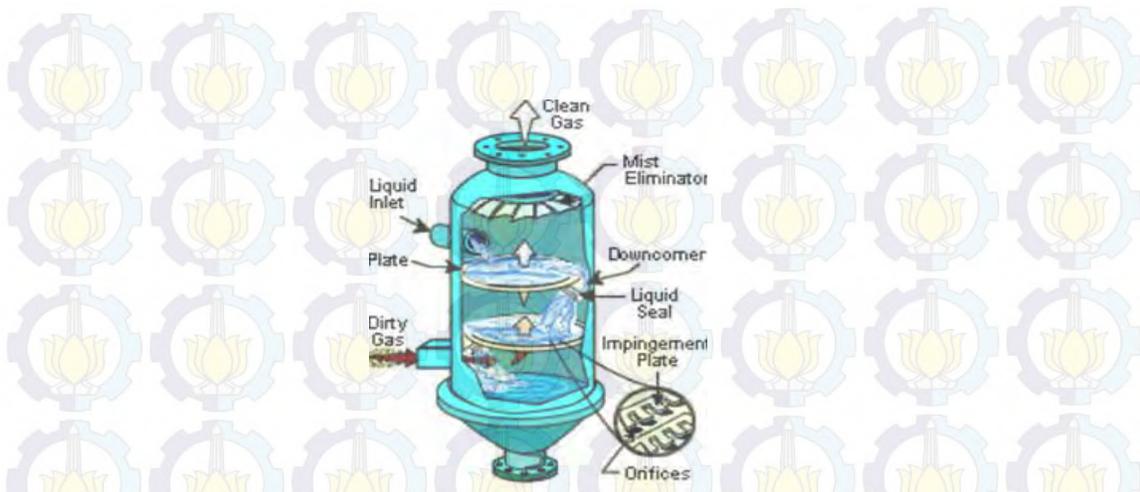
Perhitungan volume biogas bertujuan untuk mengetahui berapa banyak gas yang digunakan untuk mereduksi gas karbon dioksida (CO_2) maupun kadar hidrogen sulfida (H_2S) dengan menggunakan metode absorpsi dan water scrubber.

2.7 Absorpsi

Absorpsi merupakan proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan maupun padatan sebagai penyerap. Jenis absorpsi ada dua macam yaitu *Chemical Absorption* dan *Physical Absorption*.

2.7.1 *Physical Absorption*

Absorpsi fisik merupakan proses penyerapan gas yang terlarut dalam cairan yang tidak disertai dengan reaksi kimia, contoh absorpsi gas CO_2 dengan air, gas H_2S dengan air. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, pelarut gas ke fase cair (Rostika, 2011). Proses absorpsi fisik adalah gas dialirkan dari bawah kemudian air diseprotkan dengan menggunakan *nozzle*, dimana dibawah *nozzle* dilengkapi dengan pelat berlubang yang di letakkan horizontal. Gas yang mengalir dari bawah akan melintasi lubang - lubang yang ada pada setiap pelat yang digenangi oleh air yang mengalir dari bagian atas *scrubber* kemudian berinteraksi dengan biogas yang berasal dari bawah kolom gas yang tereduksi akan ikut mengalir ke bagian bawah kolom, sedangkan gas yang tidak tereduksi akan mengalir kebagian atas kolom (Abdurrahman Arief, 2013). Berikut merupakan proses absorpsi gas dengan air pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Proses absorpsi fisik

H₂S merupakan gas asam yang lebih larut air di bandingkan gas CO₂ dan CH₄, dan kelarutan gas tergantung pada suhu semakin tinggi suhu maka semakin besar kelarutan gas tersebut terhadap air, tabel 2.3 merupakan kelarutan air terhadap jenis gas (Gevantman L.H, 1999).

Tabel 2.2 kelarutan gas terhadap air

NO	Solubility of Selected Gases in Water	T/K	Solubility
1	Carbon dioxide (CO ₂) Mr = 44,0098	288	8,21
		293	7,07
		298	6,15
		303	5,41
		308	4,80
2	Hidrogen Sulfida (H ₂ S) Mr= 34,0482	288	2,335
		293	2,075
		298	1,85
		303	1,66
		308	1,51
3	Metana (CH ₄) Mr =16,0428	288	3,122
		293	2,806
		298	2,552
		303	2,346
		308	2,180

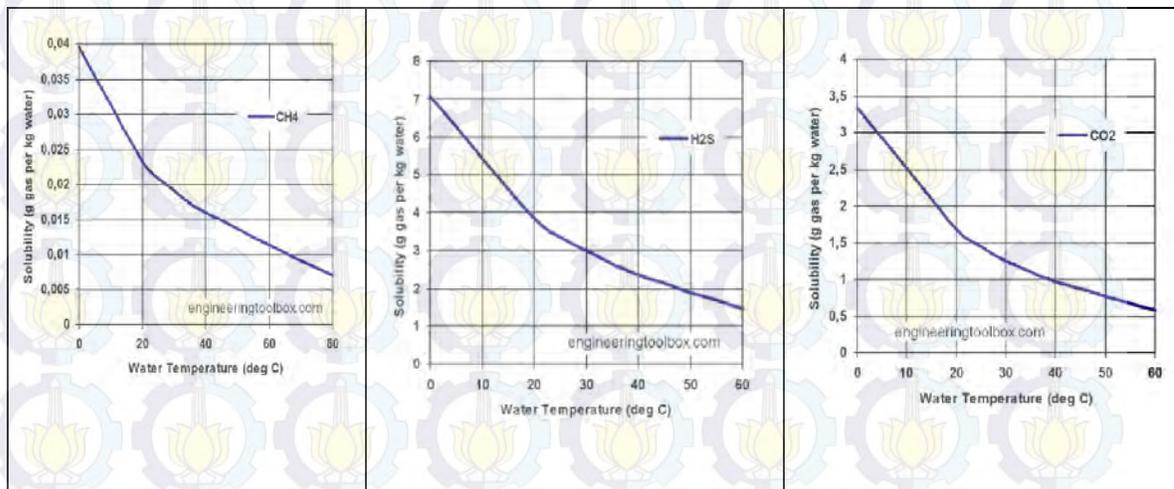
Kelarutan H₂S dengan air melalui serangkaian proses fisika kimia dan biologi berikut reaksi kimia hidrogen sulfida larut dalam air :



Reaksi CO_2 dengan air merupakan reaksi keseimbangan yang membentuk H^+ dan HCO_3^- (asam karbonat), di mana asam karbonat ini merupakan jenis asam lemah yang dapat menyebabkan korosi (Ismail, 2010), karena itu proses absorpsi CO_2 dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisik bukan absorpsi kimia (Rostika, 2011). Sedangkan reaksi H_2S dengan air adalah sebagai berikut:



Reaksi H_2S dengan air membentuk H^+ dan HS^- (hidrogen sulfida) yang merupakan asam lemah, gas H_2S lebih larut dalam air dibandingkan gas CO_2 dan metana (CH_4), gambar 2.3 ditunjukkan grafik tentang kelarutan biogas dengan air.

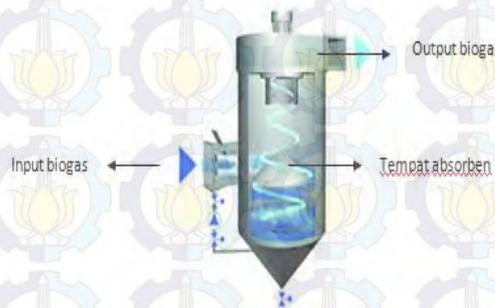


Gambar 2.3 Grafik kelarutan air terhadap gas CH_4 , CO_2 dan H_2S

Gambar 2.3 merupakan grafik kelarutan gas CH_4 , CO_2 dan H_2S , berdasarkan gambar 2.3 H_2S mempunyai kelarutan yang tinggi dalam air, yaitu sekitar 3,5 gram gas per kg air pada suhu kamar. Sedangkan tingkat kelarutan CH_4 oleh air sangat rendah, yaitu sekitar 0,02 gram gas per kg air pada suhu kamar (Abdurrahman Arief, 2013).

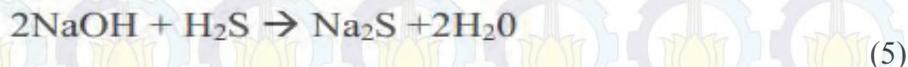
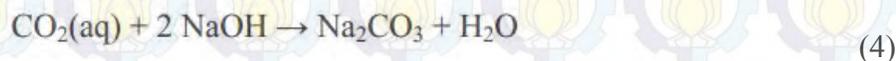
2.7.2 Chemical Absorption

Absorpsi kimia merupakan proses penyerapan gas yang disertai reaksi kimia, contoh absorpsi ini adalah absorpsi larutan NaOH, MEA, K₂CO₃, Ca(OH)₂ dan sebagainya. Proses absorpsi kimia adalah gas di alirkan dari kolom absorpsi, dimana bagian dalam kolom di lengkapi dengan plat berlubang yang diletakkan secara horizontal yang digunakan untuk tempat absorben padat tersebut. aliran gas tersebut akan menembus tumpukan padatan tersebut kemudian gas tersebut mengalir terus ke outlet kolom absorpsi.



Gambar 2.4. Proses absorpsi kimia

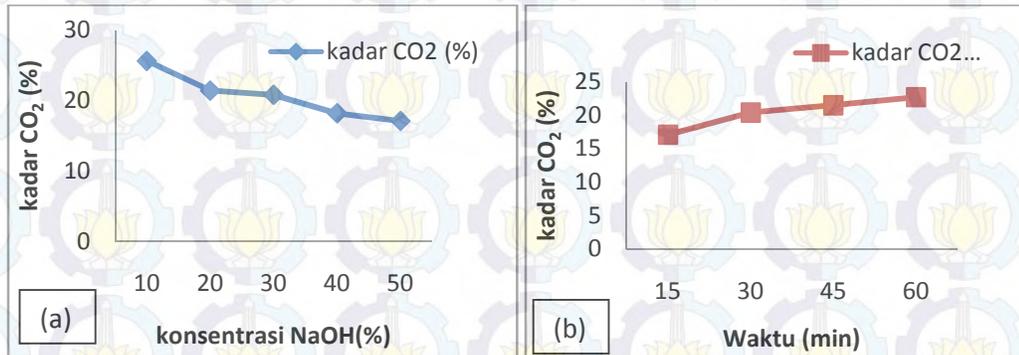
Proses ini kondisi pada fase gas serupa dengan absorpsi fisik dan reaksi kimia yang terjadi di sebut *irreversible*, dimana gas CO₂ pada fase gas akan di absorpsi oleh NaOH reaksi yang terjadi adalah:



Persamaan (3) dan (4) merupakan reaksi *irreversible*, dimana reaksi *irreversible* merupakan reaksi yang tidak bisa berubah ke bentuk semula. Reaksi pada persamaan 5 menghasilkan Na₂CO₃, dimana Na₂CO₃ merupakan senyawa kimia yang berfungsi sebagai bahan bantu kimia dalam proses netralisasi. Na₂CO₃ bersifat basa, jadi bila ada air yang bersifat asam bisa di netralkan dengan menambahkan Na₂CO₃.

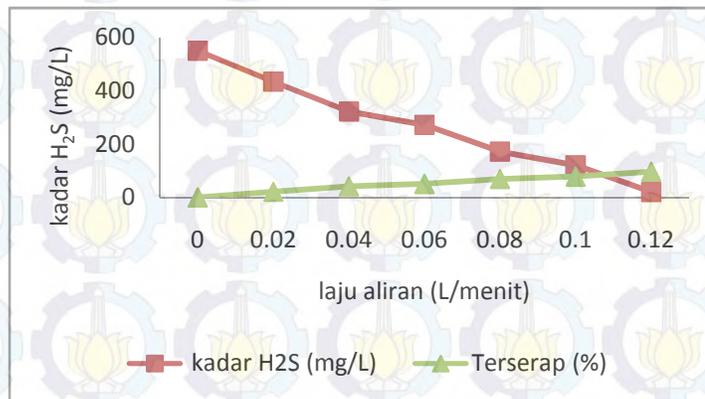
Pemurnian dengan menggunakan NaOH dalam menyerap kadar gas CO₂, bergantung pada konsentrasi NaOH semakin besar konsentrasi maka kadar yang di

hasilkan semakin kecil, sedangkan jika waktu di variasi seperti gambar 2.3 maka semakin lama waktu yang digunakan dalam mereduksi CO₂ semakin besar konsentrasi CO₂ yang di hasilkan (Andhika dkk, 2012)



Gambar 2.5. (a) Grafik konsentrasi CO₂ terhadap konsentrasi NaOH dan (b). konsentrasi CO₂ terhadap waktu

Pemurnian kadar H₂S dengan menggunakan NaOH juga di pengaruhi oleh laju aliran biogas, semakin besar laju aliran maka semakin besar proses penyerapan yang terjadi. Hasil penyerapan dengan laju aliran biogas 0.12 L/menit dapat 96,36% sedangkan kadar H₂S mengalami penurunan sampai 20,20 mg/L gambar 2.3 merupakan grafik perbandingan antara laju aliran terhadap konsentrasi H₂S (Aditya K, dkk, 2012).



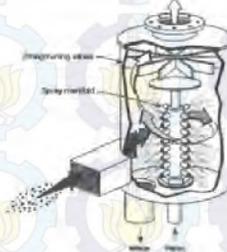
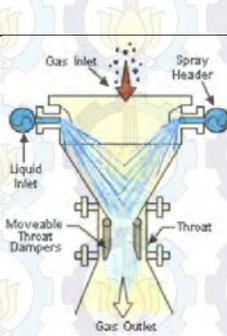
Gambar 2.6. Grafik kadar H₂S terhadap laju aliran biogas

2.8 Water Scrubber

Water scrubber merupakan salah satu jenis *scrubber* yang prinsip kerjanya menggunakan *liquid* untuk pembuangan polutan (Khairumizan, 2008), *liquid* ini dapat digunakan untuk menghilangkan karbon dioksida begitu juga hidrogen sulfida dari biogas karena gas sintesis ini lebih mudah larut dalam air dibandingkan metana, dimana air dialirkan pada bagian atas sehingga proses penyerapan dan kontak antar gas terjadi (Arthur *et al*, 1995).

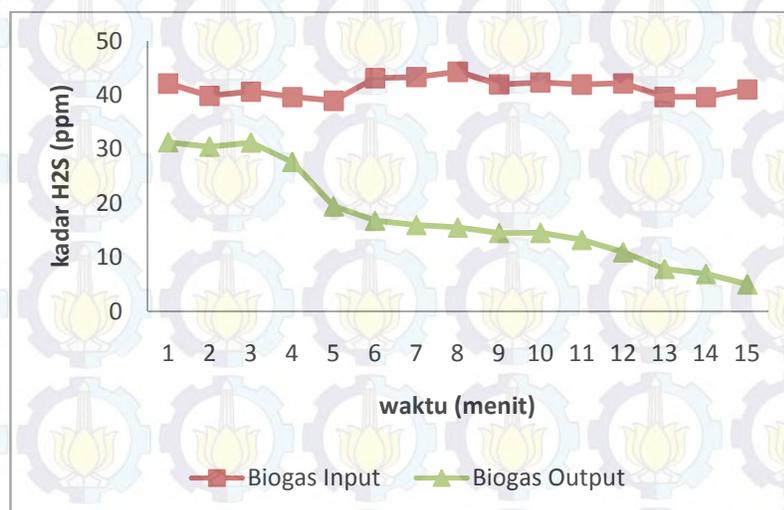
Water scrubber dalam mereduksi gas polutan biogas menggunakan *fluida* cair, *fluida* cair yang umum digunakan adalah air atau sering di sebut *water scrubber*. *Water scrubber* dikemas dalam bentuk menara yang tinggi hal ini dilakukan untuk memberikan kontak yang lebih lama antara air dengan gas, prinsipnya adalah sebagian biogas mentah bergerak naik ke kolom melawan arah arus air sehingga terjadi kontak yang mengakibatkan CO₂ dan H₂S menjadi terlarut dalam aliran cairan. Gas CO₂ dan H₂S yang terlarut dalam air kemudian dikembalikan ke bawah kolom, tekanan air dalam kolom menara scrubber adalah 2 - 4 bar. Air *scrubber* dapat di gunakan kembali dalam mereduksi gas yang tidak di inginkan dalam biogas, tetapi ketika kandungan H₂S terlalu tinggi dalam air maka hal ini perlu di lakukan regenerasi air agar tidak terjadi masalah dalam operasi pemurnian gas tersebut (Valogos, 2009).

Tabel 2.3. Jenis *Water Scrubber* (Abdurrahman, 2013)

No	Jenis <i>wet scrubber</i>	Gambar	Keterangan
1	Spray Tower		Gas dialirkan dari bawah kemudian air diseprotkan dengan menggunakan <i>nozzle</i> . Efisiensi filtrasi pada partikel > 5µm mencapai 90%, sedangkan 3 – 5 µm mencapai 60 – 80 % dan < 3 µm dibawah 50%. Besar debit aliran sebesar 1 – 47 m ³ /s atau setara dengan 1500 – 100.000 cfm.
2	Cyclonic Spray		Pada <i>Cyclonic Spray inlet</i> gas di buat pada posisi tangensial terhadap silinder <i>Scrubber</i> , hal ini bertujuan agar gas yang mengalir lebih cepat. Sedangkan <i>nozzle</i> diletakkan di bagian tengah dan <i>inlet</i> di bagian atas <i>nozzle</i> . Efisiensi mncapai 95% untuk partikel > 5 µm dan ukuran sub mikro antara 60 – 75 %.
3	Dynamic Scrubber		<i>Dynamic Scrubber</i> memiliki rotor yang berfungsi mengarahkan gas serta partikel hasil filtrasi menuju <i>inlet</i> . Tipe ini lebih efisien di gunakan untuk partikel < 1 µm dan untuk aliran gas 1000 – 5000 cfm.
4	Tray Tower		<i>Tray Tower</i> dilengkapi dengan pelat berlubang yang di letakkan horizontal. Gas yang mengalir dari bawah akan melintasi lubang - lubang yang ada pada setiap pelat yang digenangi oleh air yang mengalir dari bagian atas <i>scrubber</i> . Effisiensi tinggi untuk ukuran partikel > 5 µm mencapai 97 %, untuk aliran gas 1000 -75000 cfm.
5	Ventury Scrubber		Pada tipe ini konstruksinya mengalami pengecilan (<i>throat</i>) diameter kemudian pembesaran diameter kembali. Hal ini bertujuan agar aliran gas semakin kecil sehingga terjadi tumpukan partikel pada bagian tersebut, sedangkan air di alirkan dari atas untuk melewati <i>throat</i> tersebut. Effisiensi tinggi pada tipe ini yaitu 10 - 99 % untuk partikel > 1 µm, untuk ukuran sum micron > 50 %.

Mengurangi CO_2 dan H_2S akan secara signifikan meningkatkan kualitas biogas, dalam penelitian ini menggunakan metode *scrubber* untuk memperkaya metana. Penyerapan CO_2 dan H_2S pada eksperimen ini dengan menggunakan larutan NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pelarut tersebut disirkulasi dalam kolom sedangkan aliran biogas berlawanan dengan sirkulasi larutan NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hasil dari penyerapan ini mampu mengurangi kadar CO_2 dalam biogas dengan nilai efisiensi mencapai 90%, tetapi eksperimen ini bergantung terhadap waktu dimana $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hanya mampu mereduksi CO_2 selama 50 menit sedangkan NaOH selama 100 menit (Tippayawong *et al*, 2010).

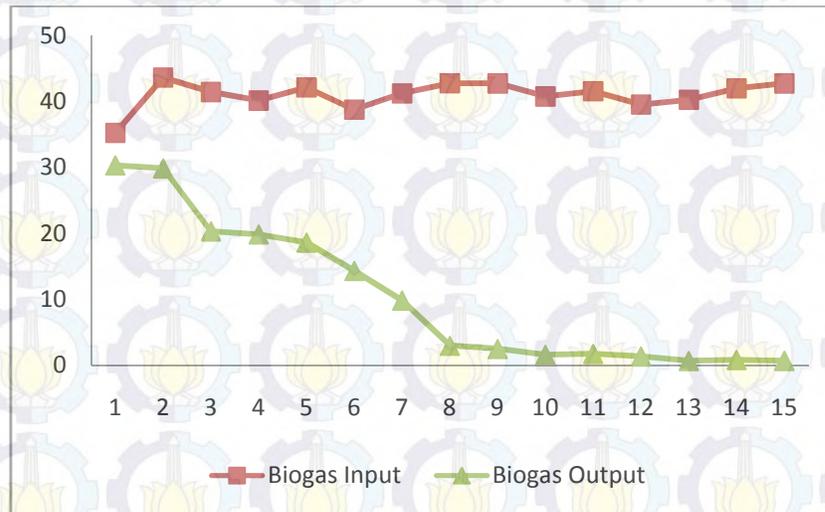
Penelitian yang dilakukan oleh Abdulrakhman Arief, 2013 dengan menggunakan metode *water scrubber* dalam mereduksi H_2S atau CO_2 . Material absorben yang digunakan pada penelitian ini adalah CaO dan CaCl_2 yang di variasi massa dari absorben tersebut yaitu 1,5 kg dan 0,5 kg. hasil pengukuran dengan menggunakan massa 1,5 kg seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4.



