

**PENYERAPAN CO₂ MENGGUNAKAN ADSORBEN
KARBON AKTIF DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA
PADA PEMURNIAN BIOGAS DALAM KOLOM**

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Patrisius A. S. Bajo
NIM. 155061101111019

Jose R. Samosir
NIM. 155061107111015

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2019

LEMBAR PENGESAHAN

PENYERAPAN CO₂ MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF DARI
ARANG TEMPURUNG KELAPA PADA PEMURNIAN BIOGAS DALAM
KOLOM

SKRIPSI
TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



PATRISIUS AFINIUS SARE BAJO
NIM. 155061101111019

JOSE RIZAL SAHATA SAMOSIR
NIM. 155061107111015

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 16 Desember 2019

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

Dosen Pembimbing II,

Rama Oktavian, ST., MSc.
NIP. 19861021 201404 1 001



Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

JUDUL SKRIPSI :

PENYERAPAN CO₂ MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA PADA PEMURNIAN BIOGAS DALAM KOLOM

Nama Mahasiswa/NIM : 1. Patrisius Afinius Sare Bajo /155061101111019

2. Jose Rizal Sahata Samosir /155061107111015

Jurusa S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

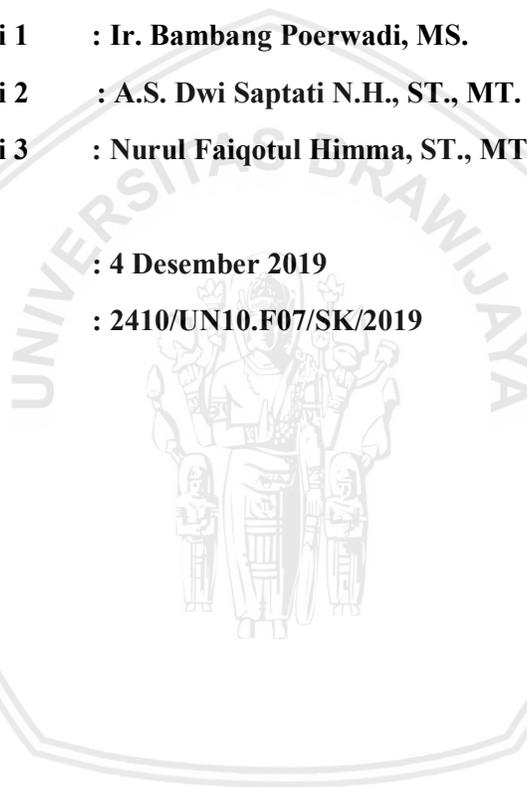
Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.

Dosen Penguji 2 : A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Nurul Faiqotul Himma, ST., MT.

Tanggal Ujian : 4 Desember 2019

SK Penguji : 2410/UN10.F07/SK/2019



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Desember 2019



swa,

Jose Rizal Sahata Samosir

NIM. 155061107111015



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 164/UN10.F07.18/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

JOSE RIZAL SAHATA SAMOSIR

Dengan Judul Skripsi :

Penyerapan CO₂ menggunakan Adsorben Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa pada Pemurnian Biogas dalam Kolom (CO₂ Adsorption using Activated Carbon Adsorbent from Coconut Shell in Biogas Volume Purification)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 17 DEC 2019

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Desember 2019

Mohasniya,
KETERAIKEMPEL
F8ADF1236111019
3000
RIBU RUPIAH
Kausius Afinius Sare Bajo

NIM. 155061101111019



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 164/UN10.F07.13/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

PATRISIUS AFINIUS SARE BAJO

Dengan Judul Skripsi :

Penyerapan CO₂ menggunakan Adsorben Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa pada Pemurnian Biogas dalam Kolom (CO₂ Adsorption using Activated Carbon Adsorbent from Coconut Shell in Biogas Volume Purification)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 17 Dec 2019

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

RINGKASAN

Patrisius Afinius Sare Bajo dan Jose Rizal Sahata Samosir, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Desember 2019, *Penyerapan CO₂ Menggunakan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Pada Pemurnian Biogas Dalam Kolom*, Dosen Pembimbing: Bambang Poerwadi dan Rama Oktavian.

Biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang mulai dikembangkan. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob. Komposisi biogas yang dihasilkan secara umum memiliki komposisi kandungan metana sekitar 50-70%, karbondioksida sekitar 30-59% dan sisanya adalah kandungan pengotor lain seperti nitrogen, hidrogen, hidrogen sulfida, dan air.

Karbondioksida (CO₂) merupakan zat pengotor yang konsentrasinya paling banyak dibandingkan zat pengotor lain dalam biogas sehingga perlu untuk dihilangkan atau dikurangi jika ingin mendapatkan biogas yang kandungan metana (CH₄) nya tinggi dan kalor pembakaran yang bagus.