Gambar 2. 7. Hasil pengukuran kadar H_2S dengan massa absorben 1,5 kg

Hasil pengukuran kadar H_2S pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa rata – rata kadar H_2S yang terukur dalam waktu lima belas menit mencapai 41,39 ppm, sedangkan kadar H_2S setelah di purifikasi mencapai nilai rata – rata 5,04 ppm. penurunan kadar H_2S ini sangat signifikan, hal ini disebabkan karena aliran biogas telah mengalami kontak secara dominan terhadap *water scrubber*, sehingga dapat

disimpulkan bahwa jika massa CaO sebesar 1,5 kg dapat mereduksi gas H₂S 57,8 % . Sedangkan hasil pengukuran dengan menggunakan massa absorben 0,5 kg di tunukkan oleh gambar 2.5.



Gambar 2. 8. Hasil pengukuran kadar H₂S dengan massa absorben 0,5 kg

Dari hasil yang diperoleh pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa kadar H₂S mengalami penurunan kadar sampai mencapai 0,72 ppm dalam waktu 15 menit, pengurangan ini sangat signifikan jika mengacu pada biogas awal sebelum dipurifikasi yaitu sebesar 40,99 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pada selang waktu tersebut aliran biogas telah mengalami kontak secara dominan terhadap *water scrubber*, sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam mereduksi gas H₂S dengan menggunakan massa 0,5 gram dapat mereduksi gas H₂S sebesar 74,5 % (Abdulrrakhman Arief, 2013).

Dan jika hasil kadar CO₂ mengalami penurunan kadar sebesar 21% dari kadar CO₂ sebelum dipurifikasi sebesar 26,93 % dan kadar CO₂ setelah dipurifikasi sebesar 21,63 %, sehingga jika menggunakan persamaan (1) diperoleh penurunan kadar CO₂ sebesar 21%. Tetapi metode pengambilan data pada pengukuran kadar CO₂ berbeda dengan pengukuran kadar H₂S, jika pengukuran kadar CO₂ yaitu sampel biogas diambil terlebih dahulu di plant biogas (Nongkojajar, Pasuruan, Jawa Timur), kemudian sampel tersebut dibawa ke laboratorium untuk diukur menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Sampel yang diambil ada 4 yang disimpan di dalam *sample*

bag. Sedangkan mekanisme pengukuran kadar H_2S adalah biogas diukur terlebih dahulu kadarnya sebelum masuk ke kolom alat purifikasi. Selanjutnya secara bersamaan output dari kolom juga diukur untuk mengetahui kadar biogasnya. Proses pengukuran dilakukan dengan selang waktu 2 menit. Total pengukuran dilakukan selama 15 kali pada sisi input alat purifikasi, dan 15 kali pada sisi output alat purifikasi (Abdulrahman Arief, 2013).

Referensi lain juga menggunakan *water scrubber* dalam mereduksi gas H_2S tetapi sumber biogas berasal dari kotoran babi, dimana kelarutan H_2S dalam air lebih tinggi dari pada metana sehingga air dapat digunakan sebagai absorben untuk menghilangkan H_2S dari biogas. *Water scrubber* telah dirancang secara sederhana untuk mengurangi kandungan H_2S . Biogas dilirkan terus menerus dari bawah kolom dengan menggunakan diffuser yang bisa menghasilkan gelembung. Gelembung biogas dan air dapat mempercepat reaksi dalam kolom, air di kolom beredar melalui pompa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi H_2S dalam biogas menurun secara signifikan dengan tingkatan air dan laju aliran biogas melalui water scrubber, namun kemampuan penyerapan air menurun drastis dengan waktu lama waktu yang di gunakan untuk mereduksi H_2S adalah 30 dan 90 detik. Efisiensi penghapusan konten H_2S mencapai 78% pada scrubber dalam waktu 30 detik dengan laju aliran air 50 liter/menit, sedangkan dalam waktu 90 detik dalam mereduksi gas H_2S sebesar 59% (Cheng –Chang *et al*, 2014).

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

Pemurnian gas CO₂ dan H₂S dilakukan untuk meningkatkan kualitas biogas yang digunakan sebagai bahan bakar, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh absorben (NaOH, CaO) dan *water scrubber* terhadap penurunan kadar CO₂ dan H₂S dalam biogas.

a. Variabel kendali :

- Massa absorben NaOH dan CaO sebanyak 2 ons
- volume air (H₂O) yang di gunakan sebagai pemurnian biogas yaitu sebanyak 15 liter.

b. Variabel Bebas:

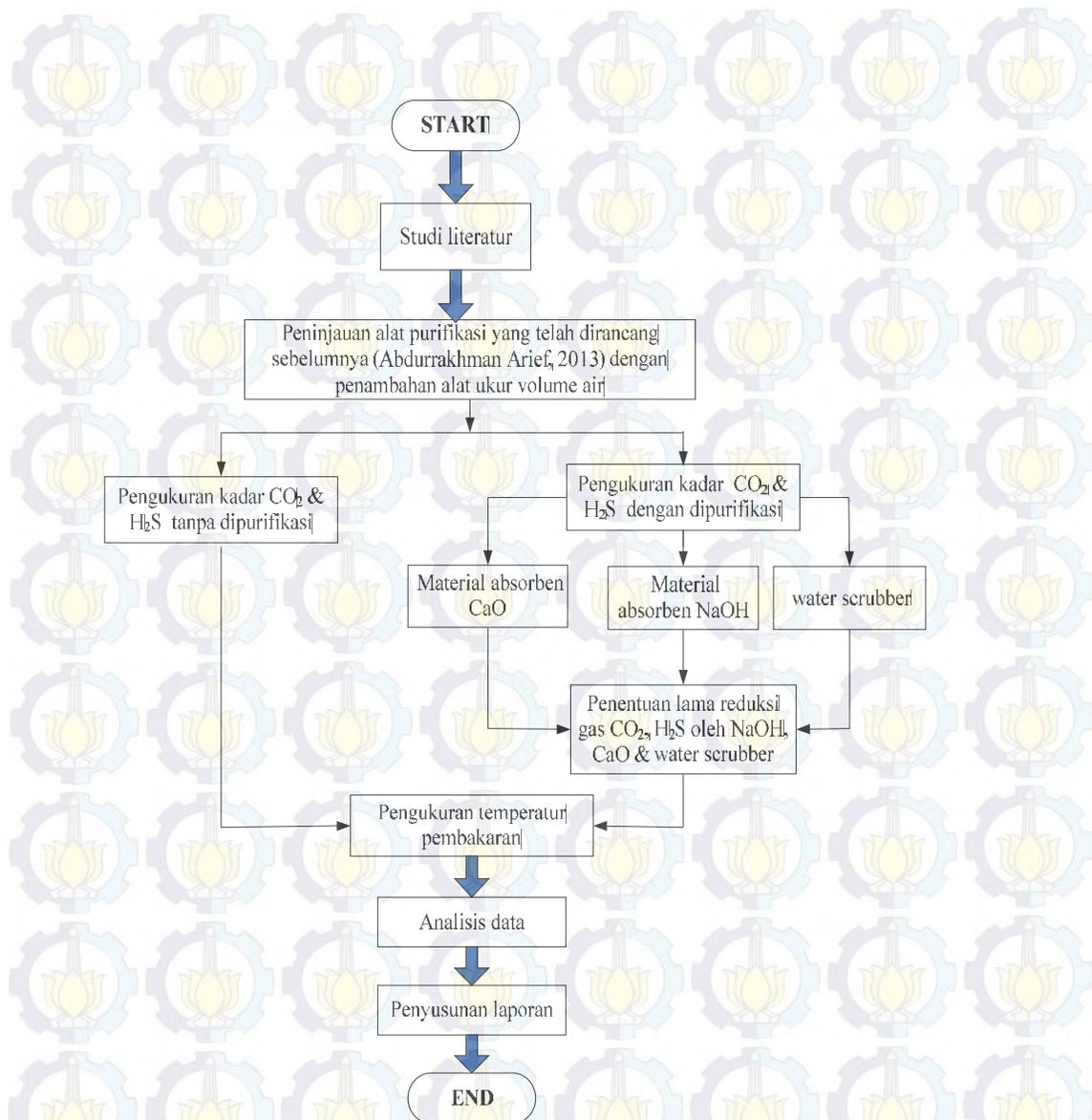
- konsentrasi kadar CO₂ dan H₂S dalam biogas murni sebelum di purifikasi
- konsentrasi kadar CO₂ dan H₂S dalam biogas setelah di purifikasi

c. Variabel Respon : hasil pemurnian biogas.

Pada penelitian ini dianalisis:

- a. Kemampuan absorben (CaO, NaOH) dan *water scrubber* dalam menyerap CO₂ dan H₂S untuk pemurnian biogas pada berbagai variable.
- b. Berapa lama CaO, NaOH dan *water scrubber* dalam mereduksi gas CO₂ dan H₂S
- c. Hasil akhir penyerapan CO₂ dan H₂S akan dianalisis dengan menggunakan excel dan dibandingkan dengan telaah pustaka.

Adapun langkah - langkah penelitian ditunjukkan pada diagram alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

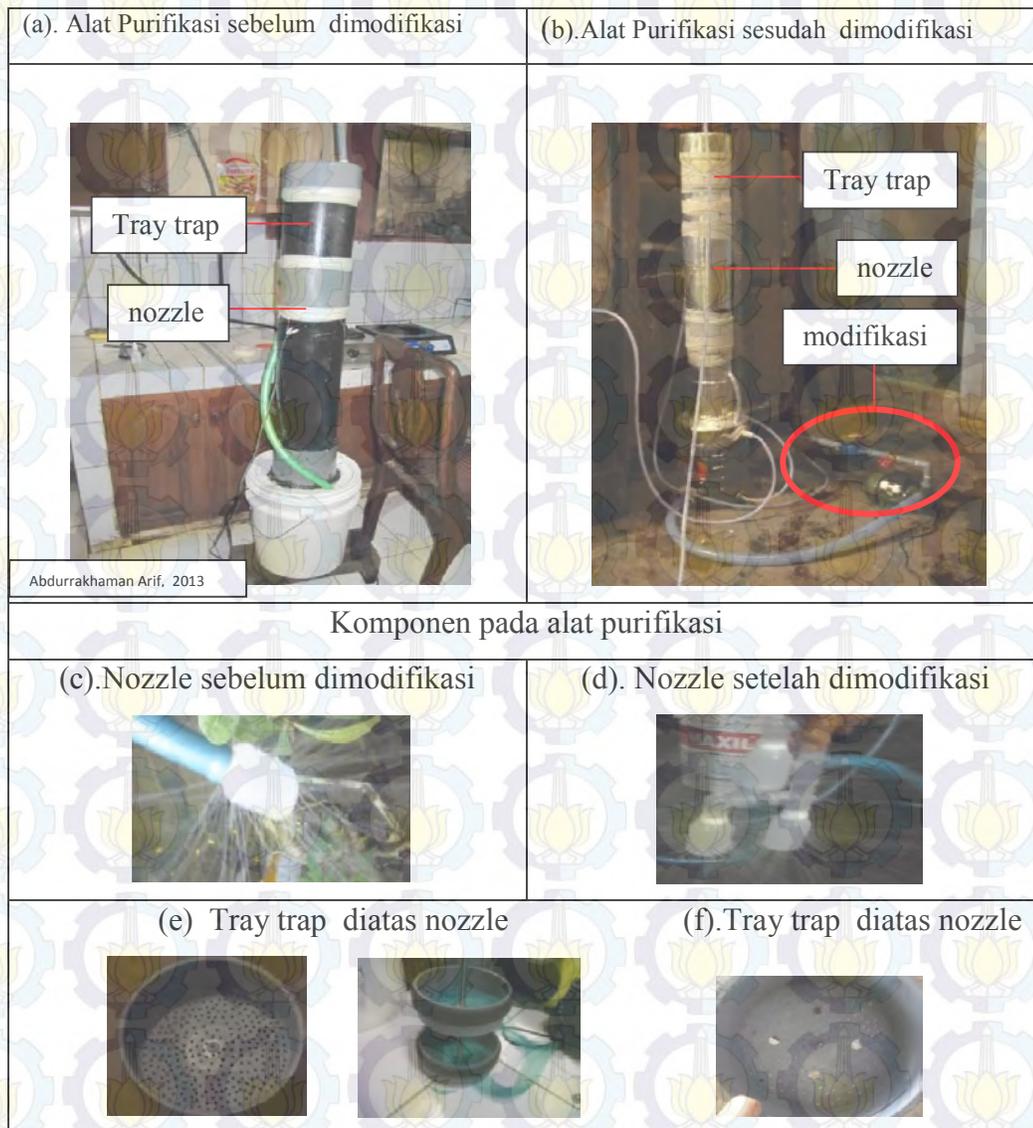
Berikut dijelaskan secara rinci langkah – langkah sistematis dari diagram alir pada gambar 3.1.

3.1 Study Literatur

Langkah - langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini studi literatur, tentang komposisi kandungan biogas, serta sifat dan karakter dari biogas seperti CO_2 , H_2S begitu juga sifat dari CH_4 . Hasil penelitian sebelumnya tentang pemurnian biogas sebagai pembandingan terhadap hasil penelitian yang dilakukan, serta karakter dan sifat bahan yang mampu mereduksi gas CO_2 , H_2S .

3.2 Modifikasi Filter Purifikasi

Perancangan alat purifikasi telah di desain oleh peneliti sebelumnya (Abdurrahman Arief, 2013), tetapi penambahan aliran air pada desain sebelumnya belum dilakukan. Pada penelitian ini dilengkapi dengan meteran air yang berfungsi sebagai alat ukur volume air yang keluar dari tangki air menuju nozzle. Berikut pada gambar 3.2 adalah perbandingan rancangan alat purifikasi pada penelitian sebelumnya dan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Perbandingan desain filter purifikasi dengan penelitian sebelumnya dan komponennya

Komponen *water scrubber* ini dilengkapi dengan *tray trap* dan nozzle. *Tray trap* berfungsi sebagai tempat absorben dan juga sebagai tempat interaksi antara gas dengan air. *Tray trap* ini berdiameter sebesar 15 cm sedangkan bagian tengah yang memiliki lubang – lubang kecil seperti saringan berdiameter 0,2 cm seperti pada gambar 3.2 (e). *Tray trap* yang berada dalam kolom purifikasi berjumlah lima buah, dua buah di atas nozzle dan tiga buah di bawah nozzle. Penyusunan *tray trap* seperti pada gambar 3.2 (e), selain tempat absorben *tray trap* di atas nozzle juga berfungsi untuk meningkatkan waktu kontak antar biogas dengan absorben sehingga reaksi pengurangan H₂S dan CO₂ oleh absorben dapat dioptimalkan.

Tray trap di bawah nozzle berbentuk lingkaran seperti gambar 3.2 (f) dengan lubang kecil yang memenuhi penampang, tetapi lubang kecil *pada tray trap* ini berbeda dengan *tray trap* di atas nozzle. Lubang kecil yang memenuhi penampang memiliki diameter yang seragam pada gambar 3.2 (e), sedangkan lubang kecil pada gambar 3.2 (f) berbeda, hal ini disebabkan karena kelima lubang yang cukup besar kira 2 cm ini bertujuan agar sirkulasi air pada penampang yang berasal dari nozzle tidak tergenang terlalu lama.

Banyak *tray trap* dibawah nozzle berjumlah 3 buah dengan pertimbangan ruang yang tersedia pada kolom purifikasi, *tray trap* di bawah nozzle ini berfungsi untuk meningkatkan waktu kontak antara biogas dengan *water scrubber*, sehingga reaksi pengurangan H₂S dan CO₂ oleh air dapat dioptimalkan (Abdurrahman Arif, 2013), sedangkan bentuk nozzle yang digunakan dapat di tampilkan pada gambar 3.2 (d). Nozzle pada kolom purifikasi ini berfungsi sebagai komponen yang mengalirkan air dari pipa ke dalam kolom purifikasi. Air keluaran dari nozzle ini berupa *water scrubber* yang bertugas untuk menangkap gas H₂S dan CO₂ yang masuk ke dalam kolom (Abdurrahman Arif, 2013). Sirkulasi air dalam kolom purifikasi ini di lengkapi dengan pompa air yang digunakan untuk mengalirkan air dalam pipa kemudian masuk ke dalam nozzle. Berikut gambar pompa air yang digunakan dalam penelitian ini beserta spesifikasi dari pompa air tersebut yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dan tabel 3.1.



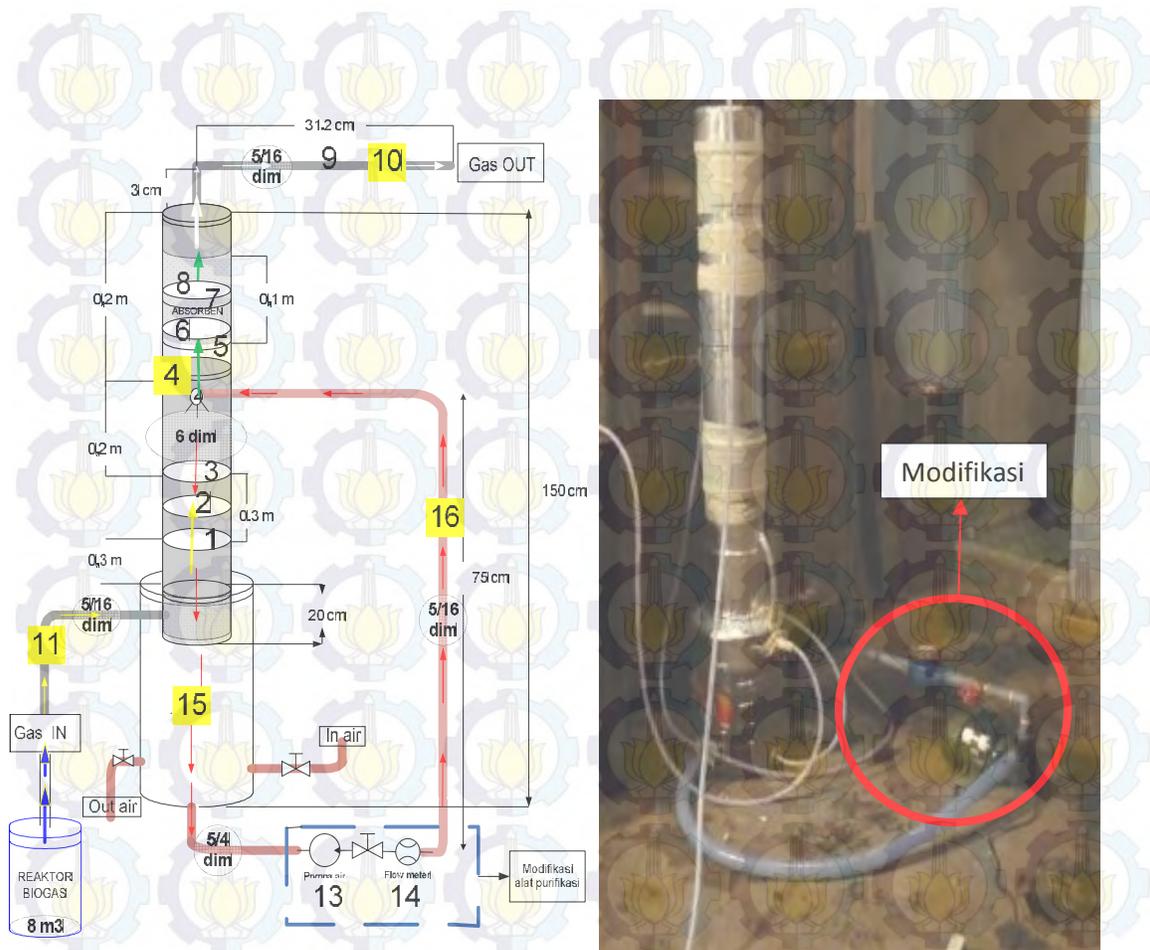
Gambar 3.3 pompa air dan meteran air

Selain pada alat purifikasi terdapat pompa air, alat purifikasi ini juga dilengkapi dengan meteran air yang berfungsi sebagai alat ukur volume air yang keluar pada pipa kolom purifikasi. Berikut spesifikasi dari pompa air ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 spesifikasi pompa air

Sumber Daya	220 V/ 50 HZ
Pemakaian daya	125 watt
Daya hisap	9 meter
Daya dorong maxsimal	33 meter
Kapasitas air maksimal	34 t/Min

Hasil modifikasi alat purifikasi biogas dengan metode *water scrubber* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.4 Alat purifikasi biogas setelah dimodifikasi

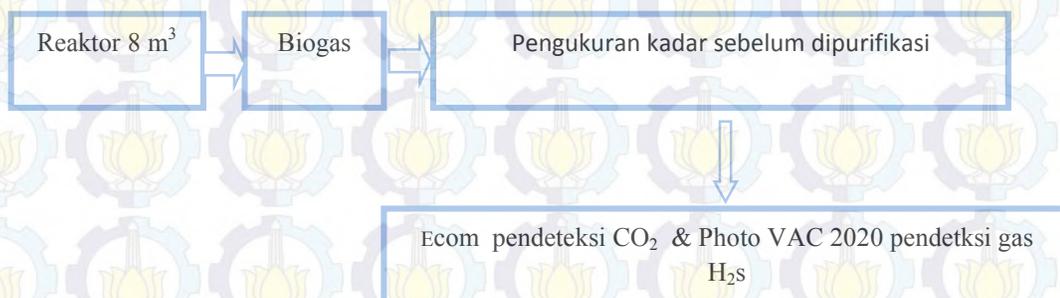
Berikut ditunjukkan komponen dari alat purifikasi biogas setelah dimodifikasi seperti pada tabel 3.2

Tabel 3.2 komponen *water scrubber* pada gambar 3.1

1	Tray trap	9	Pipa aliran keluaran biogas setelah di purifikasi
2	Tray trap	10	Termokopel
3	Tray trap	11	Pipa aliran biogas dari reaktor
4	Nozzle	12	Termokopel
5	Tray trap	13	Pompa air
6	Kasa	14	Flow meter
7	Tray trap	15	Tangki berisi air
8	Kasa	16	Pipa aliran air untuk <i>water scrubber</i>

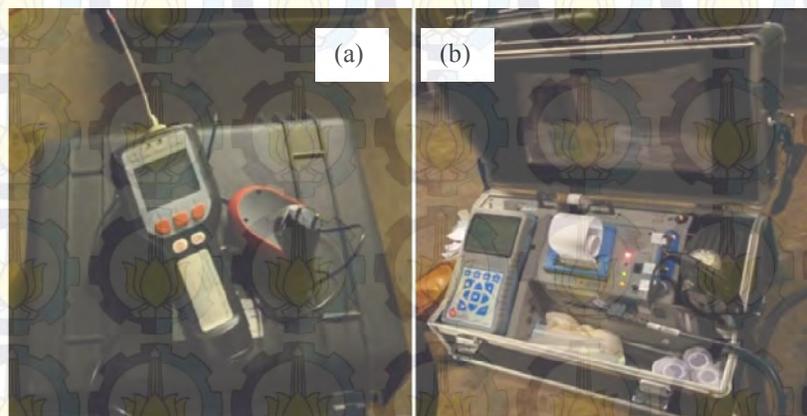
3.3 Pengukuran kadar CO₂ dan H₂S Tanpa dipurifikasi

Biogas yang berasal dari reaktor sebelum dialirkan ke dalam alat purifikasi terlebih dahulu diukur kadar CO₂ dan H₂S. Kadar CO₂ tanpa dipurifikasi diukur dengan menggunakan Ecom J2KN, sedangkan untuk mendeteksi kadar H₂S menggunakan Photo VAC 2020. Alat ukur kadar CO₂ dan H₂S ini di tunjukkan oleh gambar 3.6, sedangkan prosedur penelitian ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Prosedur pengukuran CO₂ dan H₂S sebelum dipurifikasi.

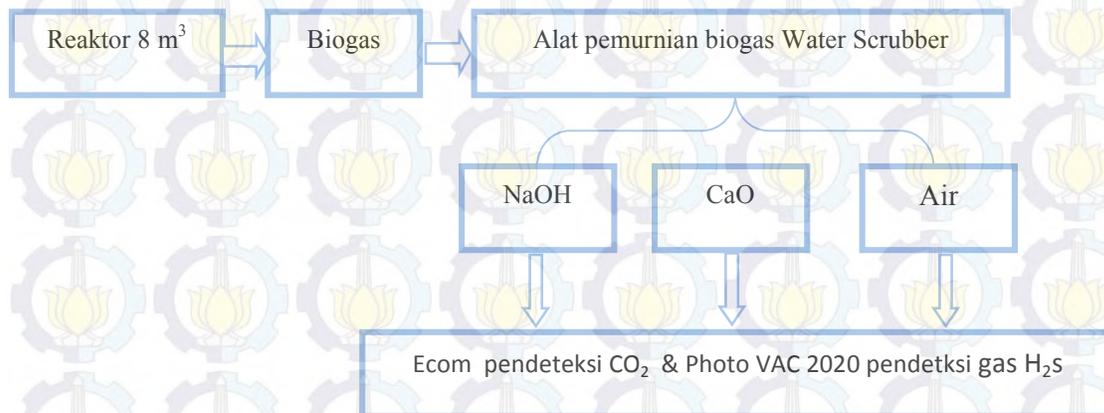
Gambar 3.6 merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kadar CO₂ dan H₂S pada biogas sebelum dipurifikasi dan sesudah dipurifikasi.



Gambar 3.6 (a) Photo VAC 2020 (b) Ecom J2KN

3.4 Pengukuran Kadar CO₂ Dan H₂S dengan Alat Dipurifikasi

Gambar 3.7 menunjukkan skema pengukuran kadar CO₂ dan H₂S setelah dipurifikasi.



Gambar 3.7. Prosedur penelitian biogas saat dipurifikasi

Terdapat tiga jenis absorben yang digunakan yaitu NaOH, CaO dan air, kadar CO₂ dan H₂S diukur dengan alat yang sama seperti disebutkan diatas.

3.4.1 *Water Scrubber*

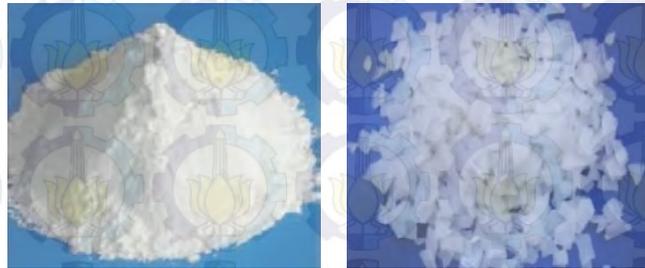
Biogas yang berasal dari reaktor di alirkan ke bawah kolom purifikasi, didalam kolom purifikasi di lengkapi dengan nozzle. Nozzle ini berfungsi sebagai tempat mengalirnya air, air di alirkan seperti seprai hal ini bertujuan agar biogas yang mealir dari bawah kolom purifikasi bisa berinteraksi dengan air. Biogas yang tereduksi akan mengalir ke bawah kolom purifikasi, sedangkan biogas yang tidak tereduksi akan mengalir ke atas kolom purifikasi biogas menuju output purifikasi, di output ini di lengkapi dengan pendeteksi gas CO₂ dan H₂S.

3.4.2 **Material Absorben (CaO dan NaOH).**

Proses pengambilan datanya hampir sama dengan menggunakan air yaitu biogas di alirkan dari bawah kolom alat purifikasi pada ketinggian 85 cm absorben NaOH atau CaO diletakkan dengan menggunakan tray trap yang dilengkapi dengan kasa, kasa di sini berfungsi agar absorben yang berbentuk serbuk tidak jatuh ke dalam kolom purifikasi. Tray trap yang digunakan sebagai tempat absorben seperti pada

gambar 3.2(e), perletakan tray trap ini di atas nozzle dengan tujuan agar bahan padatan tidak larut dalam air. Biogas yang berasal dari bawah kolom purifikasi tersebut setelah berinteraksi dengan absorben CaO dan NaOH akan mengalir ke output alat purifikasi yang sudah di lengkapi dengan alat pendeteksi gas CO₂ dan H₂S.

Bahan absorben padat yang digunakan sebagai pemurnian gas H₂S dan CO₂ adalah NaOH dan CaO, CaO atau disebut dengan kapur tohor yang hasil dari pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar Kalsium Karbonat (CaCO₃). Jenis NaOH yang di gunakan pada penelitian ini adalah NaOH RRC yang digunakan pada penelitian berikut adalah gambar dari absorben padat tersebut.



Gambar 3.8 Bahan Absorben CaO Dan NaOH

Perhitungan massa yang digunakan untuk pada penelitian ini untuk NaOH di dasarkan pada kapasitas tempat *tray trap* untuk absorben di mana kapasitas tray trap disini memiliki ketinggian 5,5 cm dan memiliki diameter 15 cm, oleh karena itu perhitungan massa absorben berdasarkan kapasitas dari *tray trap* itu sendiri. Perhitungan massa absorben disajikan pada lampiran.

3.5 Pengukuran Suhu Pembakaran Biogas

Pengukuran suhu pembakaran pada biogas ini bertujuan untuk mengetahui kandungan CO₂ dalam biogas sebelum dan setelah di purifikasi, karena semakin besar kadar CO₂ dalam biogas menyebabkan suhu pembakaran semakin kecil, begitu juga jika kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas kecil maka suhu pembakaran semakin besar. Alat ukur suhu pembakaran ini menggunakan Thermometer.

3.6 Analisis

Setelah pengambilan data selesai maka dilakukan analisis data tersebut dengan menggunakan excel, dengan membandingkan data gas murni sebelum di purifikasi dengan data gas yang sudah di purifikasi berapakah besar perbandingan penurunan gas yang mengandung *impurity* setelah di lakukan pemurnian.

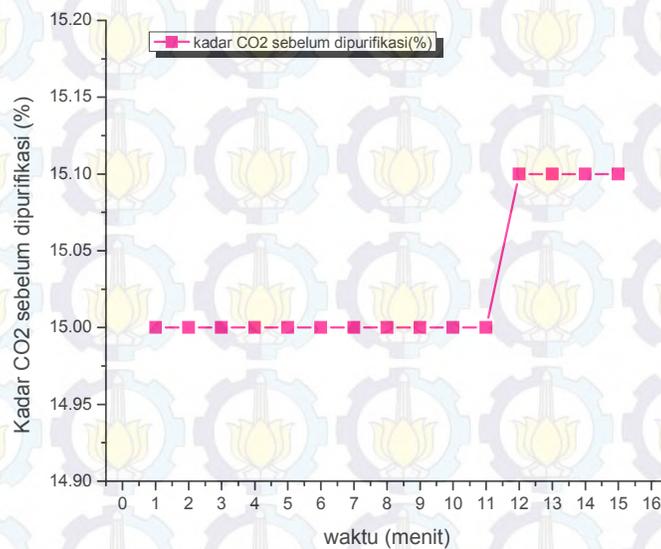
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kadar CO_2 dan H_2S dilakukan sebelum dan sesudah dipurifikasi. Pengaruh material absorben NaOH , CaO dan air dalam penyerapan gas CO_2 dan H_2S dijelaskan pada bab ini.

4.1 Kadar CO_2 Sebelum Di Purifikasi.

Mekanisme pengukuran pada penelitian ini, kadar CO_2 sebelum dipurifikasi diukur terlebih dahulu pada setiap menitnya dengan total pengukuran selama 15 menit, hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar CO_2 sebelum dipurifikasi pada setiap menitnya. Hasil pengukuran kadar CO_2 sebelum dipurifikasi ditunjukkan pada gambar 4.1.



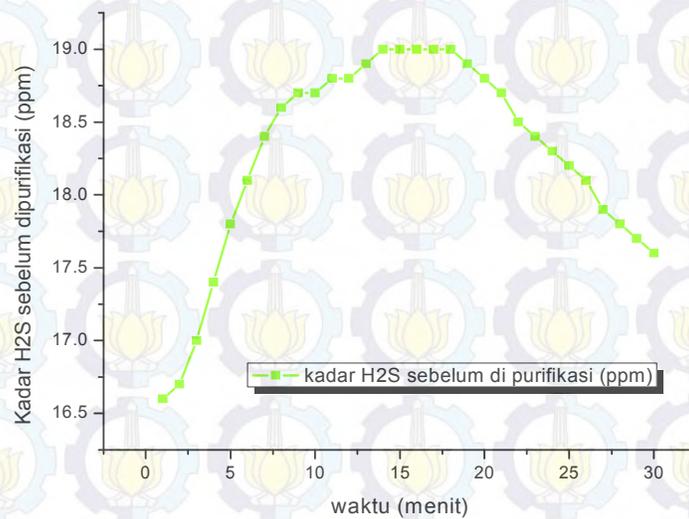
Gambar 4.1. Kadar CO_2 sebelum dipurifikasi

Gambar 4.1 merupakan hasil pengukuran kadar CO_2 sebelum dipurifikasi dimenit pertama sampai menit kesebelas tidak mengalami perubahan atau konstan, yaitu 15 %. Hal ini disebabkan karena aliran biogas pada pipa dari reaktor atau

volume biogas yang keluar melalui pipatidak mengalami perubahan atau konstan sehingga kadar CO_2 yang terdeteksi juga konstan. Semakin besar volume biogas yang keluar dari pipa maka kadar yang terdeteksi semakin besar. Hal ini terlihat dari menit kesebelas sampai menit kedua belas kadar CO_2 yang terdeteksi mengalami kenaikan sebesar 15,1% . Volume maksimal biogas yang keluar dari pipa tergantung pada besar diameter pipa dan panjang pipa yang digunakan dalam saluran biogas, hal ini bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Pada menit ke dua belas sampai menit ke lima belas kadar CO_2 tidak mengalami perubahan atau konstan karena volume biogas yang keluar pada pipa konstan sehingga kadar CO_2 yang terdeteksi juga konstan. Perubahan volume biogas pada pipa diasumsikan bahwa tidak mengalami perubahan yang begitu besar hal ini terlihat dari perubahan kadar CO_2 yang terdeteksi tidak begitu besar yaitu sebesar 15% menjadi 15,1%. Oleh karena itu pengukuran kadar CO_2 sebelum dipurifikasi ini dilakukan selama lima belas menit karena dalam rentang waktu tersebut kadar CO_2 yang terdeteksi tidak begitu besar perubahannya yaitu sebesar 0,1% .

4.2 Kadar H_2S Sebelum Dipurifikasi

Mekanisme pengukuran data untuk kadar H_2S sebelum dipurifikasi tidak jauh berbeda dengan mekanisme pengukuran pada kadar CO_2 sebelum dipurifikasi, yang membedakan disini hanya alat ukur yang digunakan. Pada proses pengukuran kadar H_2S , output dari saluran biogas dari reaktor dilengkapi dengan alat ukur gas H_2S . Pengukuran kadar H_2S sebelum dipurifikasi bertujuan untuk mengetahui kadar H_2S sebelum dipurifikasi yang akan digunakan untuk dibandingkan dengan kadar H_2S setelah dipurifikasi. Gambar 4.2 merupakan hasil kadar H_2S sebelum dipurifikasi.



Gambar 4.2. Kadar H₂S sebelum dipurifikasi

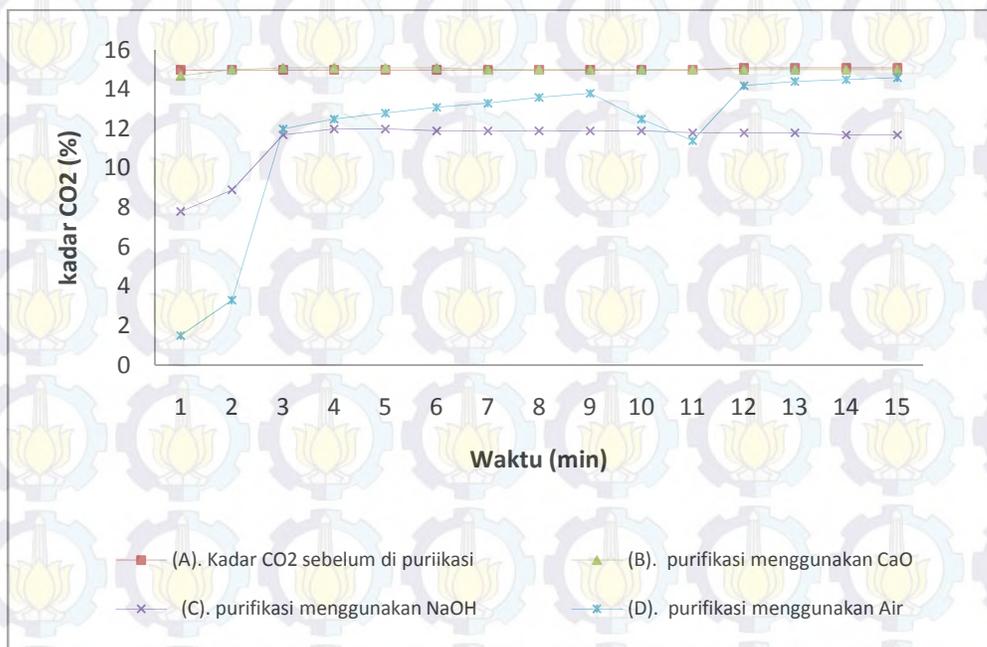
Kadar H₂S pada gambar 4.2 terlihat sangat bervariasi. Perubahan kadar H₂S yang terdeteksi mengalami peningkatan dari menit pertama sampai menit ke empat belas yaitu dari 16,6 ppm sampai 19 ppm. Hal ini disebabkan karena laju aliran biogas bervariasi dan volume aliran gas yang keluar dari menit pertama sampai menit ke delapan belas semakin besar. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil kadar H₂S yang terdeteksi semakin besar, semakin besar laju aliran atau volume biogas yang keluar pada pipa semakin besar maka kadar yang terdeteksi juga semakin besar. Besar volume maksimal aliran biogas bergantung pada besar diameter pipa dan panjang pipa output biogas yang digunakan pada saluran pipa dari reaktor.

Pada menit ke empat belas hingga menit ke delapan belas kadar H₂S yang terdeteksi konstan yaitu sebesar 19 ppm, hal ini juga sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Kadar CO₂ yang terdeteksi mengalami konstan selama sebelas menit, sedangkan kadar H₂S yang terdeteksi konstan selama empat menit yaitu dari menit keempat belas sampai menit ke delapan belas (gambar 4.2). Hal ini disebabkan oleh volume aliran pipa biogas pada output pipa tidak mengalami perubahan atau konstan sehingga kadar gas H₂S sebelum dipurifikasi juga konstan. Hal ini

menunjukkan bahwa volume aliran pipa biogas berpengaruh pada kadar gas yang terdeteksi. Kesimpulan tersebut diperkuat dengan hasil kadar H_2S pada menit ke sembilan belas yang mengalami penurunan sampai menit ke tiga puluh yaitu 18,9 ppm menjadi 17,6 ppm (lampiran). Semakin kecil laju aliran biogas pada pipa maka kadar H_2S yang terdeteksi juga semakin kecil. Pengukuran kadar H_2S sebelum dipurifikasi dilakukan selama tiga puluh menit karena kadar H_2S yang terdeteksi dari menit ke delapan belas sampai menit ke tiga puluh mendekati besar kadar H_2S pada menit pertama yaitu sebesar 17 ppm, sehingga dapat diasumsikan bahwa kadar H_2S sebelum dipurifikasi sebesar 17 ppm – 19 ppm.

4.3 Pengaruh CaO, NaOH Dan *Water Scrubber* Terhadap Purifikasi Gas CO_2

Pada penelitian ini, Purifikasi pada gas CO_2 dilakukan karena untuk membandingkan absorben mana yang paling efektif dalam mereduksi gas CO_2 dalam biogas. Hasil dari penelitian dengan menggunakan absorpsi NaOH, CaO dan air dalam purifikasi kadar CO_2 seperti yang di tunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Perbandingan kadar CO_2 sebelum dan sesudah dipurifikasi

Gambar 4.3 merupakan perbandingan hasil pemurnian kadar CO₂ dengan kadar CO₂ sebelum dipurifikasi. Grafik 4.3 (A) menjelaskan bahwa rata - rata kadar CO₂ sebelum dipurifikasi yang terdeteksi selama lima belas menit sebesar 15%, sedangkan pada grafik 4.3 (B) dijelaskan bahwa dari menit pertama sampai menit ke lima belas kadar CO₂ yang terukur mengalami perubahan yang begitu kecil yaitu 0,1%, hal ini disebabkan karena CaO yang digunakan sebagai absorben belum mengalami interaksi dengan gas CO₂ sehingga perubahan kadar yang terbaca pada alat ukur tidak mengalami perubahan yang cukup besar. Sedangkan gambar 4.3 (C) menunjukkan bahwa hasil pemurnian dengan menggunakan absorben NaOH, pada menit pertama sampai menit ke tiga mengalami kenaikan dan jumlah kadar yang terbaca tidak begitu besar yaitu 7,8%, 8,9% dan 11,7% (lampiran 9). Hal ini disebabkan karena volume biogas yang masuk kedalam kolom purifikasi belum stabil. Kolom purifikasi yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter 1,5 m dan tinggi kolom purifikasi 1,5 m. Biogas membutuhkan waktu untuk menempati kolom purifikasi tersebut sehingga bila biogas yang masuk dalam kolom purifikasi belum maksimal, maka biogas secara keseluruhan belum mengalami kontak dengan NaOH. Pada menit ke enam sampai menit ke lima belas kadar CO₂ yang terukur mengalami penurunan yang konstan dari 12 % menjadi 11,7 %. Penurunan kadar CO₂ yang terukur menunjukkan bahwa biogas sudah menempati kolom purifikasi sehingga seluruh biogas mengalami kontak dengan NaOH. Hasil pengukuran kadar CO₂ yang telah dipurifikasi menggunakan NaOH, kemudian di rata rata mulai dari menit pertama sampai menit kelima belas untuk di bandingkan dengan hasil kadar CO₂ sebelum dipurifikasi dengan menggunakan persamaan (1). Kadar rata - rata CO₂ sebelum dipurifikasi sebesar 15% sedangkan rata rata kadar CO₂ setelah dipurifikasi sebesar 11,35%. Hasil tersebut dimasukkan ke persamaan (1) sehingga menghasilkan penurunan kadar CO₂ sebesar 24,3 % dari rata rat kadar CO₂ sebelum dipurifikasi.