Terdapat banyak metode untuk mengurangi karbondioksida (CO₂) pada biogas, salah satunya adalah dengan proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat/adsorben. Penelitian ini menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa sebagai adsorben pada penyerapan CO₂ dari biogas. Arang tempurung kelapa perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai adsorben. Aktivasi ini bertujuan untuk membentuk pori baru dari arang aktif agar memiliki luas area yang luas sehingga dapat menyerap CO₂. Variabel bebas pada penelitian ini adalah konsentrasi larutan NaOH untuk aktivasi arang tempurung kelapa divariasikan dengan konsentrasi 1 M, 2M, dan 3 M. Proses adsorpsi berlangsung pada suhu ruang dengan massa karbon aktif yang digunakan sebanyak 500 gram di dalam kolom dengan laju alir 0,3 L/menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi adsorben dari adsorben karbon aktif yang teraktivasi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben karbon aktif tidak teraktivasi, dimana nilai kapasitas adsorpsi adsorben tertinggi dihasilkan oleh adsorben karbon aktif NaOH konsentrasi 1 M, dengan nilai tertinggi yaitu $1,3 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gr adsorben. Nilai kapasitas adsorpsi tertinggi karbon aktif teraktivasi 2 M, 3 M, dan karbon aktif tidak teraktivasi berturut-turut adalah $1,1 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gram adsorben, $1,1 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gram adsorben, dan $8,6 \times 10^{-3}$ mol CO₂/gram adsorben. kapasitas adsorpsi adsorben karbon setelah diaktivasi mengalami peningkatan sebesar 2,5 kali lebih besar dibandingkan adsorben tidak teraktivasi.

Kata kunci: Adsorpsi, Biogas, Karbon Aktif, NaOH

SUMMARY

Patrisius Afinius Sare Bajo dan Jose Rizal Sahata Samosir, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2019, *CO₂ Adsorption using Activated Carbon Adsorbent from Coconut Shell in Biogas Column Purification*, Academic Supervisor: Bambang Poerwadi and Rama Oktavian.

Biogas is one of renewable energy that is starting to be developed. It is produced from the decomposition process of organic materials by microorganisms in anaerobic conditions. The biogas composition produced in general has a methane content composition around 50-70%, carbon dioxide around 30-59% and the rest are other impurities such as nitrogen, hydrogen, hydrogen sulfide, and water.

In biogas, carbon dioxide (CO₂) is a pollutant with the highest concentration compared to other impurities, so it needs to be eliminated or reduced if you want to get biogas with high methane (CH₄) content and good combustion heat.

There are many methods to reduce carbon dioxide (CO₂) in biogas, and one of them is using the adsorption process. Adsorption is the event of adsorption of a substance on the surface of a solid / adsorbent. This research uses activated carbon from coconut shell as an adsorbent in the adsorption of CO₂ from biogas. Coconut shell charcoal needs to be activated before being used as an adsorbent. This activation aims to open the pores of activated charcoal and activate functional groups so that they have a large area and can absorb CO₂. The independent variable in this study was the concentration of NaOH solution for activation of coconut shell charcoal varied with concentrations of 1 M, 2 M, and 3 M. The adsorption process took place at room temperature with a mass of activated carbon used as much as 500 grams.

The results in this study showed that the adsorbent adsorption capacity of activated carbon adsorbents was higher than that of activated carbon adsorbents with no activation, where the highest adsorbent adsorption capacity was produced by NaOH activated carbon adsorbent with a concentration of 1 M, with the highest value of 0.01279 mol CO₂ / gr adsorbent. The highest adsorption capacity value of activated carbon activated 2 M, 3 M, and activated carbon with no activation were 0.01149 mole CO₂ / gram adsorbent, 0.01130 mole CO₂ / gram adsorbent, and 0.00865 mole CO₂ / gram adsorbent, respectively. The adsorption capacity of carbon adsorbents after activation increases 2.5 times greater than that of un-activated adsorbents.

Keyword : Adsorption, Biogas, Activated Carbon, NaOH

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “PENYERAPAN CO₂ MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA PADA PEMURNIAN BIOGAS DALAM KOLOM”. Proposal skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik bagi mahasiswa Strata 1 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penyusunan proposal skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan moril atau materiil secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis dalam penyusunan proposal skripsi ini, yaitu :

1. Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan baik.
2. Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik-adik Kami tercinta serta segenap keluarga yang telah memberikan doa, dorongan moral maupun material, serta kasih sayang.
3. Ir. Bambang Poerwadi, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing dan membantu kami dalam proses pembuatan skripsi.
4. Rama Oktavian, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan membantu kami dalam proses pembuatan skripsi.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah memberikan bekal ilmu, wawasan, serta pengalaman selama mengikuti perkuliahan hingga pembuatan skripsi.
6. Serta seluruh civitas akademika fakultas teknik dan seluruh rekan-rekan kami yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, namun telah membantu kami dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman - teman mahasiswa teknik kimia angkatan 2015 yang sudah membantu kami dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Moonton dan Tencent yang sudah menemani kami dalam proses menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Malang, Desember 2019

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
KATAPENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat/Kegunaan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas.....	5
2.2 Penyerapan CO ₂	9
2.3 Adsorpsi.....	12
2.4 Karbon Aktif.....	20
2.5 Tempurung Kelapa.....	29
2.6 Aktivator Natrium Hidroksida (NaOH).....	29
2.7 Analisa FTIR.....	31
2.8 Kromatografi Gas.....	33
2.9 Penelitian Terdahulu.....	34
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Metode Penelitian.....	37
3.2 Variabel Penelitian.....	37
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.4 Tahapan Penelitian.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Karakteristik Arang Akif Granul.....	47
4.2 Uji X-ray Fluorescence (XRF).....	48
4.3 Uji Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	49

4.4 Pengaruh Aktivator terhadap daya adsorpsi karbon aktif.....	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi biogas dari berbagai sumber.....	6
Tabel 2.2 Perbandingan karakteristik biogas dengan gas alam.....	7
Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan berbagai teknik adsorpsi.....	16
Tabel 2.4 Persyaratan mutu karbon aktif.....	20
Tabel 2.5 Komposisi kimiawi tempurung kelapa.....	29
Tabel 2.6 Sifat Fisika Natrium Hidroksida (NaOH).....	29
Tabel 3.1 Persyaratan mutu karbon aktif.....	42
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Karbon Aktif Granul.....	47
Tabel 4.2 Data % reduksi CO ₂ untuk semua adsorben pada rentang waktu 110 menit...52	



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Adsorpsi Gas Dengan Adsorben Solid Pada Equilibrium	13
Gambar 2.2	Grafik Persamaan – Persamaan Adsorpsi Isothermal	17
Gambar 2.3	Profil Konsentrasi Untuk Adsorpsi Pada Fixed Bed	18
Gambar 2.4	Kurva Breakthrough Untuk Adsorpsi Pada Fixed Bed	19
Gambar 2.5	Skema Ilustrasi Struktur Karbon Aktif	21
Gambar 2.6	Dimensi Kristal Grafit dan Struktur Karbon Aktif	22
Gambar 2.7	Model Fragmen Permukaan Karbon Aktif	22
Gambar 2.8	Ukuran Pori Karbon Aktif	23
Gambar 2.9	Karbon Aktif Sebagai Pemucat	24
Gambar 2.10	Bentuk Karbon Aktif Sebagai Penyerap Udara	24
Gambar 2.11	Mekanisme Pemutusan Ikatan Antara Lignin dan Selulosa Menggunakan NaOH.....	31
Gambar 2.12	Reaksi Antara Lignin dan Gugus Hidroksil	31
Gambar 3.1	Rangkaian Alat Penelitian	39
Gambar 3.2	Diagram Alir Proses Aktivasi Arang Tempurung Kelapa	41
Gambar 3.3	Diagram Alir Proses Adsorpsi Biogas.....	45
Gambar 4.1	Data hasil pengujian XRF pada karbon aktif teraktivasi dan arang tidak teraktivasi.....	49
Gambar 4.2	Hasil pengujian FTIR pada karbon aktif dan tempurung kelapa.....	50
Gambar 4.3	Kapasitas adsorpsi CO ₂ masing -masing adsorben selama 110 menit.....	53
Gambar 4.4	Kapasitas adsorpsi pada rentang waktu 110 menit.....	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Hasil Output Proses Adsorpsi.....	61
Lampiran B	Perhitungan % Reduksi CO ₂	63
Lampiran C	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi.....	64
Lampiran D	Data Hasil Uji FTIR.....	67
Lampiran E	Data Hasil Uji XRF.....	69
Lampiran F	Data Hasil Uji Kromatografi Gas.....	70
Lampiran G	Dokumentasi Penelitian.....	98





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan ketersediaan energi semakin meningkat sebanding dengan meningkatnya pertambahan jumlah penduduk. Peningkatan konsumsi energi oleh masyarakat ini menyebabkan kelangkaan energi berbasis bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, gas alam dan lain lain. Kelangkaan energi berbasis bahan bakar fosil disebabkan oleh ketersediaan sumber yang semakin menipis. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan energi alternatif yang mampu mengurangi laju pemakaian bahan bakar fosil. Biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang mulai dikembangkan. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob (Wahyuni, 2015). Biogas digunakan pada keperluan sehari-hari seperti untuk memasak, penerangan dan bahan bakar *genset*. Residu yang tersisa dari proses produksi biogas juga dapat digunakan sebagai pupuk. Metana (CH_4) merupakan unsur utama yang dimanfaatkan dalam biogas.

Biogas yang dihasilkan harus memiliki kualitas yang dapat bersaing dengan bahan bakar fosil atau sumber energi terbarukan lainnya sehingga dapat digunakan secara efektif dan efisien. Komposisi biogas yang dihasilkan secara umum memiliki komposisi kandungan metana sekitar 50-70%, karbondioksida sekitar 30-59% dan sisanya adalah kandungan pengotor lain seperti nitrogen, hidrogen, hidrogen sulfida, dan air (Zhang, 2010). Kandungan biogas yang menentukan nilai kalor pembakarannya berupa metana (CH_4).

Semakin tinggi kandungan CH_4 maka biogas yang dihasilkan memiliki nilai kalor pembakaran yang semakin bagus pula. Karbondioksida (CO_2) merupakan zat pengotor yang konsentrasinya paling banyak dibandingkan zat pengotor lain dalam biogas sehingga perlu untuk dihilangkan atau dikurangi jika ingin mendapatkan biogas yang kandungan metana (CH_4) nya tinggi dan kalor pembakaran yang bagus (Zhang, 2010).

Salah satu upaya untuk menghilangkan karbondioksida (CO_2) pada biogas adalah dengan proses adsorpsi. Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat (Cheng, 2012). Dengan proses adsorpsi ini diharapkan

karbondioksida yang terdapat dalam biogas dapat dikurangi. Zat padat / adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi harus memenuhi kriteria sebagai berikut seperti bahan baku murah, kapasitas adsorpsi CO₂ tinggi dan selektivitas CO₂ tinggi. Adsorben karbon seperti karbon aktif merupakan adsorben yang telah banyak digunakan untuk penyerapan CO₂ karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah dan stabilitas termal tinggi (Cheng, 2012).