Pemurnian dengan menggunakan absorben air dengan metode *water scrubber*. Proses penyerapan biogas yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini adalah

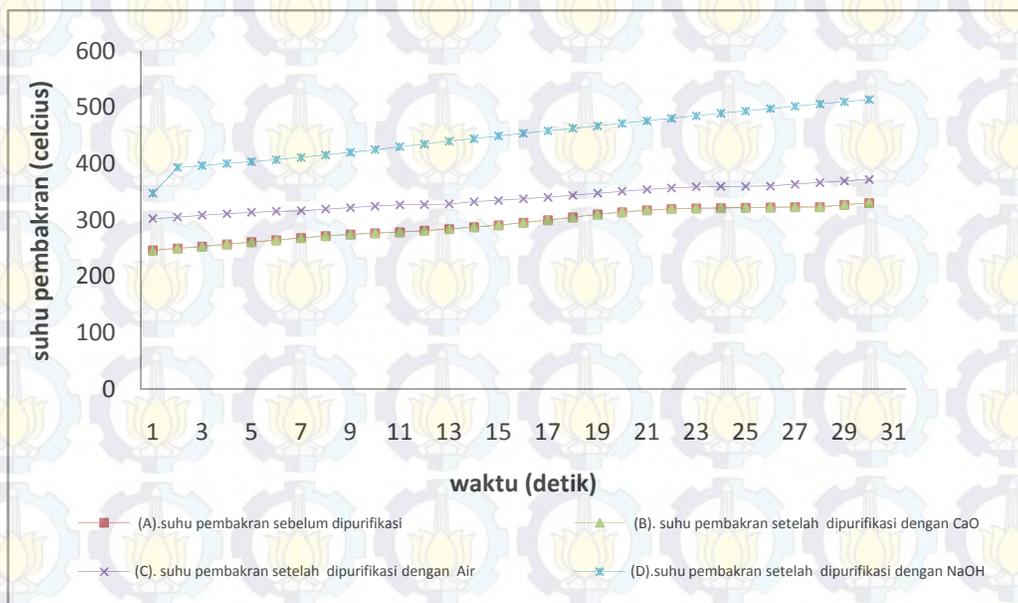
menggunakan air yang dialirkan melalui nozzle (gambar 3.2 (d)) kemudian biogas di alirkan ke bawah kolom purifikasi (gambar 3.2 (b)) dan berinteraksi dengan air. Hasil pemurnian menggunakan air ditunjukkan pada gambar 4.3 (D). Biogas yang terdeteksi pada menit pertama dan kedua masing – masing sebesar 1,5 % dan 3.3 %. Hal ini disebabkan karena volume biogas belum sepenuhnya menempati kolom purifikasi karena kolom purifikasi yang digunakan dalam penelitian ini cukup besar dengan besar diameter 1,5 meter dan tinggi kolom 1,5 meter, sehingga volume biogas memerlukan waktu untuk menempati kolom purifikasi tersebut. Berdasarkan gambar 4.3 (D) menunjukkan bahwa pemurnian kadar CO₂ dengan menggunakan air tidak mengalami begitu besar penurunan kadarnya yaitu 22,7 % dengan menggunakan persamaan (1) dari kandungan CO₂ sebelum di purifikasi yaitu 15 %, hal ini di sebabkan karena kelarutan gas CO₂ terhadap air tidak begitu besar, dimana ikatan antara dipole air dengan CO₂ terjadi tetapi tidak begitu besar, sehingga pemurnian gas untuk gas CO₂ dengan air tidak mengalami penurunan kadar yang begitu besar. berikut seperti yang di tunjukkan oleh tabel 4.1 rata rata kadar CO₂ setelah dipurifikasi dengan menggunakan CaO, NaOH dan air.

Tabel 4.1. Rata rata kadar CO₂ setelah dipurifikasi selama 15 menit

Kadar CO ₂ (%) sebelum di purifikasi	kadar CO ₂ (%) setelah di purifikasi dengan		
	Water scrubber	NaOH	CaO
15	11,6	11,3	15

Berdasarkan hasil tabel 4.1, purifikasi menggunakan NaOH memiliki kadar CO₂ sebesar 11,3% dan dengan menggunakan presentase penurunan kadar CO₂ seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) mengalami penurunan kadar sebesar 24,7%. Hal ini disebabkan karena NaOH merupakan basa kuat yang mampu berreaksi dengan gas tanpa dibutuhkan sebuah katalis yang membantu untuk mempercepat reaksi dengan bahan lain, dimana bila CO₂ bereaksi dengan NaOH akan membentuk Na₂CO₃ yang merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai proses netralisasi.

Purifikasi menggunakan air dapat mereduksi kadar CO_2 sebesar 11,6% dan dengan menggunakan presentase penurunan kadar CO_2 seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) mengalami penurunan kadar sebesar 22,4%. Penurunan kadar ini memang tidak begitu besar dalam mereduksi kadar CO_2 . Hal ini disebabkan Karena H_2S lebih tinggi dibandingkan dengan gas lain seperti CO_2 dan CH_4 , karena kelarutan H_2S dalam fase cair lebih tinggi dari CO_2 pada tekanan dan temperatur yang sama, sesuai dengan data eksperimen. H_2S memiliki momen dipol lebih dekat ke air, itulah sebabnya molekulnya lebih mudah larut. CO_2 bukan momen dipol tetapi memiliki quadrupole, sedangkan absorpsi dengan menggunakan absorben CaO dimenit pertama sampai menit ke lima belas mengalami perubahan yang tidak begitu besar dan hampir tidak mengalami perubahan kadar CO_2 . Hal ini di sebabkan hal ini disebabkan karena proses interaksi antara CaO dengan CO_2 tidak terjadi sehingga diperlukan bahan katalis yang mampu mempercepat reaksi antara CaO dengan CO_2 . Oleh karena itu pengukuran suhu pembakaran dilakukan untuk mengetahui benarkah CaO tidak berreaksi dengan gas CO_2 berdasarkan data pada tabel 4.1. Bila kandungan CO_2 berkurang maka kalor yang di hasilkan dalam biogas semakin tinggi, gambar 4.4 merupakan hasil pengukuran suhu pembakaran sebelum dan sesudah di purifikasi.



Gambar 4.4. Suhu pembakaran sebelum di purifikasi dan sesudah di purifikasi

Gambar 4.4 merupakan grafik perubahan suhu biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi berdasarkan waktu per detik. Lama pengukuran suhu ini dilakukan selama tiga puluh detik karena dalam waktu tiga puluh detik larutan NaOH sudah mencapai suhu paling tinggi yaitu mencapai 513,6 °C. Sedangkan suhu sebelum dilakukan purifikasi sebesar 246,4 °C sampai detik ke tiga puluh suhu mencapai 330,4 °C, jika dibandingkan dengan biogas yang dipurifikasi dengan CaO suhu pembakaran tidak mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa CaO belum berinteraksi dengan biogas, karena suhu pembakaran yang dihasilkan dengan penggunaan CaO memiliki nilai yang sama pada suhu pada gas sebelum dipurifikasi. Sedangkan jika CaO dilarutkan dalam air maka rata-rata suhu bahan bakar sebesar 337,5 °C dan mengalami kenaikan suhu sebesar 13,1 % dari suhu murni biogas, perhitungan kenaikan suhu ini menggunakan persamaan (1). Hal ini disebabkan karena air kapur mudah berreaksi dengan gas asam sehingga pereduksian gas terjadi, jika kadar gas CO₂ berkurang maka suhu pembakaran yang dihasilkan semakin besar sehingga di asumsikan bahwa jika suhu pembakaran yang dihasilkan semakin besar dalam waktu yang sama maka kadar CO₂ dalam biogas itu berkurang.

4.4. Pengaruh NaOH Dan *Water Scrubber* Terhadap Kadar H₂S

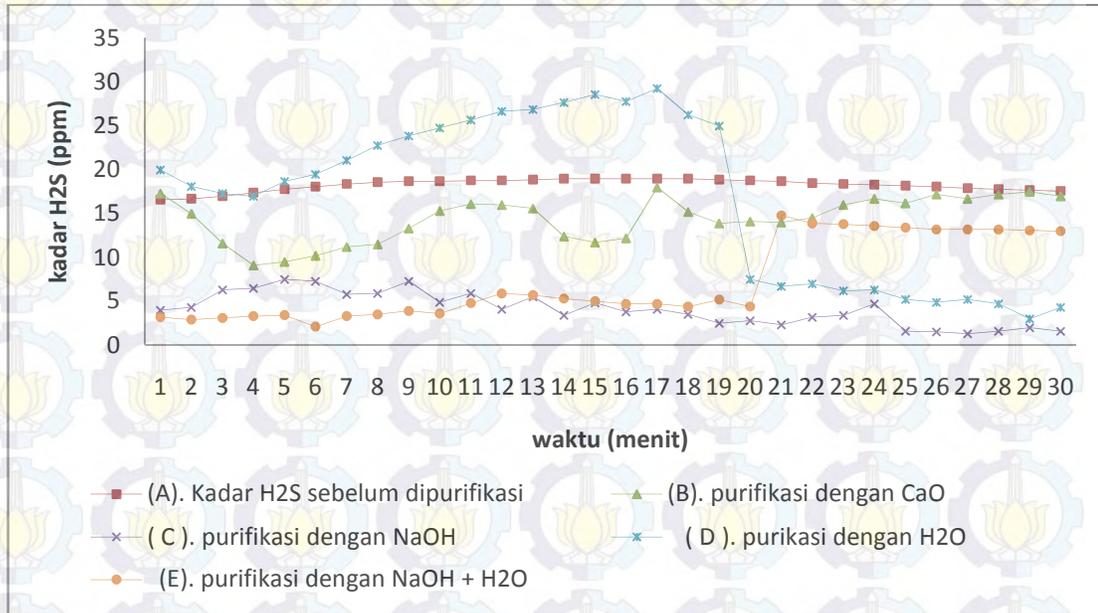
Hasil pemurnian kadar H₂S dengan menggunakan NaOH dan air seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Rata rata kadar H₂S setelah dipurifikasi selama 30 menit

Kadar H ₂ S sebelum dipurifikasi	Kadar H ₂ S sesudah dipurifikasi			
	Water scrubber	NaOH	CaO	NaOH +Air
18,28	16,94	4,11	14,4	7,25

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dihitung prosentasi penurunan kadar H₂S sebelum dipurifikasi dan sesudah dipurifikasi dengan menggunakan persamaan (1) dapat diketahui kemampuan NaOH dan air dalam mereduksi gas H₂S. Pemurnian dengan menggunakan *water scrubber* dapat mereduksi gas H₂S sebesar 7,3 % dari kadar H₂S sebelum di purifikasi yaitu 18,28%, sedangkan dengan menggunakan NaOH dapat mereduksi gas H₂S sebesar 77,5 % dari kadar H₂S sebelum di purifikasi dan jika

antara air dan NaOH di gabung dengan *water scrubber* dalam mereduksi gas H₂S maka penurunan kadar H₂S sebesar 60,3 %, sedangkan dengan menggunakan CaO dapat mereduksi sebesar 21,2 %. Pemurnian kadar gas H₂S di lakukan selama tiga puluh menit pada gambar 4.5 merupakan hasil perbandingan kadar H₂S sebelum dan sesudah dipurifikasi.



Gambar 4.5. Perbandingan kadar H₂S sebelum dan sesudah di purifikasi

Gambar 4.5 merupakan grafik perbandingan kadar H₂S sebelum dipurifikasi dengan kadar H₂S sesudah dipurifikasi, grafik 4.5 (A) kadar H₂S sebelum dipurifikasi dengan rata rata hasil pengukuran sebesar 18,28 ppm dalam waktu tiga puluh menit (lampiran 6 dan 7). Sedangkan pemurnian dengan menggunakan CaO seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.5 (B) dimenit pertama sampai menit kelima mengalami perubahan dari 17,3 ppm menjadi 9,5 ppm. Hal ini disebabkan karena kontak biogas dengan CaO terjadi sehingga penyerapan terjadi. Sedangkan pada menit keenam sampai menit kedua belas mengalami kenaikan kadar H₂S dari 10,2 ppm menjadi 16 ppm. Hal ini disebabkan karena laju aliran biogas dalam kolom purifikasi belum konstan sehingga penyerapan yang terjadi dengan absorben CaO berubah ubah. Begitu juga hasil pengukuran kadar H₂S pada menit ketiga belas sampai menit ke

enam belas mengalami kenaikan dan di menit ketuju belas mengalami kenaikan sebesar 18 ppm. Kemudian di menit kedelapan belas sampai menit kedua puluh mengalami penurunan kadar H_2S . Hal ini disebabkan karena aliran biogas dalam biogas tidak konstan sehingga penyerapan dengan absorben CaO juga tidak konstan, laju aliran dalam kolom purifikasi ini disebabkan karena masih ada kebocoran dalam kolom purifikasi sehingga masih ada biogas yang terbuang keluar, sehingga volume biogas dalam kolom purifikasi berkurang.

Sedangkan purifikasi menggunakan air, pada grafik 4.5 (D) merupakan purifikasi menggunakan air, pada menit pertama sampai ke delapan belas kadar yang terbaca cukup besar. Hal ini disebabkan karena kevakuman pada alat purifikasi kurang baik sehingga masih terjadi kebocoran dan juga disebabkan karena diameter (15 cm) alat purifikasi terlalu besar. Sehingga biogas memerlukan waktu dalam menempati ruang kolom purifikasi tersebut, sehingga laju aliran yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini terlihat di menit ke dua puluh kadar H_2S yang terukur mengalami penurunan ini membuktikan bahwa biogas sudah menempati ruang purifikasi sehingga proses penyerapan terjadi atau kontak antara air dengan biogas terjadi. Kelarutan air dengan H_2S lebih larut dalam air karena dipol yang lebih tinggi dibandingkan dengan CO_2 , dan momen dipol H_2S saat dekat dengan air, sehingga ikatan air dengan H_2S yang lebih besar. Dipole adalah kekuatan tarik menarik antara molekul polar dengan molekul polar positif negatif, oleh sebab itu penurunan kadar H_2S lebih tinggi dibandingkan penurunan kadar CO_2 dengan menggunakan air dimana jika kadar H_2S dimurnikan dengan air mampu mereduksi sampai mencapai 16,94 ppm atau setara dengan 0,0016% (tabel 4.2). Sedangkan penurunan kadar CO_2 dengan menggunakan air mampu mereduksi sampai mencapai 11,6 % (tabel 4.1).

Berdasarkan gambar 4.5 hasil pemurnian dengan menggunakan $NaOH$ dan air seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.5 (E) dari menit pertama sampai menit ke Sembilan belas kadar H_2S yang terbaca konstan dan tidak mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena biogas yang mengalir dalam kolom purifikasi sudah stabil sehingga kontak antara $NaOH$ dengan gas H_2S terjadi dan kadar yang

terukur juga konstan, tetapi di menit kedua puluh sampai menit ketiga puluh kadar H_2S mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena absorben NaOH mengalami kejenuhan terlihat dari perubahan warna kekuningan pada NaOH yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. (a) NaOH sebelum dipurifikasi dan (b) NaOH sesudah di purifikasi

Perubahan warna NaOH ini disebabkan karena interaksi gas CO_2 maupun gas H_2S selama 75 menit, dimana mekanisme pengukuran kadar CO_2 maupun H_2S saat dipurifikasi dengan menggunakan absorben NaOH. Lima belas menit digunakan untuk mereduksi kadar CO_2 , enam puluh menit digunakan untuk mereduksi kadar H_2S , sehingga total waktu NaOH dalam mereduksi gas asam tersebut selama 75 menit. Massa NaOH yang digunakan adalah 2 ons, hal ini berdasarkan dari volume tray trap yang di gunakan sebagai tempat absorben, dimana pengukurannya berdasarkan tinggi tray trap dan diameter tray trap perhitungan massa absorben ini berada pada tabel 3.3 dan tabel 3.4. NaOH yang berubah warna terjadi karena reaksi kimia antara CO_2 atau H_2S , dimana proses reaksinya adalah NaOH diletakkan dibagian atas menara dekat output kolom purifikasi sedangkan gas CO_2 atau H_2S diumpankan dari bawah menara agar terjadi kontak dengan NaOH. Reaksi NaOH dengan CO_2 menghasilkan Na_2CO_3 seperti pada persamaan (4) dan jika bereaksi dengan H_2S menghasilkan seperti pada Na_2S persamaan (5). Kedua reaksi tersebut menghasilkan warna kuning karena masing-masing mengandung oksigen dan sulfur, dimana sulfur dan oksigen ini yang menyebabkan korosi.

Hasil pemurnian menggunakan NaOH yang digabung dengan air yang menggunakan metode *water scarruber*. Air disemprotkan seperti spray yang terletak di bagian tengah menara purifikasi sedangkan NaOH diletakkan di bagian atas

menara dan gas H_2S diumpankan dari bawah kolom purifikasi menghasilkan pereduksian gas H_2S sebesar 7,25 ppm selama tiga puluh menit dan rata rata penurunan kadar H_2S sebesar 60,3% dari kadar H_2S sebelum dipurifikasi. Perhitungan ini berdasarkan pada tabel 4.2 dengan menggunakan persamaan (1).

Purifikasi dengan menggunakan air untuk mereduksi gas CO_2 atau H_2S dalam biogas ini bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor dalam bahan bakar serta untuk mengurangi korosi pada pelaratan. Purifikasi biogas dengan air ini menggunakan metode water scrubber dan jenis water scrubber pada tabel 2.3. Volume air yang digunakan adalah 15 liter, hal ini berdasarkan dari kapasitas dari wadah tangki air pada alat purifikasi (gambar 3.1 no 15), dimana tangki di lengkapi dengan pipa aliran air yang memiliki diameter 0,8 cm dan tiap menitnya volume yang mengalir pada pipa itu sebesar 0.002 cm^3 . Air sebanyak 15 liter digunakan untuk mereduksi gas CO_2 selama lima belas menit dan enam puluh menit digunakan untuk mereduksi gas H_2S , sehingga total waktu air dengan volume 15 liter ini adalah 75 menit, dimana selama 75 menit ini air yang awalnya jernih berubah menjadi keruh dan berwarna kekuningan seperti pada gambar 4.7



Gambar 4.7. Air sebelum dan sesudah di purifikasi

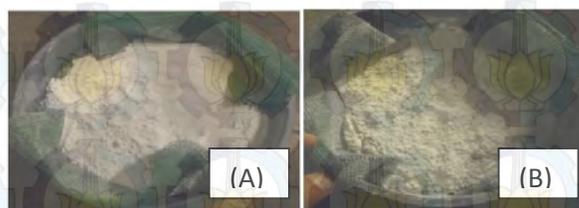
Air yang mengalami perubahan warna kekuningan seperti pada gambar 4.7 disebabkan karena air yang bereaksi dengan H_2S membentuk HS (hidrogen sulfida), persamaan (3) merupakan proses reaksi yang terjadi antara H_2S dengan air. Dimana hidrogen sulfida ini merupakan asam lemah yang dapat menyebabkan korosi. Sehingga air yang awalnya jernih menjadi kekuning - kuningan akibat adanya

hidrogen sulfida yang larut dalam air. Perubahan warna pada air selain disebabkan adanya hidrogen sulfida yang terlarut, disebabkan juga karena adanya asam karbonat (HCO_3) reaksinya pada persamaan (4). Kehadiran asam karbonat ini dapat menyebabkan korosi sehingga warna air menjadi kekuning – kuningan seperti warna korosi pada peralatan. Banyaknya volume biogas yang digunakan untuk mereduksi gas CO_2 atau H_2S ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. volume biogas untuk mereduksi gas asam

Absorben	Mereduksi selama	skala manometer turun	Diameter manometer	volume biogas (cm^3)
Air	75 menit	5 cm	0,4 cm	0,6
CaO	45 menit	3 cm	0,4 cm	0,4
NaOH	75 menit	5 cm	0,4 cm	0,6

Tabel 4.3 merupakan hasil dari perhitungan volume biogas yang digunakan untuk mereduksi kadar gas CO_2 atau H_2S , dimana NaOH yang digunakan sebanyak 2 ons mampu mereduksi gas CO_2 atau H_2S selama 75 menit, sehingga volume biogas yang digunakan untuk mereduksi gas CO_2 atau H_2S sebanyak $0,6 \text{ cm}^3$ setara dengan 6×10^{-4} liter, perhitungan volume biogas untuk mereduksi gas CO_2 atau H_2S menggunakan persamaan (2). Sedangkan air memerlukan volume yang sama dengan absorben NaOH yaitu $0,6 \text{ cm}^3$ dan absorben CaO lebih kecil yaitu sebanyak $0,4 \text{ cm}^3$ volume biogas yang digunakan sebagai pemurnian biogas, hal ini disebabkan karena air dalam tangki kolom purifikasi sudah berubah warna sehingga kombinasi CaO dengan water scrubber tidak dilakukan. Sedangkan dari hasil pemurnian ini CaO tidak mengalami perubahan, gambar 4.8 merupakan CaO yang digunakan sebelum dan sesudah dipurifikasi.