Percobaan sebelumnya telah dilakukan oleh Widyastuti, dkk (2013) menggunakan karbon aktif dari cangkang sawit dan dibandingkan dengan karbon aktif komersial dari tempurung kelapa. Hasilnya peningkatan kadar CH₄ menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit masih rendah dibandingkan dengan karbon aktif komersil (Widyastuti, dkk, 2013). Sehingga pada penelitian ini digunakan karbon aktif dari tempurung kelapa. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki sifat berpori, struktur keras, kekuatan mekanik tinggi, kadar abunya rendah dan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang tinggi sekitar 74,3% (Bledzki, A.K, dkk, 2010).

Arang dari tempurung kelapa tersebut perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai adsorben. Aktivasi ini bertujuan untuk membuka pori – pori dari arang aktif dan mengaktifkan gugus fungsi agar memiliki *surface area* yang luas sehingga dapat menyerap CO₂ (Marsh, 2006). Aktivasi arang menjadi karbon aktif dapat dilakukan secara fisika dan secara kimia. Aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu yang tinggi sedangkan aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan perendaman pada suatu larutan senyawa kimia. Bahan kimia yang biasa digunakan pada aktivasi arang aktif yaitu senyawa–senyawa garam seperti ZnCl₂, H₃PO₄, Na₂CO₃, CaCl₂, NaOH, NaCl, CaCl₂ and KOH (Kinoshita, 1988). Aktivator HCl, NaOH dan ZnCl₂, digunakan untuk aktivasi dikarenakan aktivator tersebut memiliki kemampuan yang lebih besar dalam melarutkan pengotor dalam arang seperti K, Na, Mg, Ca dan Fe sehingga luas permukaan, ukuran pori lebih besar dan gugus fungsi arang aktif bertambah (Yulianti, 2010). Aktivator yang digunakan pada penelitian ini berupa NaOH. NaOH ini bertujuan untuk membuka volume dan diameter pori serta membuka gugus fungsi baru (Azhary, 2010).

Arang aktif yang digunakan pada penelitian ini berbentuk granul. Hal ini disebabkan oleh penggunaan arang aktif berbentuk powder mampu menyebabkan penyumbatan aliran gas. Penggunaan karbon aktif berbentuk granul untuk menjaga karbon aktif dalam kolom tidak bergerak atau berpindah sebagai akibat dari laju aliran

gas yang masuk. Pada penelitian ini dilakukan penyerapan CO_2 menggunakan adsorben granul karbon aktif dari tempurung kelapa pada pemurnian biogas dalam kolom.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana pengaruh aktivator NaOH terhadap karakteristik arang tempurung kelapa sebagai adsorben pada proses adsorpsi CO_2 pada biogas?
2. Bagaimana kemampuan adsorben karbon aktif dari arang tempurung kelapa dalam mengurangi kandungan karbondioksida (CO_2) pada biogas?

1.3 PEMBATASAN MASALAH

1. Sampel biogas yang digunakan adalah biogas hasil pengolahan sampah organik yang diambil dari TPA Talang Agung Kepanjen.
2. Biogas yang diambil dari TPA Talang Agung Kepanjen sudah melalui proses purifikasi sehingga memiliki konsentrasi metana (CH_4) sebesar 90% yang menandakan kandungan CO_2 kurang lebih sekitar 10% maka dilakukan modifikasi kandungan CO_2 pada biogas dengan menambahkan CO_2 murni yang berasal dari tabung CO_2 pada lab OTK Teknik Kimia Universitas Brawijaya guna menyesuaikan komposisi biogas murni secara umum.
3. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dari arang tempurung kelapa.

1.4 TUJUAN

1. Mengetahui pengaruh aktivator NaOH terhadap karakteristik karbon aktif dari arang tempurung kelapa terhadap proses adsorpsi CO_2 pada biogas.
2. Mengetahui kemampuan adsorben karbon aktif dari arang tempurung kelapa dalam mengurangi kandungan karbondioksida (CO_2) pada biogas.

1.5 MANFAAT / KEGUNAAN

Manfaat yang dapat diberikan melalui penelitian ini adalah:

1. Membantu memberikan sebuah teknologi alternatif dan sederhana terhadap pemurnian biogas untuk meningkatkan kualitas biogas.
2. Menambahkan nilai guna arang tempurung kelapa yaitu sebagai adsorben pada pemurnian biogas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BIOGAS

2.1.1 Pengertian Biogas

Biogas merupakan gas yang diproduksi dengan memfermentasikan bahan - bahan organik dengan bantuan mikroorganisme (bakteri) dalam kondisi tanpa udara (atau oksigen) dimana bahan-bahan organik seperti alkohol dan asam lemak dipecah menjadi metana, karbon dioksida dan air. Proses ini disebut fermentasi anaerob (Mital, 1997). Biogas diproduksi di pabrik biogas dengan cara degradasi biomassa oleh bakteri dalam kondisi anaerob. Ada tiga kategori biomassa yang bisa digunakan, yang pertama ialah substrat asal pertanian seperti pupuk cair, limbah pakan, limbah panen, dan tanaman energi. Lalu, yang kedua ialah limbah dari rumah tangga pribadi dan kota tersebut sebagai sampah organik yang dikumpulkan secara terpisah (dalam wadah limbah organik), limbah pasar, sisa makanan kadaluarsa, atau sisa makanan dan yang ketiga produk samping industri seperti gliserin, produk samping dari pengolahan makanan atau limbah dari pemisah lemak (Arthur, 2013). Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang murah dan sederhana, dimana proses pembuatan biogas dengan fermentasi anaerob ini dapat dilakukan di daerah terpencil dimana sampah-sampah organik banyak dihasilkan dimana sampah organik ini dapat menyebabkan polusi dan sumber penyakit. Karena potensinya yang besar ini, biogas dapat meningkatkan ekonomi dan lingkungan hidup manusia.

2.1.2 Komposisi Biogas

Komposisi Biogas yang dihasilkan dari berbagai sumber secara umum memiliki komposisi seperti pada tabel 2.1. Kandungan biogas yang menentukan nilai kalor pembakarannya berupa metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan CH_4 maka biogas yang dihasilkan memiliki nilai kalor pembakaran yang semakin bagus pula. Dalam biogas terdapat beberapa pengotor seperti karbondioksida (CO_2), nitrogen (N_2), hidrogen (H_2), hidrogen sulfide (H_2S), dan air (H_2O). Karbondioksida (CO_2) merupakan zat pengotor yang konsentrasinya paling banyak dibandingkan zat pengotor lain dalam

biogas sehingga perlu untuk dikurangi atau dihilangkan jika ingin mendapatkan biogas yang kandungan metane (CH_4) nya tinggi dan kalor pembakaran yang bagus.

Tabel 2.1 Komposisi biogas dari berbagai sumber

Komponen	Satuan	Limbah rumah tangga	Limbah pabrik pengolahan air	Limbah pertanian
CH_4	% vol	50 – 60	60 - 75	68
CO_2	% vol	34 – 38	19-33	26
N_2	% vol	0 – 5	0-1	-
O_2	% vol	0 – 1	<0,5	-
H_2O	% vol	6 (a 40 o C)	6 (a 40 o C)	6 (a 40 o C)
H_2S	Mg/m^3	100-900	1000-4000	3000-10000
NH_3	Mg/m^3	-	-	500-100

(Naskeo Government, 2009)

2.1.3 Karakteristik Biogas

Biogas dan gas alam pada dasarnya merupakan gas yang bertipe sama yang kandungan utamanya berupa metana. Metana merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan mudah terbakar, sehingga termasuk gas yang berbahaya. Yang membedakan antara biogas dan gas alam yaitu gas alam merupakan metana yang berasal dari bahan bakar fosil, sedangkan pada biogas berasal dari fermentasi oleh bakteri secara anaerobik (Eriksson, 2010). Biogas sendiri memiliki nilai kalor pembakaran sekitar 500 sampai 700 BTU per ft^3 , hampir mendekati nilai kalor pembakaran gas alam yang sebesar 850 BTU per ft^3 . Biogas juga sulit untuk diubah menjadi cair (Mital, 1997). Berikut merupakan tabel yang menunjukkan perbandingan antara biogas dan gas alam.

Tabel 2.2 Perbandingan karakteristik biogas dengan gas alam

Karakteristik	Satuan	Biogas	Gas Alam
Metana	volume %	65	89
CO ₂	volume %	35	0,9
N ₂	volume %	0,2	0,3
H ₂	volume %	0	0
H ₂ S	ppm	<5	3
Kalor Pembakaran	kWh/Nm ³	6,5	11
	MJ/Nm ³	23	40
	MJ/kg	20,2	48

(Eriksson, 2010)

Berdasarkan tabel 2.2 diatas dapat dilihat bahwa komposisi CH₄ dan CO₂ pada biogas dan gas alam berbeda. Komposisi CO₂ pada biogas memiliki komposisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan CO₂ pada gas alam. Komposisi CH₄ pada gas alam lebih tinggi dibandingkan dengan CH₄ pada biogas. Perbedaan komposisi inilah yang mempengaruhi kalor pembakaran pada biogas dan gas alam. Dimana, dikarenakan komposisi CH₄ pada gas alam yang tinggi menyebabkan kalor pembakaran pada gas alam tinggi pula.

2.1.4 Fermentasi Anaerob

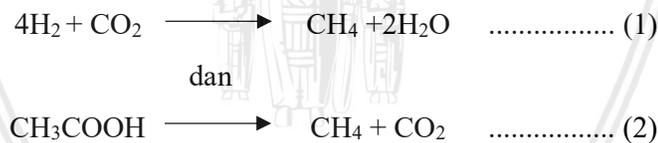
Fermentasi Anaerob (*Anaerob Digestion*) merupakan suatu proses biokimia dimana bahan-bahan organik kompleks didekomposisi tanpa adanya oksigen oleh berbagai tipe mikroorganisme. Produk utama dari proses ini adalah biogas dan *digestate*. Biogas adalah gas yang mudah terbakar, terdiri dari metana dan karbon dioksida. *Digestate* adalah substrat yang terdekomposisi, dihasilkan dari produksi biogas (Al Seadi, 2008).

Proses pembentukan biogas merupakan proses yang bertahap, dimana terdapat 4 proses utama yaitu hidrolisis, asidogenesis, acetogenesis dan methanogenesis. Hidrolisis merupakan proses awal dalam fermentasi anaerob. Dalam proses hidrolisis, polimer seperti lipid, karbohidrat, dan protein dirubah menjadi monomer atau oligomer (Al Seadi, 2008).

- Lipid → fatty acid, glycerol
- Polisakarida → monosakarida
- Protein → asam amino

Kemudian pada asidogenesis, produk hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik (fermentatif) ke dalam substrat metanogenik. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi *volatile fatty acid* (VFA) dan alkohol (30%). Proses selanjutnya ialah asetogenesis, dimana VFA dan alkohol dari proses sebelumnya dioksidasi menjadi substrat metanogenik seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. VFA, dengan rantai karbon lebih panjang dari dua unit dan alkohol, dengan rantai karbon lebih dari satu unit, dioksidasi menjadi asetat dan hidrogen dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogenik seperti asetat, hidrogen dan karbon dioksida. (Al Seadi, 2008).