Gambar 4.8 (A) CaO sebelum dan (B) sesudah purifikasi.

Berdasarkan gambar 4.8 CaO yang digunakan tidak tampak mengalami perubahan sama sekali, hal ini disebabkan karena CaO belum berreaksi dengan gas asam seperti CO₂ dan H₂S. oleh karena itu konsentrasi CO₂ yang dihasilkan dengan menggunakan CaO tidak mengalami penurunan kadar sebesar yang di hasilkan oleh NaOH dan air. Hal ini disebabkan karena CaO tidak reaktif oleh karena itu diperlukan sebuah katalis yang bisa mempercepat reaksi antara CaO dengan CO₂.

Absorben CaO yang digunakan untuk mereduksi gas CO₂ atau H₂S adalah kapur yang banyak di jual di pasaran yang berbentuk serbuk. Pemilihan kapur yang berbentuk serbuk ini bertujuan agar interaksi gas dengan kapur semakin baik. Tetapi dalam penelitian ini, CaO tanpa katalis tidak mampu mereduksi CO₂, sehingga mengalami penurunan kadar CO₂ sebesar 0,1 %. Sedangkan CaO dapat mereduksi H₂S sebesar 21,2 % berdasarkan persamaan (1).

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan NaOH dalam mereduksi gas CO₂ dengan menggunakan NaOH mencapai 24,3 %, sedangkan dengan Water Scrubber mencapai 21,2 % dan penyerapan menggunakan CaO mencapai 0,1%.
2. Berdasarkan hasil disimpulkan bahwa absorben yang paling efektif dalam mereduksi gas CO₂ maupun H₂S adalah NaOH, tetapi absorben NaOH dalam mereduksi gas CO₂ maupun H₂S cukup singkat selama 745 menit, dengan massa absorben yang digunakan sebesar 2 ons.
3. Absorben yang kurang efektif dalam mereduksi gas CO₂ maupun H₂S adalah CaO, karena penurunan kadar tidak cukup besar. Hal ini disebabkan karena CaO belum sepenuhnya berreaksi dengan gas CO₂ maupun H₂S.
4. Volume yang diperlukan dalam mereduksi gas CO₂ maupun H₂S dalam waktu 75 menit sebanyak 6×10^{-4} liter.

5.2 SARAN

1. Dalam mereduksi gas seperti CO_2 dan H_2S dengan menggunakan water scrubber adalah kevakuman pada alat harus tinggi sehingga kebojoran kecil terjadi. Jika kebojoran pada alat purifikasi kecil terjadi maka penyerapan antara CO_2 dan H_2S dengan absorbent semakin besar sehingga kadar CO_2 dan H_2S yang tereduksi juga semakin besar.
2. Volume water scrubber yang 6 dm lebih di perkecil sehingga proses penyerapan biogas yang terjadi tidak begitu lama
3. Pendesainan Water Scrubber lebih di fleksibel kan sehingga penggunaan dan aplikasinya lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrakhman Arief, (2013). *Rancang Bangun Alat Purifikasi Biogas Dengan Menggunakan Cao Dan Water Scrubber*. Magister Teknik Fisika, Teknologi Industry, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bagudo B.U, B. Garba, S.M. Dangoggo and L.G.Hassan. *The Qualitative Evaluation Of Biogas Samples Generated From Selected Organic Wastes*. Archives Of Applied Science Research, 2011; 5: 549 – 555.
- Boonya Charnnok, Thunwadee Suksaroj, Piyarat Boonswang, Sumate Chaiprapat. *Oxidation Of Hydrogen Sulfide In Biogas Using Dissolved Oxygen In The Extreme Acidic Biofiltration Operation*. Bioresource Technology, 2013; 131: 492–499.
- Cherosky Phil, Yebo Li. *Hydrogen Sulfide Removal from biogas by bio – based iron sponge*. Biosystems Engineering, 2013; 114: 55 – 59.
- Gevantman L.H.Solubility of Selected Gases in Water. <http://pdf.travel4.org/s/standard-specification-for-welded-austenitic-stainless-w25983>. Taken on Aug 10th 2014 at 3:32 AM.
- Hernandez Sanchez E.P, P Weilad, R.Borja. *The Effect Of Biogas Sparging On Cow Manure Characteristics And Its Subsequent Anaerobic Biodegradation*. International Biodeterioration & Biodegradation, 2013; 83:10 – 16.
- Krischan J, A. Makaruk, M.Harasek. *Design And Scale-Up Of An Oxidative Scrubbing Process For The Selective Removal Of Hydrogen Sulfide From Biogas*. Journal of Hazardous Materials, 2012; 215 -216: 49 – 56.
- Lau.C.S, A.Tsolakis, M.L.Wyszynski. *Biogas upgrade to Syn – Gas (H_2 – CO) Via dry and Oxidative Reforming*. International Journal of Hydrogen Energy, 2011;36:397 – 404.
- Lien Cheng – Chang, Jeng – Lian Lin, Ching – Hua Ting. *Water Scrubbing For Removal Of Hydrogen Sulfide (H_2S) In Biogas From Hog Farms*. Journal Of Agricultural Chemistry And Environment, 2014; 3: 1 – 6.
- Maizonnasse Mark, Jean - Sébastien Plante, David Oha, Claude B. Laflammeb. *Investigation Of The Degradation Of A Low-Cost Untreated Biogas Engine*

Using Preheated Biogas With Phase Separation For Electric Power Generation. Renewable Energy, 2013;55: 501 – 513.

Mulato, S. (2013). *Biogas*. Lecture handout : Technology of Renewable Energy. Institute of Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.

Ning Ping, Fenrong Li, Honghong Yi, Xiaolong Tang, Jinhui Peng, Yundong Li, Dan He, Hua Deng. *Adsorption Equilibrium Of Methane And Carbon Dioxide On Microwave – Activated Carbon.* Separation and Purification Technology, 2012; 98: 321 – 326.

Olugasa.Temilola T, I.F.Odesola, M.O.Oyewola. *Energy Production From Biogas:A Conceptual Review For Use In Nigeria.* Renewable And Sustainable Energy Reviews, 2014; 32:770 – 776.

Rendon RL, Alexandre J. *Moleculer Dynamics Simulations of the Solubility of H₂S and CO₂ in Water.* J. Mex. Chem. Soc.2008;52(1):88 – 92.

Richard J.Ciotola, Stephanie Lansin, Jay F, Martina. *Energy Analysis of Biogas Production and Elektricity Generation from Small-scale Agricultural Digester.* Ecological Engineering, 2011;37: 1681– 1691.

Rongwong Wichitpan, Somnuk Boributh, Suttichai Assabumrungrat, Navadol Laosiripojana, Ratana Jiraratananon. *Simultaneous Absorption Of CO₂ And H₂S From Biogas By Capillary Membrane Contactor.* Journal Of Membrane Science, 2012; 392 – 393: 38 – 47.

Rongwonga Wichitpan, Somnuk Boributha, Suttichai Assabumrungratb, Navadol Laosiripojanac,, Ratana Jiraratananona. *Simultaneous Absorption Of CO₂ And H₂S From Biogas By Capillary Membrane Contactor.* Journal of Membrane Science, 2012; 393:38 - 47.

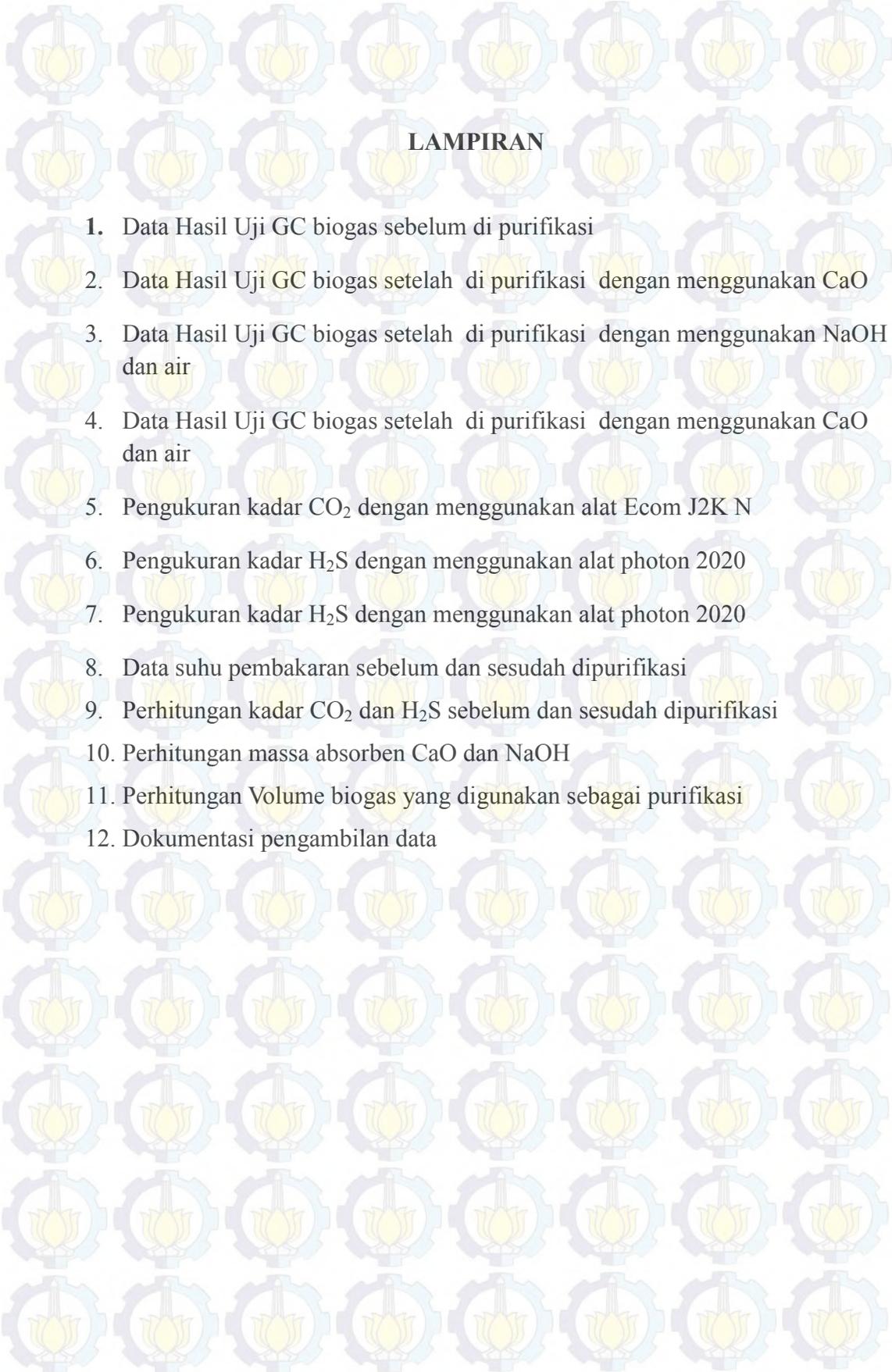
Rostika Rufaida Nur, (2011). *Biofiksasi CO₂ Oleh Mikroalga Chlamydomonas Sp Untuk Pemurnian Biogas.* Megister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro Semarang.

Saenz – Ramirez.D, P.B.Zarate – Segura, C.Guerrero-Barajas,E.I.Garcia-Pena. *H₂S And Volatile Fatty Acids Elimination By Biofiltration:Clean – Up Process For Biogas Potential Use.* Journal of Hazardous Material, 2009;163:1272 – 1281.

Tippayawong, N., P. Thanompongchart. *Biogas Quality Upgrade By Simultaneous Removal Of CO₂ And H₂S In A Packed Column Reactor*. Energy, 2010; 35: 4531 – 4535.

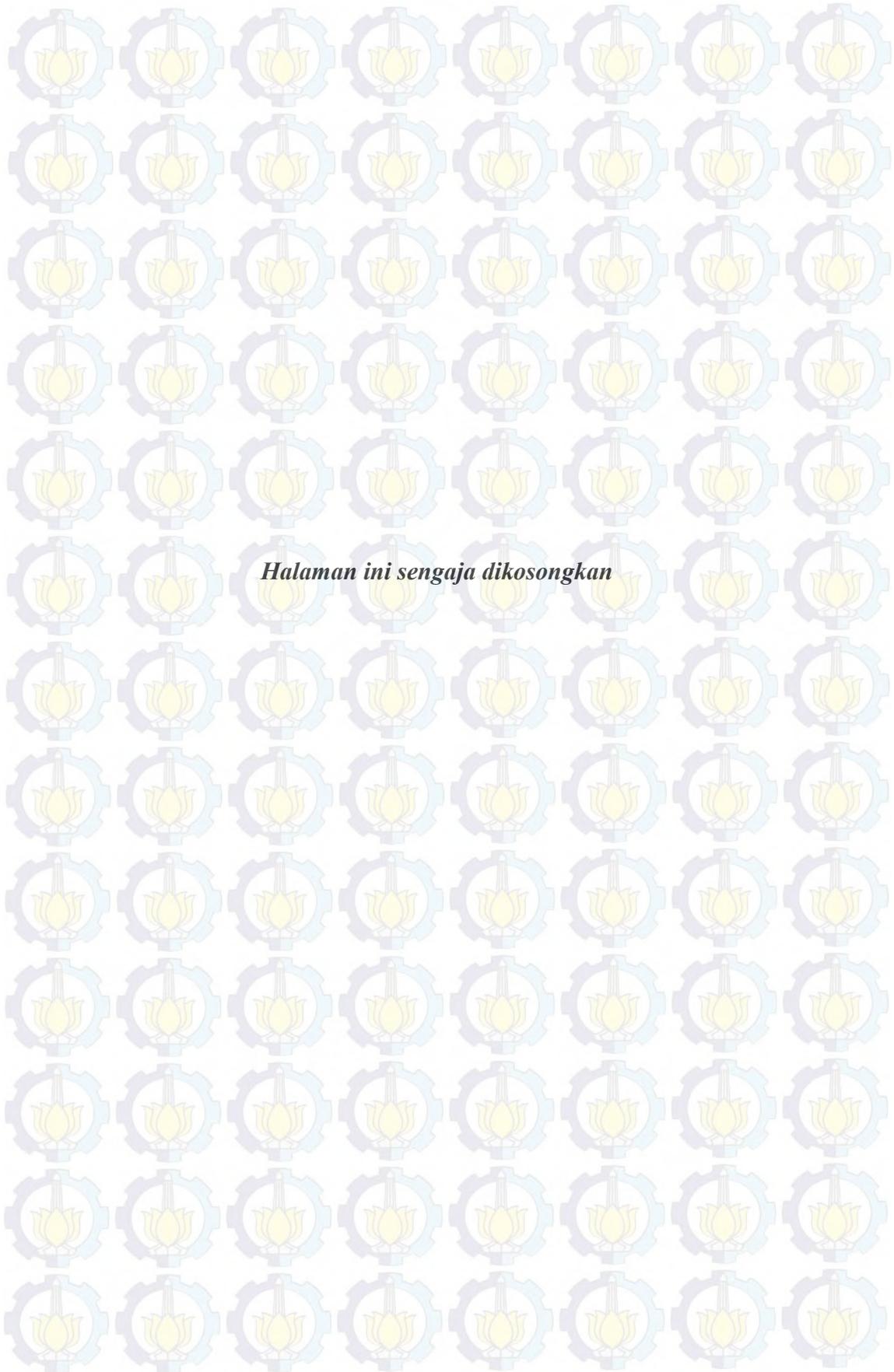
Truong L.V.-A, N. Abatzoglou. *A H₂S Reactive Adsorption Process For The Purification Of Biogas Prior To Its Use As Abioenergy Vector*. Biomass and Bioenergy, 2005; 29:142 – 151.

Yan Cheng, Li Zhang, Xingzhang Luo, Zheng Zheng. *Influence Of Influent Methane Concentration On Biogas Upgrading And Biogas Slurry Purification Under Various LED (Ling-Emitting Diode) Light Wavelengths Using Chlorella Sp.* Energy, 2014; 69: 419 – 426.



LAMPIRAN

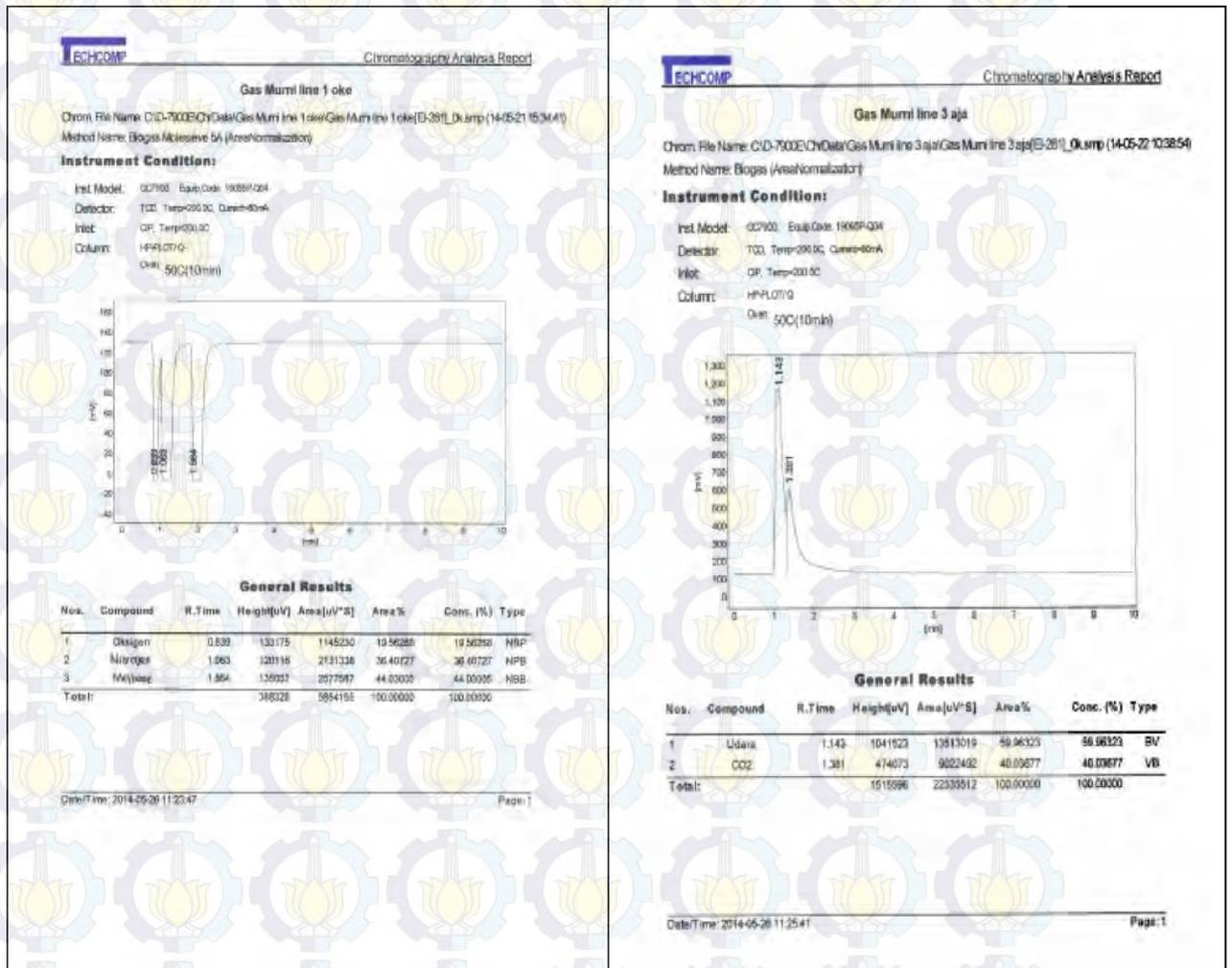
1. Data Hasil Uji GC biogas sebelum di purifikasi
2. Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan CaO
3. Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan NaOH dan air
4. Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan CaO dan air
5. Pengukuran kadar CO₂ dengan menggunakan alat Ecom J2K N
6. Pengukuran kadar H₂S dengan menggunakan alat photon 2020
7. Pengukuran kadar H₂S dengan menggunakan alat photon 2020
8. Data suhu pembakaran sebelum dan sesudah dipurifikasi
9. Perhitungan kadar CO₂ dan H₂S sebelum dan sesudah dipurifikasi
10. Perhitungan massa absorben CaO dan NaOH
11. Perhitungan Volume biogas yang digunakan sebagai purifikasi
12. Dokumentasi pengambilan data