Tahapan akhir dari proses pembentukan biogas ialah metanogenesis. Pada tahapan ini, produksi metana dan karbon dioksida dari produk setengah jadi dilakukan oleh bakteri metanogenik. 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan metana 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO₂), menurut persamaan berikut (Al Seadi, 2008):



2.1.5 Karakteristik Kandungan Utama Biogas

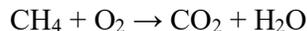
Kandungan utama biogas terdiri dari:

1. Gas Metana

Sifat fisika metana sebagai berikut:

- a) Berat Molekul: 16,04 gram/mol
- b) Densitas: 7,2 x 10⁻⁴ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- c) Nilai kalor CH₄: 13.279,302 Kkal/kg
- d) Nilai kalor biogas: 6.720 – 9660 Kkal/kg
- e) Diameter partikel: 3,8 Å

Reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbon dioksida dan uap air (Fessenden, 1989) seperti reaksi dibawah ini.



2. Gas Karbondiokasida

Sifat fisika karbon dioksida (Perry, 1997) sebagai berikut:

- a) Berat Molekul: 44,01 gram/mol
- b) Densitas: $1,98 \times 10^{-3}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- c) Diameter partikel: 3,3 Å

2.1.6 Kegunaan Biogas

Biogas memiliki beberapa kegunaan, dimana biogas dapat dikonversi menjadi listrik dan panas atau juga biogas dapat dibakar untuk menghasilkan panas. Biogas adalah bahan bakar terbarukan yang fleksibel yang dapat disimpan. Bahan bakar motor, listrik, dan panas dapat dihasilkan dari biogas, yang menjadikannya fungsi penting dalam konteks pasokan energi berkelanjutan. Selain itu, biogas juga dapat menggantikan senyawa karbon dalam produk plastik (Arthur, 2013).

2.2 PENYERAPAN CO₂

Gas CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca yang saat ini menjadi masalah lingkungan yang sangat diperhatikan dunia. Telah banyak dikembangkan untuk penangkapan dan pemisahan CO₂ dari gas campuran, contohnya ialah absorpsi kimia dan absorpsi fisika, adsorpsi fisika dan kimia, proses *cryogenic*, dan dengan teknologi membran. Dari teknologi-teknologi tersebut, adsorpsi dianggap teknologi yang paling menjanjikan karena beberapa alasan, yaitu energi yang digunakan rendah, harga yang lebih ekonomis, mudah diaplikasikan dalam rentang suhu dan tekanan yang luas (Keramati, dkk, 2014).

Proses penyerapan CO₂ dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui absorpsi dan adsorpsi.

1. Absorpsi

Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absoben cair yang diikuti dengan

pelarutan. Absorpsi terbagi atas dua yaitu absorpsi secara fisik dan absorpsi secara kimia.

a. Absorpsi fisik

Operasi absorpsi secara fisik didasarkan pada hukum Henry. CO₂ diabsorb di bawah tekanan tinggi dan suhu rendah, dan didesorpsi pada tekanan rendah dan suhu tinggi. Teknologi ini telah banyak diterapkan pada banyak proses industri termasuk gas alam, gas sintesis dan produksi hidrogen dengan kandungan CO₂ yang tinggi. Ada banyak proses komersial yang ada seperti proses Selexol, proses rectisol, proses purisol, proses morphysorb, dan proses fluor. Penyerapnya adalah dimethylether atau propylene glycol untuk proses selexol, metanol untuk proses rectisol, methylpyrrolidone untuk proses purisol, morpholine untuk proses morphysorb dan propylene carbonate untuk Proses fluor. Proses selexol dapat diterapkan untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S di bawah operasi suhu rendah dan untuk regenerasi penyerap dengan mengurangi tekanan atau stripping. Keuntungan dari proses ini adalah tekanan uap yang rendah, toksisitas rendah dan pelarut yang kurang korosif. Proses rectisol lebih disukai ketika berurusan dengan gas yang mengandung belerang. Keuntungannya termasuk penyerap yang kurang korosif dan lebih stabil. Keuntungan dari proses purisol adalah konsumsi energinya yang rendah. Proses morphysorb adalah proses yang relatif baru. Biaya operasi adalah 30% hingga 40% lebih rendah dari itu untuk proses Selexol. Proses fluor lebih cocok untuk gas yang mengandung tekanan parsial CO₂ lebih tinggi dari 60 psig. Kelarutan CO₂ dalam pelarut tinggi dalam proses ini (Cheng, 2012).

b. Absorpsi kimia (*amine absorption / stripping technology*)

Teknologi proses penyerapan kimia yang khas terdiri dari kolom *absorber* dan *stripping* dimana absorbent diregenerasi secara termal. Dalam praktek penyerapannya CO₂ masuk kedalam kolom packed bed dari bagian *bottom* lalu kontak dengan absorbent yang terdapat di dalam kolom absorber. Absorbent yang kaya akan CO₂ mengalir ke *stripper* untuk regenerasi termal. Setelah regenerasi absorbent dipompa kembali ke absorber untuk kembali digunakan. CO₂ murni yang dilepaskan dari stripper dikompresi untuk transportasi dan penyimpanan selanjutnya. Tekanan operasi sekitar 1,0 bar dan suhu di penyerap dan stripper umumnya berkisar 40–60 ° C dan 120–140 ° C. Energi minimum yang secara teoritis diperlukan untuk pemulihan CO₂ dari gas buang dan kompresi CO₂

menjadi 150 bar adalah 0,396 GJ / ton CO₂. Untuk operasi praktis, energi 0,72 GJ / ton CO₂ diharapkan dapat dicapai. Keuntungan dari teknologi penyerapan kimia adalah bahwa itu adalah teknologi yang paling matang untuk penangkapan CO₂ dan telah dikomersialkan selama beberapa dekade, meskipun tidak untuk penangkapan CO₂ dari pembangkit listrik. Namun, teknologi ini ada beberapa kelemahan yaitu:

1. kapasitas pemuatan CO₂ yang rendah
2. tingkat korosi peralatan tinggi
3. degradasi amina oleh SO₂, NO₂, dan O₂ dalam gas buang yang menginduksi tingkat makeup penyerap tinggi
4. konsumsi energi tinggi selama regenerasi penyerap suhu tinggi
5. ukuran peralatan besar

Absorben yang umum digunakan adalah amina seperti Alkanolamina. Alkanolamina banyak digunakan sebagai absorben untuk penangkapan CO₂. Struktur alkanolamina meliputi amina primer, sekunder, tertier yang mengandung sedikitnya satu OH dan gugus amina seperti monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA) dan N-methyldiethanolamine (MDEA) (Cheng, 2012).

2. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Proses adsorpsi merupakan salah satu solusi dalam mengatasi kelemahan dari penggunaan amina pada proses absorpsi. Pengembangan suatu adsorben dalam suatu proses adsorpsi harus memenuhi kriteria yaitu:

1. bahan baku murah
2. kapasitas panas rendah
3. kinetika cepat
4. kapasitas adsorpsi CO₂ tinggi
5. selektivitas CO₂ tinggi dan
6. stabilitas termal, kimia, dan mekanik di bawah siklus yang luas

(Cheng, 2012)

Adsorben karbon seperti karbon aktif merupakan adsorben yang telah banyak digunakan untuk penangkapan CO₂ karena ketersediaannya yang luas, biaya rendah, stabilitas termal tinggi dan sensitivitas rendah terhadap kelembaban. Kapasitas adsorpsi CO₂ ke karbon aktif pada suhu dan tekanan tergantung pada dua faktor utama, yaitu struktur pori (luas permukaan dan volume pori) untuk adsorpsi fisik dan sifat kelompok gugus fungsi yang mempengaruhi adsorpsi kimia. Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂, maka dapat dilakukan modifikasi sifat fisik dan kimia permukaan karbon aktif dengan beberapa prosedur oksidasi, perlakuan panas dan atau prosedur impregnasi.

Pretreatment oksidatif pada karbon aktif bertujuan untuk menciptakan sejumlah besar gugus permukaan yang mengandung oksigen, seperti gugus karboksilat, fenol, anhidrida, karbonil, lakton, peroksida, eter dan kuinon yang bersifat asam atau basa. Selain itu, karena sifat asam CO₂, pengenalan basa Lewis ke permukaan karbon aktif juga dapat mendukung kinerja penyerapan CO₂ (Caglayan, 2013).

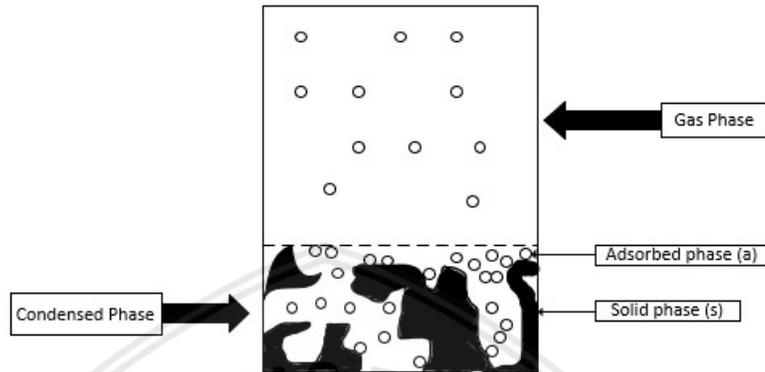
Beberapa penelitian tentang penggunaan karbon aktif pada adsorpsi CO₂ telah dilakukan. Burcu Selen Caglayan dan A. Erhan Aksoylu melakukan penelitian tentang kapasitas adsorpsi CO₂ dari karbon aktif komersial yang dimodifikasi dengan menggunakan oksidasi HNO₃, oksidasi udara, peresapan alkali dan perlakuan panas di bawah atmosfer gas helium. Mona Keramati dan Ali Ashgar Ghoreyshi (2014) menggunakan karbon aktif dengan gugus fungsi dari chitosan dan triethylenetetramine untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂. Bo Guo (2006) meneliti tentang efek penghilangan gas CO₂ pada komponen organik dan sulfur pada industri gas dengan menggunakan karbon aktif.