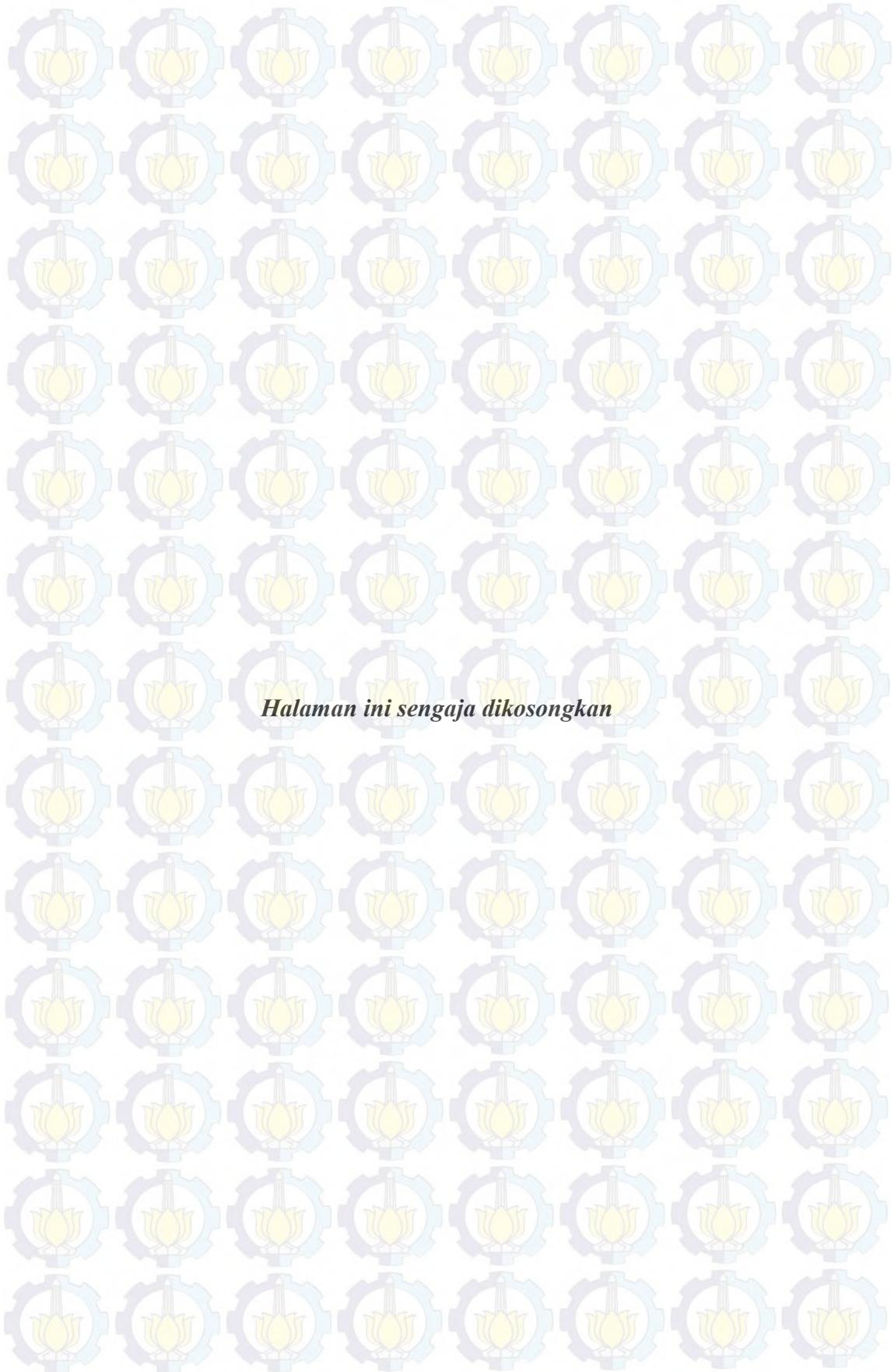


Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1

Data Hasil Uji GC biogas sebelum di purifikasi

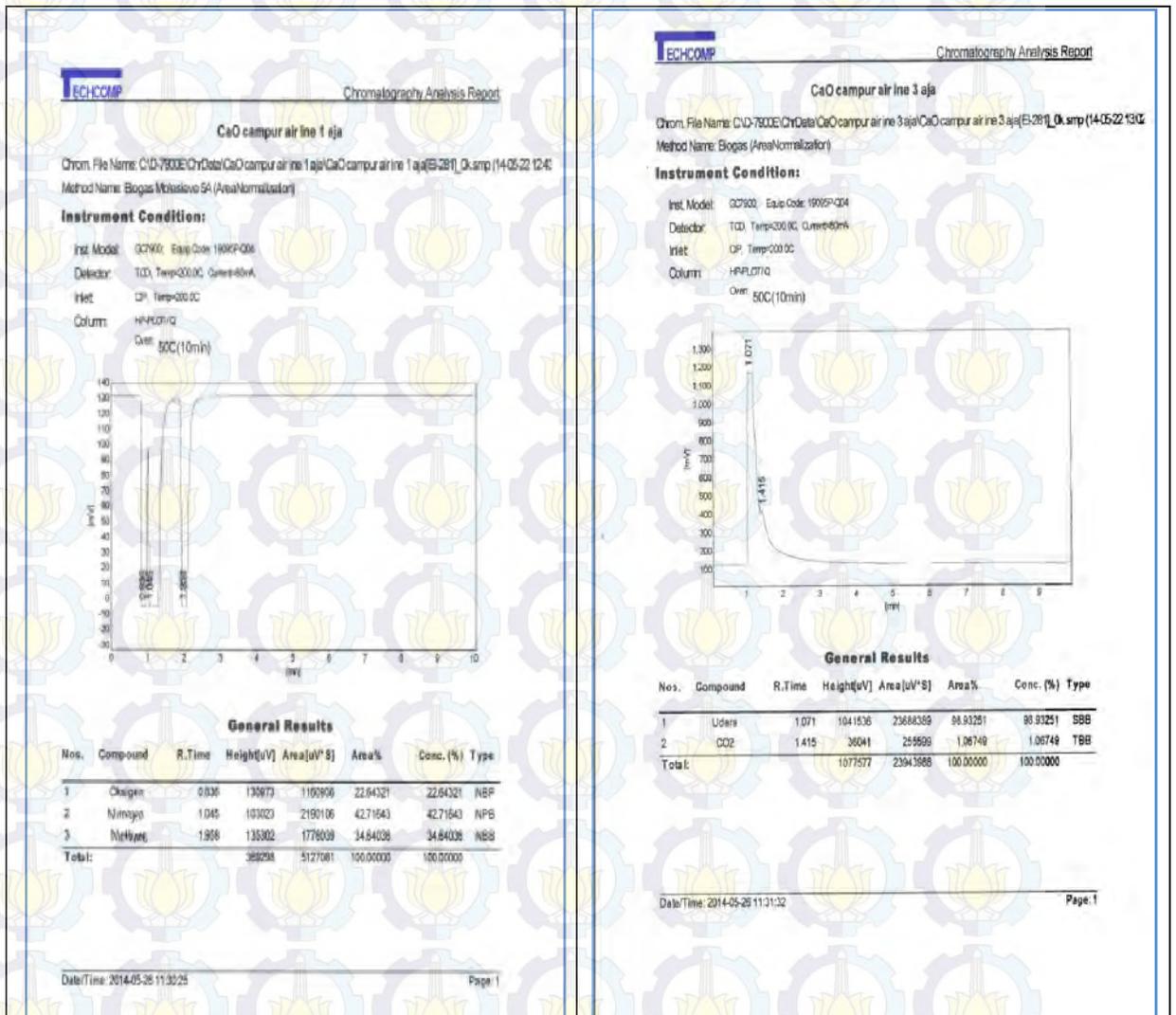




Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 2

Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan CaO

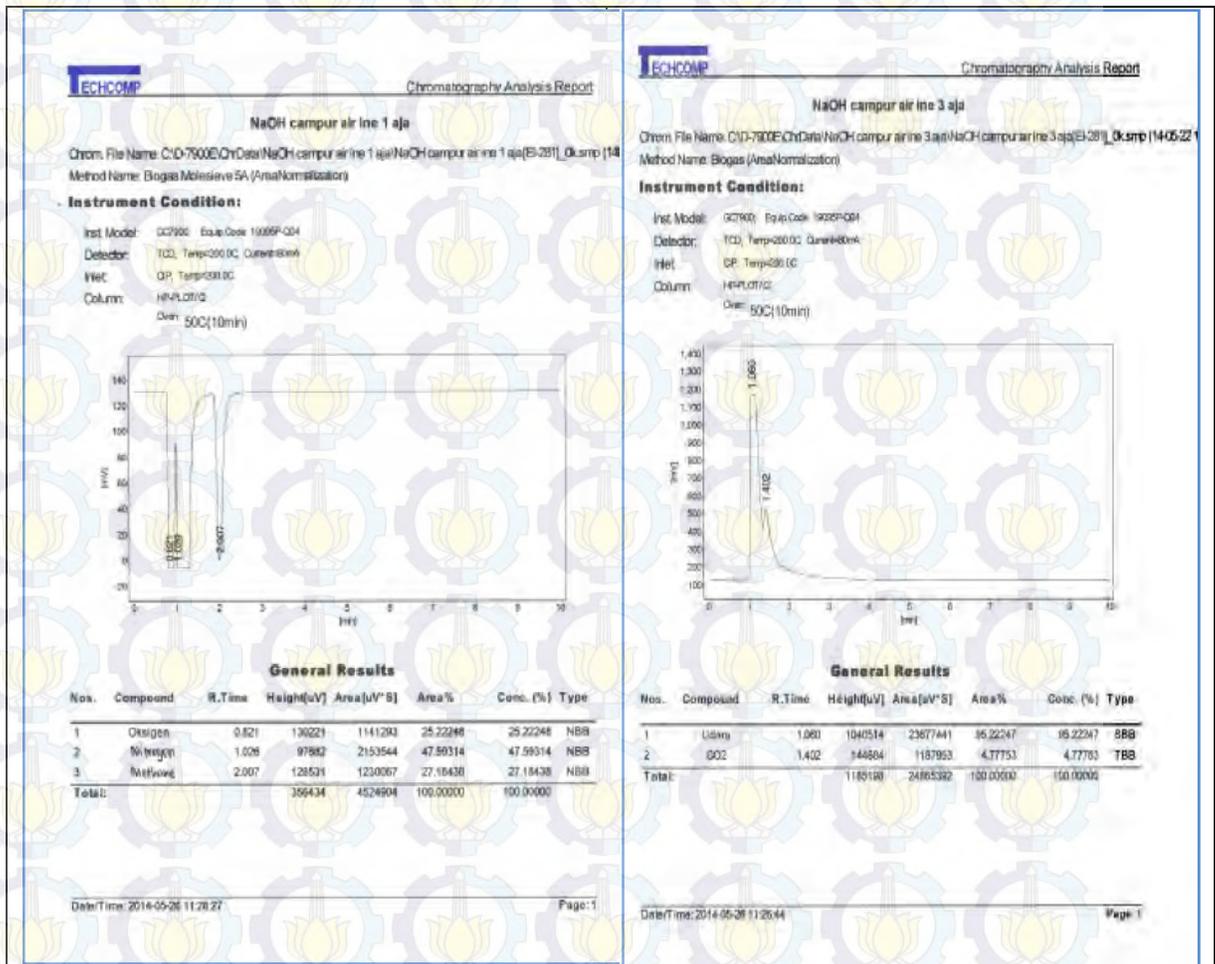


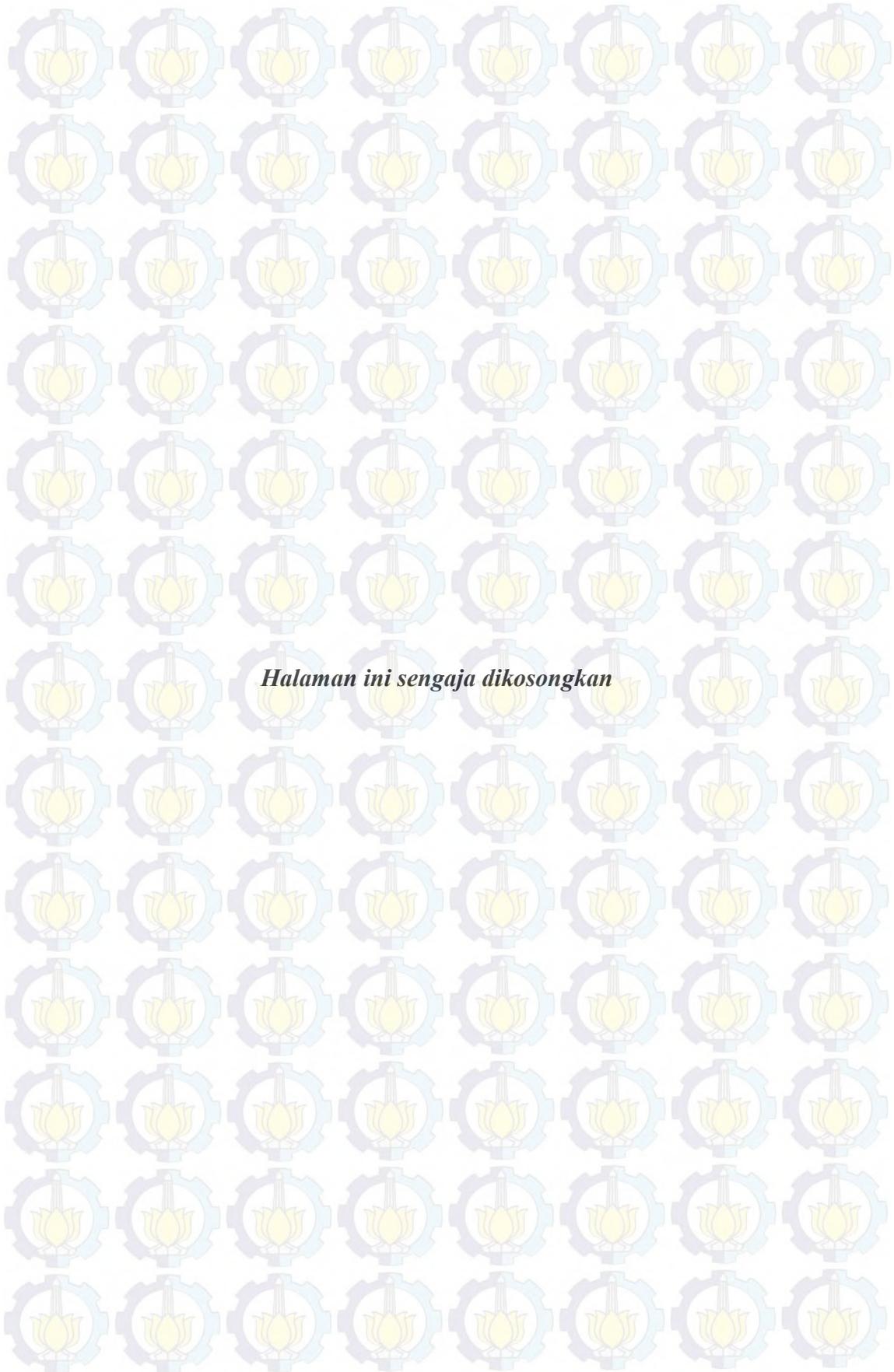


Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 3

Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan NaOH dan air



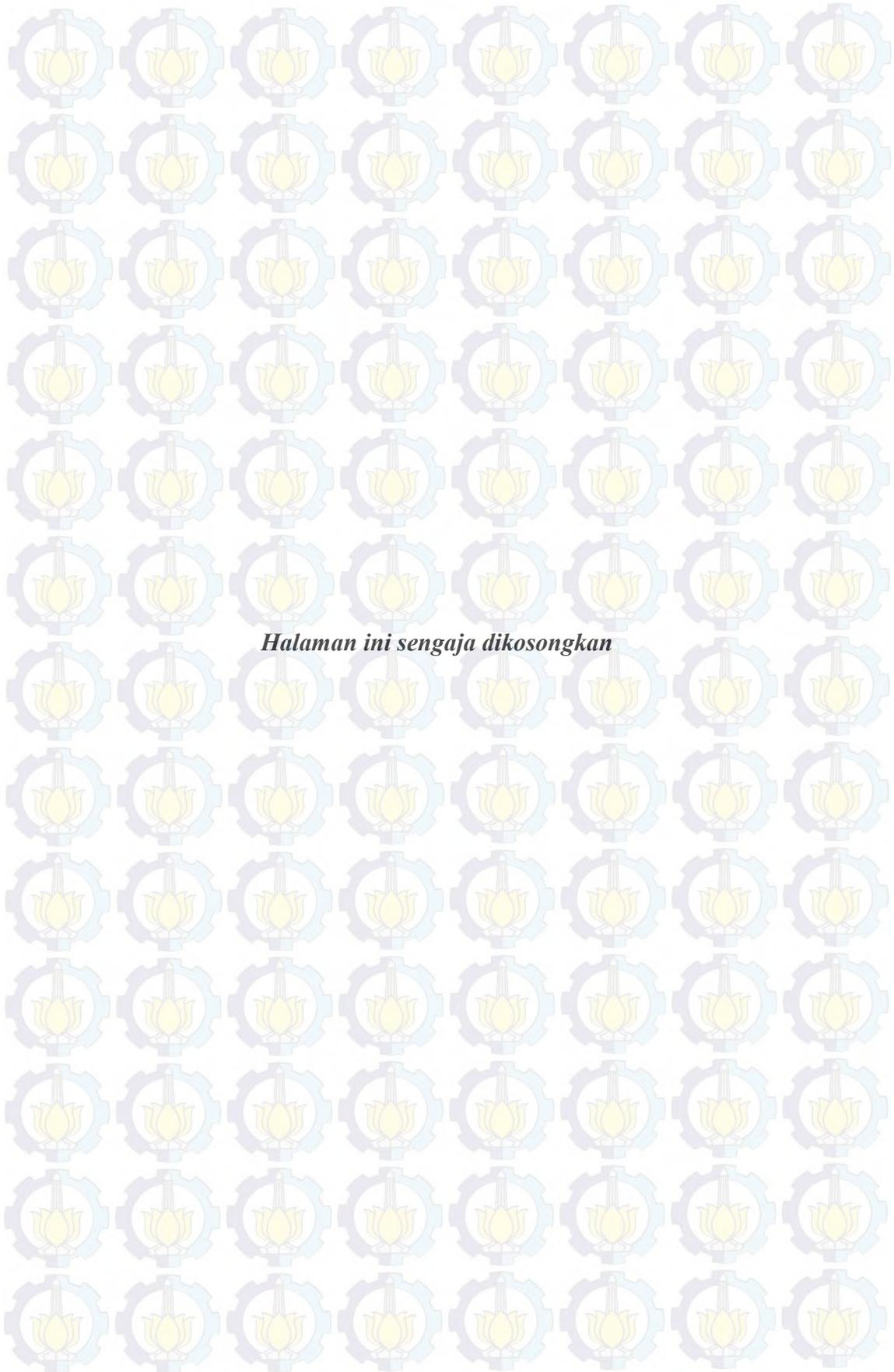


Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 4

Data Hasil Uji GC biogas setelah di purifikasi dengan menggunakan CaO dan air





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 6

Pengukuran kadar H₂S dengan menggunakan alat photon 2020



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
 Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp: 031-5953759, 5936940, Fax: 031-5953759 PABX: 1404, 1405
<http://www.lppm.its.ac.id>

DATA ANALISA GAS

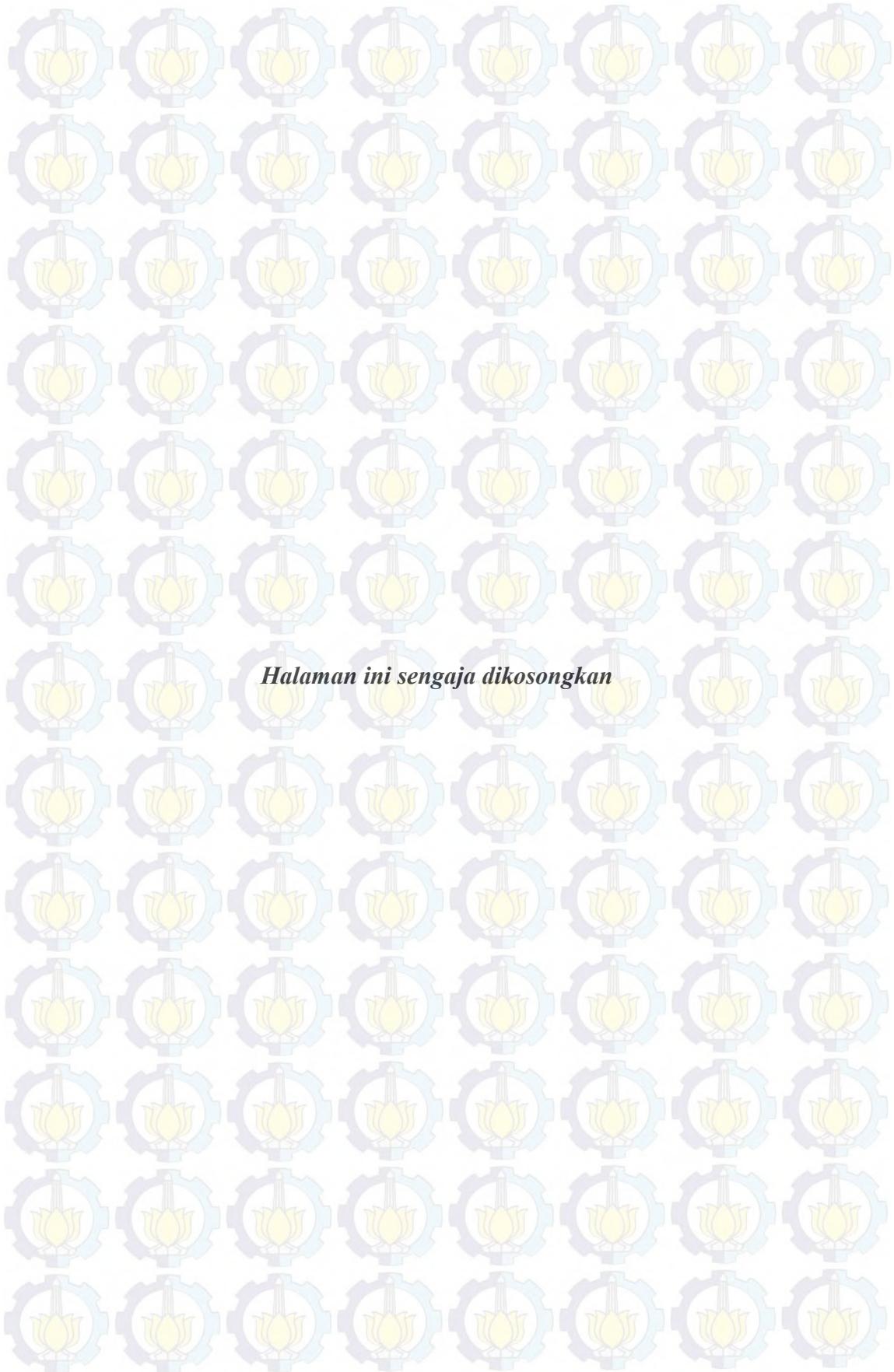
Nomor Laboratorium : 0004-BA/AV/2014
 Mekanik Perantara : Muliakhi (Tubuh Pabrik ITS)

NO	NO SAMPLE	NAMA SAMPLE	HASIL PENGUJIAN			
			Waktu (Mn)	H ₂ S (ppm)	Waktu (Mn)	H ₂ S (ppm)
1	05/AN/2014	41	1	18.2	20	22.8
			2	18.2	21	22.8
			3	17.6	20	19.2
			4	17.1	20	18.8
			5	17.6	20	18.8
			6	18.1	21	19.2
			7	17.6	21	19.2
			8	18.1	24	20.8
			9	18.1	28	20.8
			10	18.6	28	21.2
			11	18.6	31	19.2
			12	18.6	28	19.2
6	06/AN/2014	001 - METALCO	1	20.0	28	27.8
			2	18.1	21	20.8
			3	17.1	21	20.8
			4	17.6	24	25.2
			5	18.1	26	27.8
			6	18.6	28	27.8
			7	18.1	31	27.8
			8	18.6	34	27.8
			9	18.6	28	27.8
			10	18.6	28	27.8
			11	18.6	28	27.8
			12	18.6	28	27.8
7	07/AN/2014	001 - LK20	1	17.1	18	18.8
			2	17.6	19	18.8
			3	17.6	18	18.8
			4	17.1	18	18.8
			5	18.6	21	18.8
			6	18.6	21	18.8
			7	18.6	21	18.8
			8	18.6	21	18.8
			9	18.6	21	18.8
			10	18.6	21	18.8
			11	18.6	21	18.8
			12	18.6	21	18.8

PETUNJUK :
 Hasil analisa ini mengacu pada sampel yang diterima Laboratorium Pusat Studi Lingkungan Hidup LPPM-ITS dan tidak dapat dipertanggungjawabkan oleh hasil ini.

Surabaya, 08 APR 2014
 Kepala Lab. Lingkungan

 Dr. Wahsanul, ST, M
 NID. 1815 0308 2001 122 000



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 7

Pengukuran kadar H₂S dengan menggunakan alat photon 2020



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
 Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp: 031-5953759, 5936946, Fax: 031-5953759 PABX: 1404, 1405
 http://www.lppm.its.ac.id

DATA ANALISA GAS

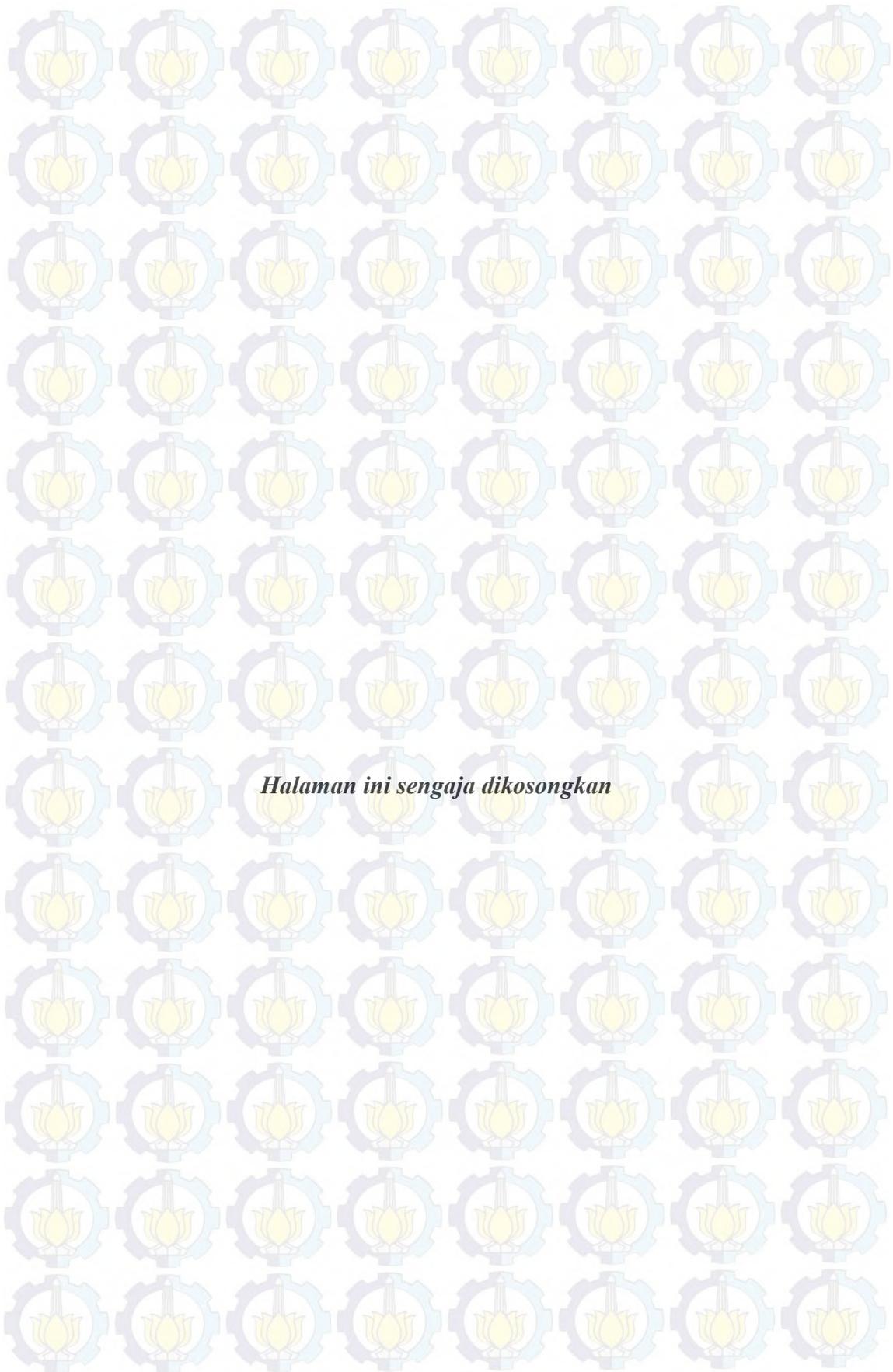
Nama Laminasi : 0004/04/2014
 Nama Pemilik : Muldabat (Toko-Faski ITB)

NO	NO SAMPLE	NAMA SAMPLE	HASIL PENGUKURAN			
			Waktu (Men)	H ₂ S (ppm)	Waktu (Men)	H ₂ S (ppm)
1	0004/04/2014	GAS HAMBU	1	0,0	10	0,0
			2	0,0	10	0,0
			3	0,0	10	0,0
			4	0,0	10	0,0
			5	0,0	10	0,0
			6	0,0	10	0,0
			7	0,0	10	0,0
			8	0,0	10	0,0
			9	0,0	10	0,0
			10	0,0	10	0,0
			11	0,0	10	0,0
			12	0,0	10	0,0
2	0004/04/2014	GAS DOKH-HUC	1	0,0	10	0,0
			2	0,0	10	0,0
			3	0,0	10	0,0
			4	0,0	10	0,0
			5	0,0	10	0,0
			6	0,0	10	0,0
			7	0,0	10	0,0
			8	0,0	10	0,0
			9	0,0	10	0,0
			10	0,0	10	0,0
			11	0,0	10	0,0
			12	0,0	10	0,0
3	0004/04/2014	GAS DOKH-HUC	1	0,0	10	0,0
			2	0,0	10	0,0
			3	0,0	10	0,0
			4	0,0	10	0,0
			5	0,0	10	0,0
			6	0,0	10	0,0
			7	0,0	10	0,0
			8	0,0	10	0,0
			9	0,0	10	0,0
			10	0,0	10	0,0
			11	0,0	10	0,0
			12	0,0	10	0,0

KETERANGAN :
 Hasil pengukur ini mengacu pada standar yang ditetapkan Laboratorium Pusat Studi
 Lingkungan Hidup LPPM - ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Surabaya, 04 APR 2014
 Kepala Lab. Lingkungan

[Signature]
 Dr. Widhiastuti, ST, MT
 NIP. 1975 0304 2002 227002



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 5

Pengukuran kadar CO₂ dengan menggunakan alat Ecom J2K N



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
 Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp: 031-5953759, 5936940, Fax: 031-5953759 PABX: 1404, 1405
<http://www.lppm.its.ac.id>

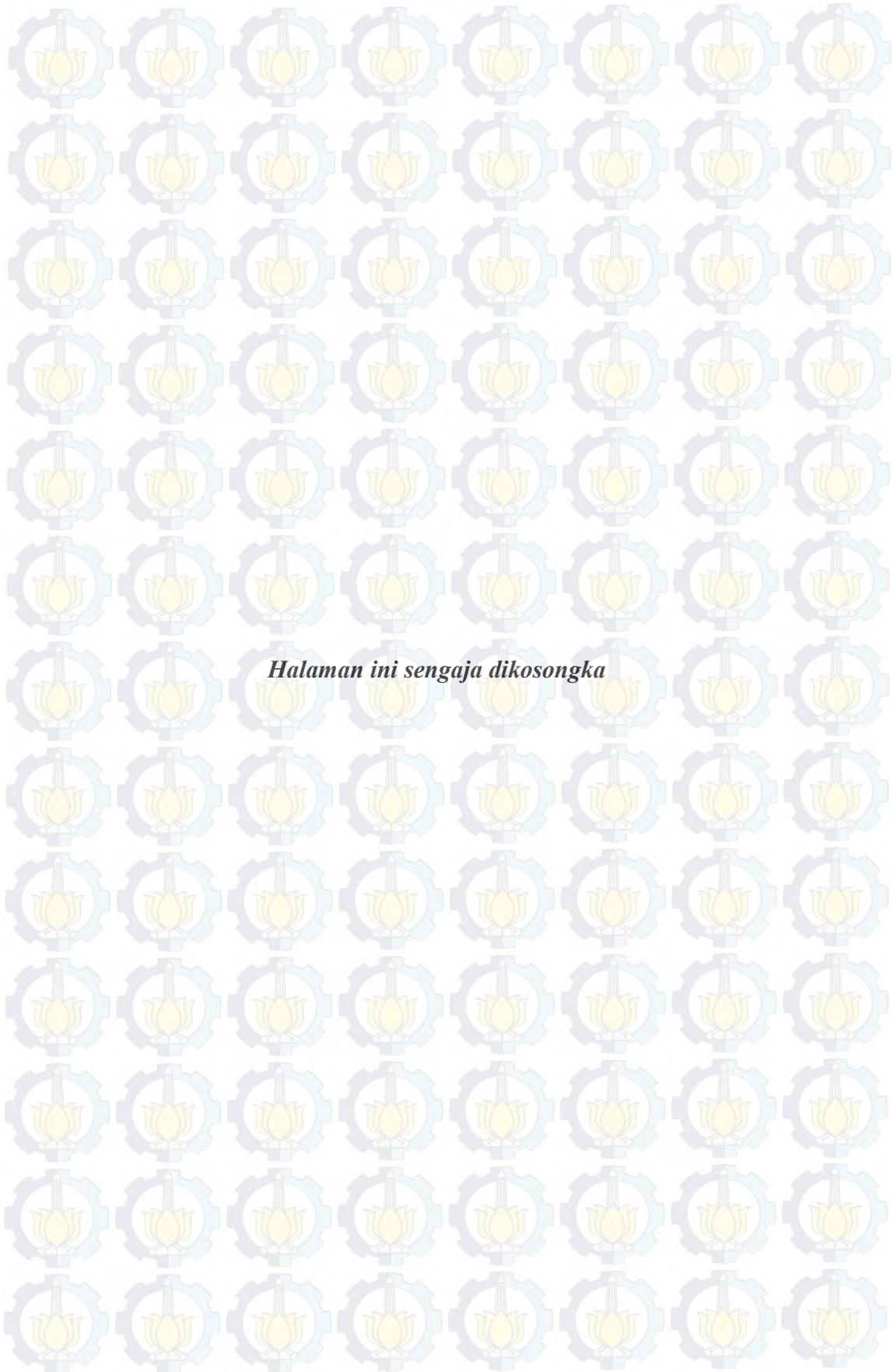
DATA ANALISA GAS

Alamat Laboratorium : 004-AAWC214
 Ruang Fisika : Maklata / Tahun Fisika (1/2)

No	No Sample	Nama Sample	Pukul	Hasil Pengujian	
					CO ₂ (%)
1	02/W/2014	Gas Murni	11.35	10.0	
			11.36	10.0	
			11.37	10.0	
			11.38	10.0	
			11.39	10.0	
			11.40	10.0	
			11.41	10.0	
			11.42	10.0	
			11.43	10.0	
			11.44	10.0	
2	04/W/2014	Melalui Filter Air	11.45	10.0	
			11.46	10.0	
			11.47	10.0	
			11.48	10.0	
			11.49	10.0	
			11.50	10.0	
			11.51	10.0	
			11.52	10.0	
			11.53	10.0	
			11.54	10.0	
3	04/W/2014	Melalui Filter C ₂ O	11.55	10.0	
			11.56	10.0	
			11.57	10.0	
			11.58	10.0	
			11.59	10.0	
			12.00	10.0	
			12.01	10.0	
			12.02	10.0	
			12.03	10.0	
			12.04	10.0	
4	06/W/2014	Melalui Filter H ₂ O	12.05	10.0	
			12.06	10.0	
			12.07	10.0	
			12.08	10.0	
			12.09	10.0	
			12.10	10.0	
			12.11	10.0	
			12.12	10.0	
			12.13	10.0	
			12.14	10.0	

KETERANGAN :
 Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima Laboratorium Fisika Sains
 Lingkungan (LPPM) - ITS dan tidak dapat dipertanggungjawabkan sebagai alat bukti forensik

Surabaya, 08 APR 2014
 Kepala Laboratorium Fisika Sains
 Dr. Widyawati, ST, MT
 No. 0075-0436-3000-122-000

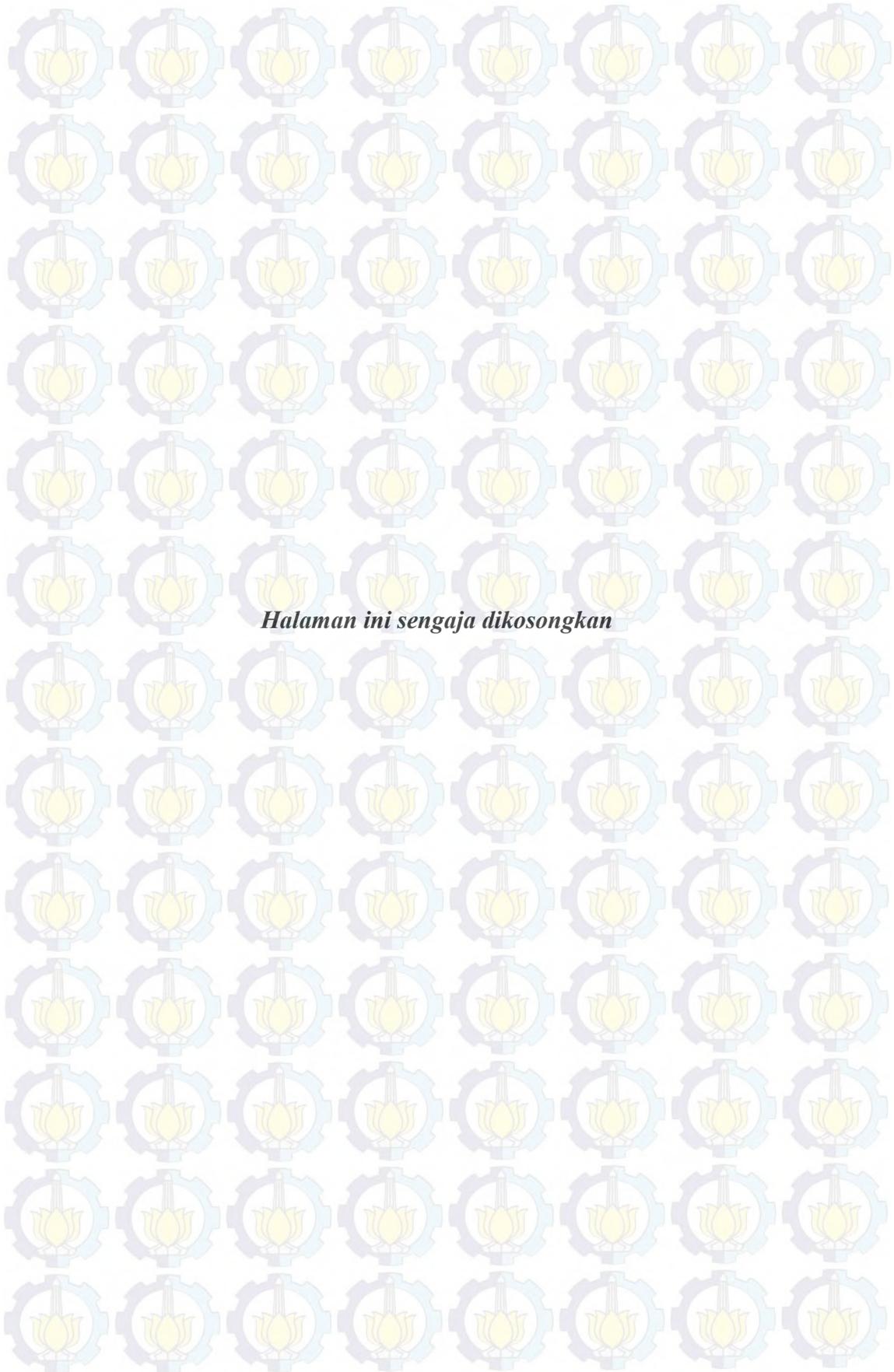


Halaman ini sengaja dikosongka

Lampiran 8

Data suhu pembakaran sebelum dan sesudah dipurifikasi

waktu (detik)	suhu pembakaran sebelum dipurifikasi	suhu pembakaran setelah dipurifikasi dengan		
		suhu pembakaran setelah dipurifikasi dengan CaO	suhu pembakaran setelah dipurifikasi dengan Air	suhu pembakaran setelah dipurifikasi dengan NaOH
1	246.4	246.4	302.4	347.6
2	249.6	249.6	305.4	393.2
3	253.2	253.2	308.7	396.6
4	257.3	257.3	311.1	400.3
5	261	261	313.5	403.5
6	264.7	264.7	315.5	407
7	268.4	268.4	316.4	411.1
8	271.7	271.7	319.1	415.5
9	274.5	274.5	321.8	420.1
10	276.6	276.6	324.6	424.9
11	278.7	278.7	326.8	429.8
12	281.2	281.2	327.5	434.8
13	284	284	328.4	439.7
14	287.5	287.5	332.4	444.4
15	291	291	334.7	449.1
16	295.2	295.2	337.6	453.7
17	300	300	340.5	458.1
18	304.9	304.9	343.9	462.6
19	309.9	309.9	347.5	467
20	314.3	314.3	350.8	471.5
21	317.5	317.5	354.1	476
22	319.9	319.9	356.8	480.5
23	320.8	320.8	358.7	485
24	321.5	321.5	359.2	489.3
25	322.1	322.1	359.7	493.3
26	322.5	322.5	360.1	497.5
27	322.8	322.8	363.6	501.7
28	323.1	323.1	366.1	505.7
29	327.1	327.1	369	509.8
30	330.4	330.4	371.9	513.6



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 9

Perhitungan kadar H₂S dan CO₂ sebelum dan sesudah dipurifikasi

Rata Rata parameter H ₂ S (PPM) selama 30 menit				
tanpa dipurifikasi	purifikasi dengan			
	CaO	NaOH	H ₂ O	NaOH + H ₂ O
18,28	14,4	4,13	16,9	7,25

Rata rata data di atas berasal dari lampiran 6 dan 7 dengan menggunakan persamaan (1) maka diperoleh:

$$\text{CaO} : \frac{18,28 - 14,4}{18,28} \times 100\% = 21,2 \%$$

$$\text{NaOH} : \frac{18,28 - 4,13}{18,28} \times 100\% = 77,4 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} : \frac{18,28 - 16,9}{18,28} \times 100\% = 7,55 \%$$

$$\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} : \frac{18,28 - 7,25}{18,28} \times 100\% = 60,33 \%$$

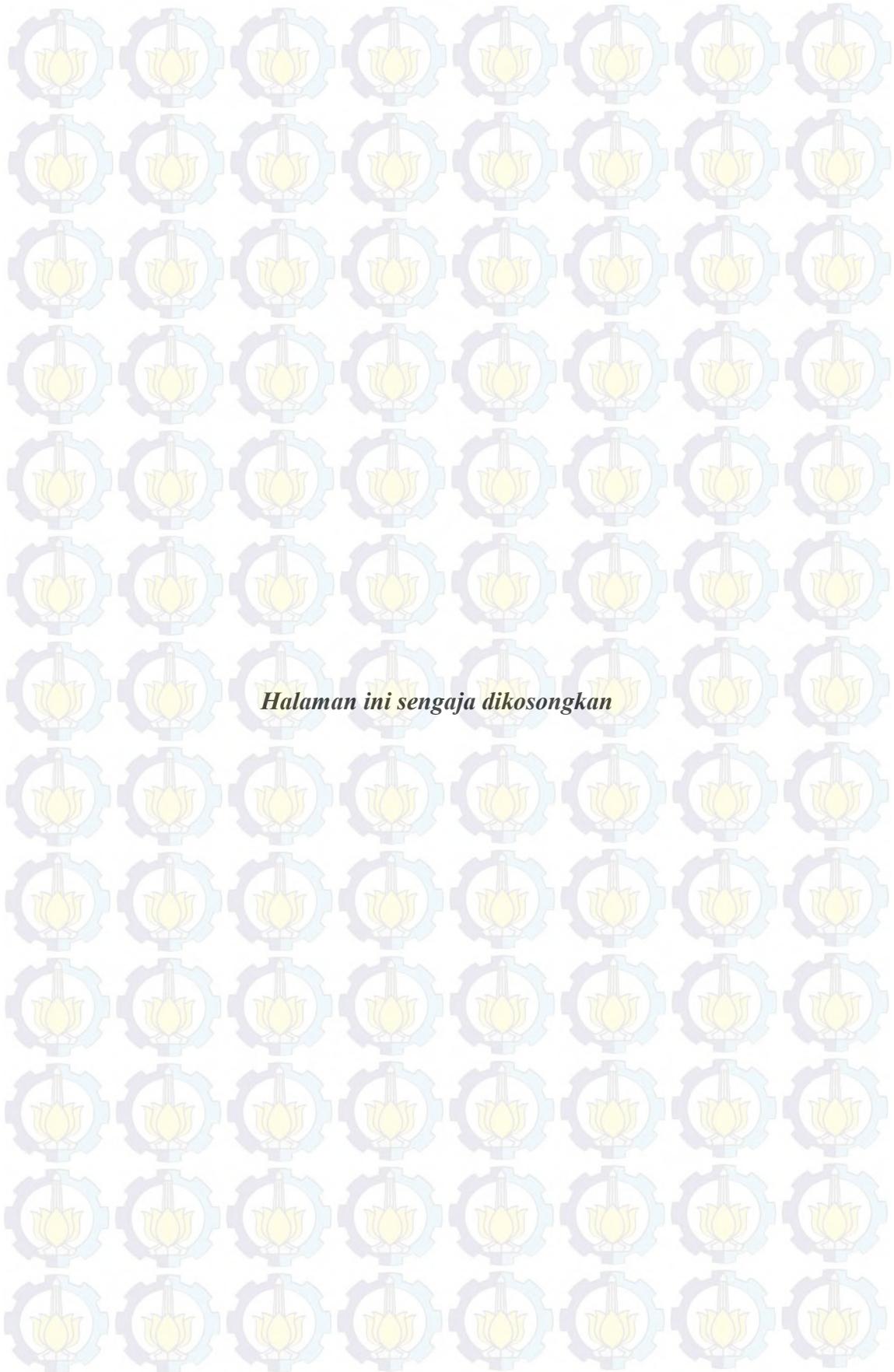
Rata Rata parameter CO ₂ (%) selama 15 menit			
tanpa dipurifikasi	Purifikasi dengan		
	CaO	NaOH	air
15,02	15	11,4	11,8

Rata rata data di atas berasal dari lampiran 5 dengan menggunakan persamaan (1) maka diperoleh:

$$\text{CaO} : \frac{15 - 15}{15} \times 100\% = 0,13 \%$$

$$\text{NaOH} : \frac{18,28 - 4,13}{18,28} \times 100\% = 24,1 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} : \frac{18,28 - 16,9}{18,28} \times 100\% = 21,4 \%$$



Halaman ini sengaja dikosongkan

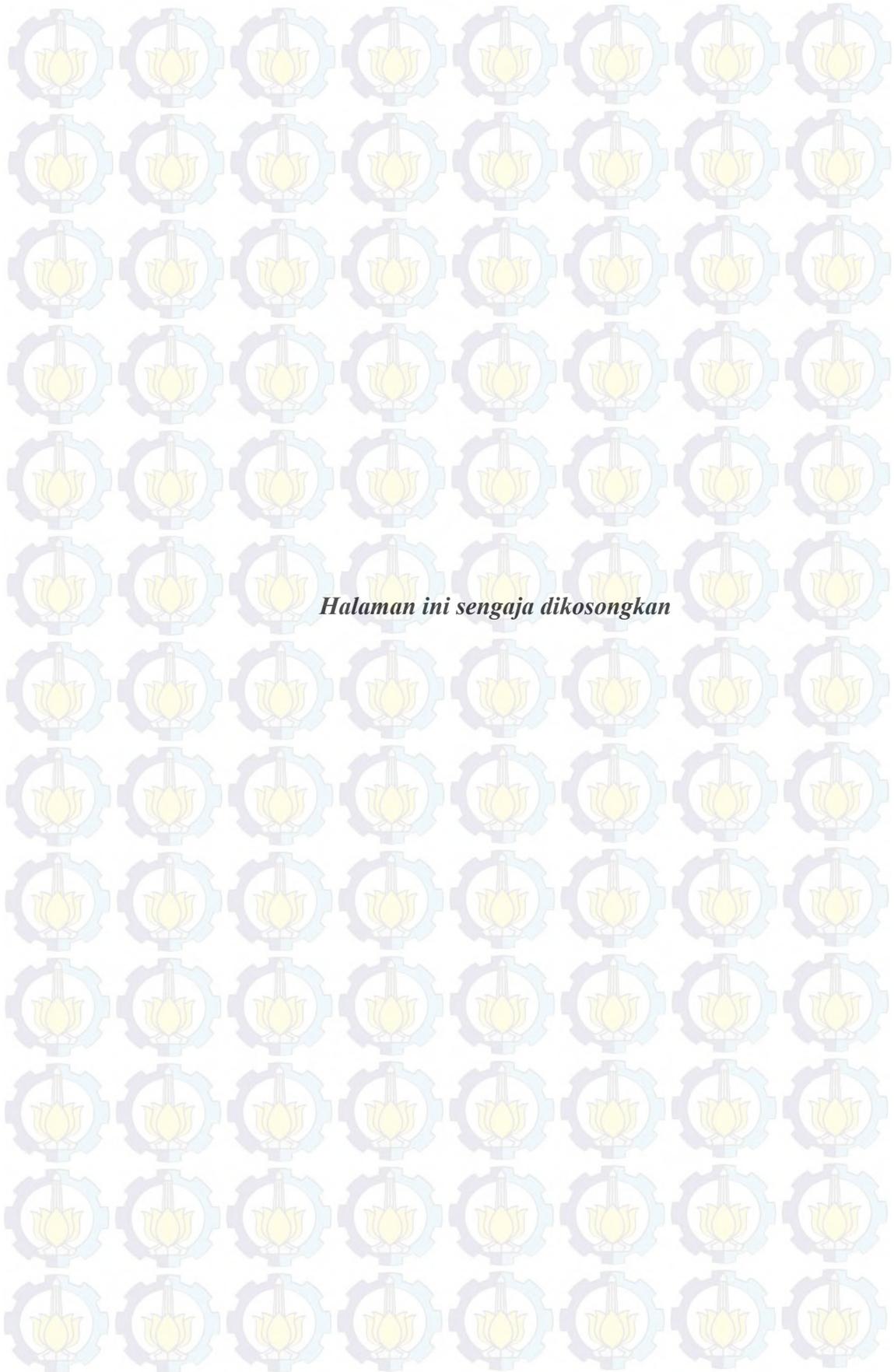
Lampiran 10

1. Perhitungan material absorben NaOH

NO	Jenis Absorben	Mr	variasi	t	d	V tabung (cm ³) $V=\pi$	gram = M XMr xV/1000
		NAOH	molaritas	(cm)	(cm)	$.1/(4).d^{(2)}.t)$	
1	NaOH	40	4	5.5	16.6	1190.812857	190.5300571

2. Perhitungan material absorben CaO

NO	Jenis Absorben	Mr	variasi	t	d	V tabung (cm ³) $V=\pi$	gram = M XMr xV/1000
		CaO	molaritas	(cm)	(cm)	$.1/(4).d^{(2)}.t)$	
1	CaO	56	4	5.5	16.6	1190.812857	266.74208



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 11

Perhitungan volume biogas yang digunakan saat purifikasi biogas menggunakan persamaan berikut :

$$V = A \times h$$

Dimana : $V = \text{volume (m}^3\text{)}$

$h = \text{tinggi manometer (m)}$

$$A = \text{luas (m}^2\text{)} = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \text{ jadi } V = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

$d = \text{diameter (m)}$

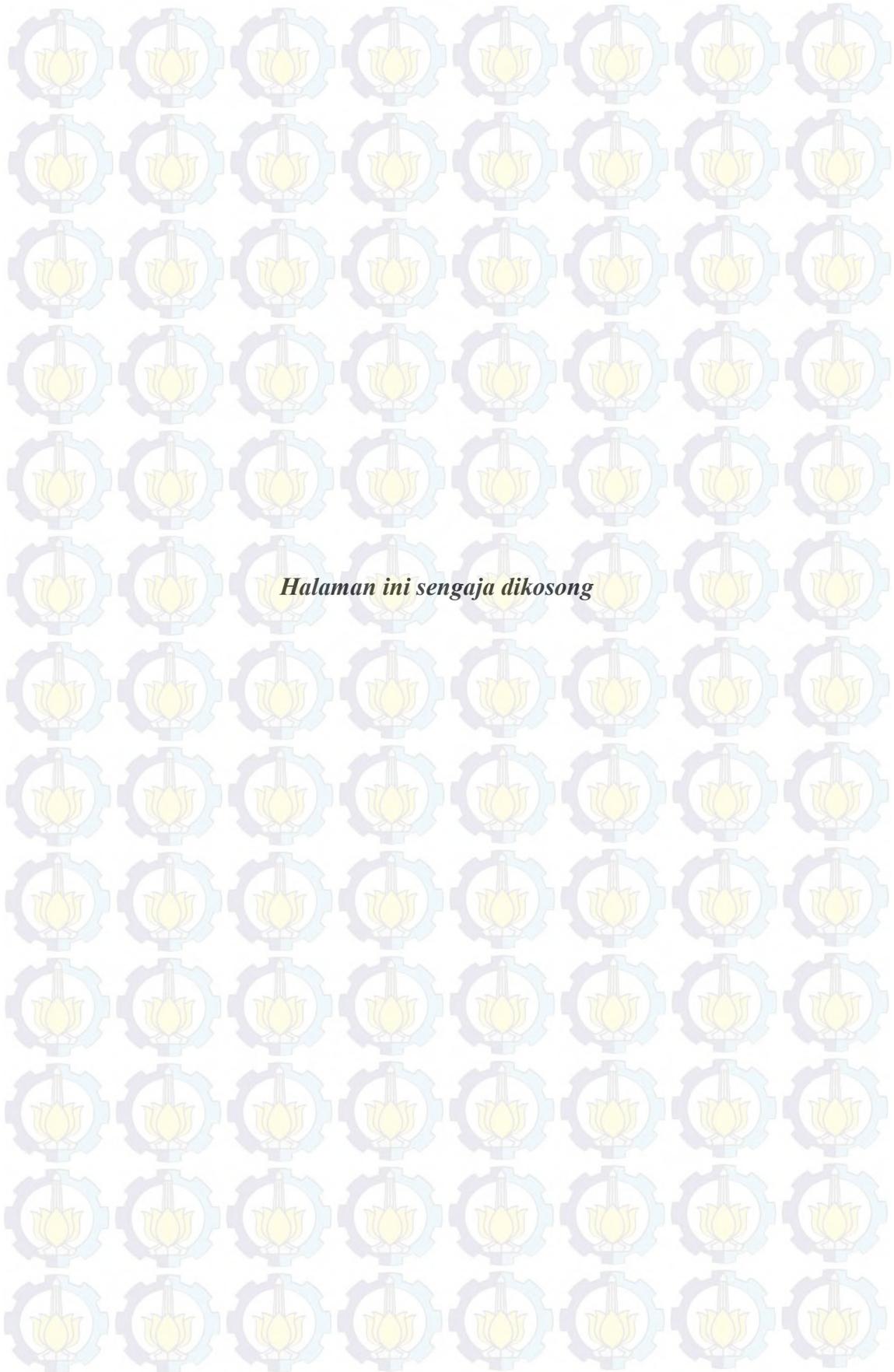
$$\pi = 3.14$$

Absorben	Mereduksi selama	skala manometer turun	Diameter manometer	volume biogas (cm ³)
Air	75 menit	5 cm	0,4 cm	0,6
CaO	45 menit	3 cm	0,4 cm	0,4
NaOH	75 menit	5 cm	0,4 cm	0,6

$$(1). V = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot h \\ = 3.14 \cdot (1/4) \cdot (0,4)^2 \cdot 5 = 0,6 \text{ cm}^3 = 6 \times 10^{-4} \text{ liter}$$

$$(2). V = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot h \\ = 3.14 \cdot (1/4) \cdot (0,4)^2 \cdot 3 = 0,4 \text{ cm}^3 = 4 \times 10^{-4} \text{ liter}$$

$$(3). V = \pi \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot h \\ = 3.14 \cdot (1/4) \cdot (0,4)^2 \cdot 5 = 0,6 \text{ cm}^3 = 6 \times 10^{-4} \text{ liter}$$



Lampiran 12

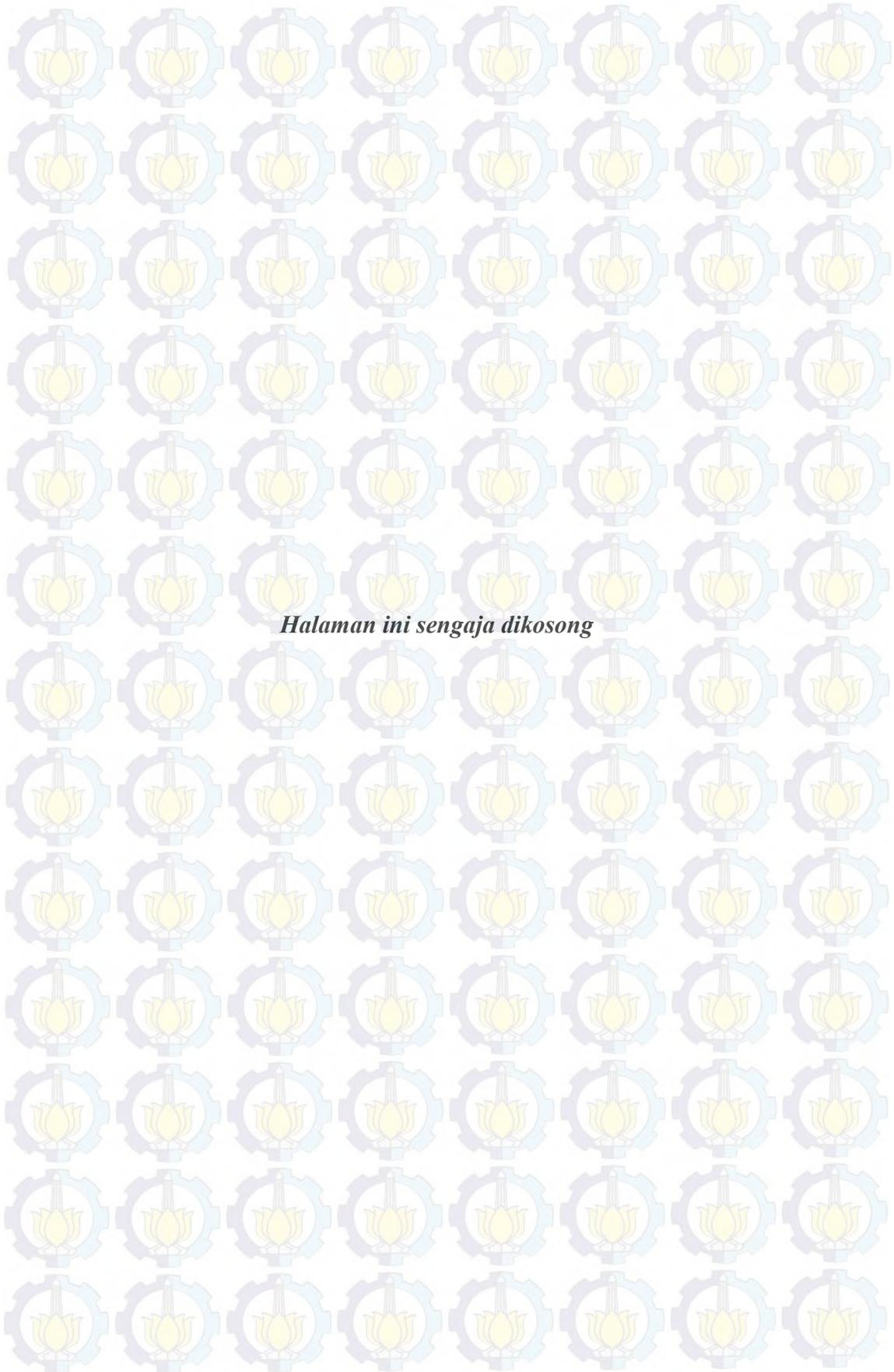
Dokumentasi pengambilan data



Pengambilan data kadar CO₂ tanpa purifikasi



Pengambilan data kadar CO₂ dengan purifikasi



Halaman ini sengaja dikosong



Pengambilan data kadar H_2S dengan purifikasi



Pengukuran suhu pembakaran tanpa purifikasi