2.3 ADSORPSI

2.3.1 Pengertian Adsorpsi

Sorption merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan setiap jenis penangkapan suatu zat dari permukaan luar benda padat, cairan, atau *mesomorph*. Istilah "adsorpsi" meliputi pengambilan komponen campuran gas atau cairan dari permukaan eksternal dan / atau internal zat padat berpori (Vassilis dan Stavros, 2006). Dalam sistem adsorpsi fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat

sedangkan solidnya sendiri disebut adsorben. Proses adsorpsi hanya terjadi dipermukaan saja, tidak masuk kedalam *bulk/ruah*. Proses adsorpsi terjadi pada mikropori. Tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke dalam mikropori disebut makropori. Ilustrasi proses adsorpsi pada adsorben solid pada keadaan equilibrium dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Adsorpsi gas dengan adsorben solid pada equilibrium
(Sudibadriyo, 2011)

Dalam teknik kimia, adsorpsi adalah proses pemisahan dimana komponen - komponen tertentu dari fase fluida dipindahkan ke permukaan suatu adsorben padat (McCabe, 1993).

2.3.2 Jenis – Jenis Adsorpsi

Berdasarkan jenis ikatan yang terlibat, adsorpsi dapat dibagi menjadi (Vassilis dan Stavros, 2006):

a. Adsorpsi fisik

Dalam adsorpsi fisik, tidak terjadi pertukaran elektron dan sebaliknya, terjadi tarik-menarik intermolekul dan karena itu tidak tergantung pada sifat elektronik dari molekul yang terlibat. Adsorpsi fisik ditandai oleh interaksi energi yang sebanding dengan panas penguapan (kondensasi). Adsorbat ditahan ke permukaan oleh gaya Van der Waals yang relatif lemah dan beberapa lapisan dapat terbentuk dengan energi panas adsorpsi. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat

diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150–200 ° C selama 2-3 jam (Treybal, 1980).

b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia melibatkan pertukaran elektron antara permukaan spesifik dan molekul terlarut, dan sebagai hasilnya ikatan kimia terbentuk. Adsorpsi kimia ditandai oleh interaksi antara energi permukaan dan adsorbat yang sebanding dengan kekuatan ikatan kimia (puluhan kkal / mol), dan akibatnya jauh lebih kuat dan lebih stabil pada suhu tinggi daripada adsorpsi kimia (Vassilis dan Stavros, 2006)

2.3.3 Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu (Reynolds, 1982):

1. Transfer molekul zat yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben
2. Difusi zat yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (*film diffusion process*).
3. Difusi zat yang teradsorpsi melalui pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat pada dinding pori atau permukaan adsorben.

2.3.4 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor – faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben terdiri dari (Treybal, 1980):

1. Jenis Adsorbat
 - a. Ukuran molekul adsorbat akan mempengaruhi ukuran pori pada adsorben yang akan digunakan.
 - b. Sifat kepolaran dari adsorbat dan adsorben akan mempengaruhi proses adsorpsi.
2. Karakteristik Adsorben
 - a. Kemurnian adsorben : adsorben yang murni akan memiliki daya adsorpsi yang lebih baik

- b. Luas permukaan dan volume pori adsorben: luas permukaan dan volume pori mempengaruhi jalannya proses adsorpsi.
3. Temperatur
Proses adsorpsi berlangsung pada keadaan eksotermis sehingga apabila terjadi kenaikan suhu pada tekanan tetap maka akan mengurangi daya adsorpsi.
4. Tekanan Adsorbat
Tekanan adsorbat akan mempengaruhi jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi. Pada adsorpsi fisika jika tekanan adsorbat meningkat, maka jumlah molekul adsorbat akan bertambah. Sedangkan pada adsorpsi kimia jumlah adsorpsi adsorbat akan berkurang jika tekanan adsorbat bertambah.

2.3.5 Adsorpsi Pada Kolom

Ada berbagai jenis teknik yang digunakan agar terjadi kontak antara adsorbat dan adsorben terutama di dalam sistem adsorpsi. Teknik – teknik itu ialah *batch*, *continuous moving bed*, *continuous fluidize bed*, dan *continuous fixed bed* (upflow atau downflow). Pergerakan aliran antara adsorben dan umpannya bisa parallel, counter-current, atau cross-flow (Tien, Chi.2019).

Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya seperti yang ditunjukkan pada tabel (Himanshu Patel, 2019).

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan berbagai teknik adsorpsi

Teknik	Keuntungan	Kekurangan
Batch	<ul style="list-style-type: none"> - Sangat mudah digunakan dan murah - Banyak digunakan peneliti untuk menganalisis kelayakan sistem adsorben — adsorbat 	<ul style="list-style-type: none"> - Kuantitasnya kecil, sehingga jarang dipakai di pabrik
Continuous fixed bed	<ul style="list-style-type: none"> - Sangat mudah digunakan dan murah - Adsorbat dapat terus menerus kontak dengan sejumlah adsorben dalam sistem fixed bed 	<ul style="list-style-type: none"> - Sulit untuk melakukan desain dan optimalisasi fixed-bed kolom tanpa pendekatan kuantitatif
Continuous moving bed	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorben dapat langsung diregenerasi setelah digunakan 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan adsorben dalam jumlah besar untuk menyelesaikan adsorpsi - Susah digunakan dan sangat mahal
Continuous fluidized bed	<ul style="list-style-type: none"> - Mampu mengadsorpsi dalam jumlah yang besar - Adsorben secara terus menerus mengalir secara otomatis dengan operasi yang terkontrol - Adanya pencampuran cepat antara adsoben dan adsorbat 	<ul style="list-style-type: none"> - Susah digunakan dan sangat mahal - Waktu kontak antara adsorben – adsorbat sedikit

2.3.5.1 Flow Direction pada Fixed Bed Adsorption

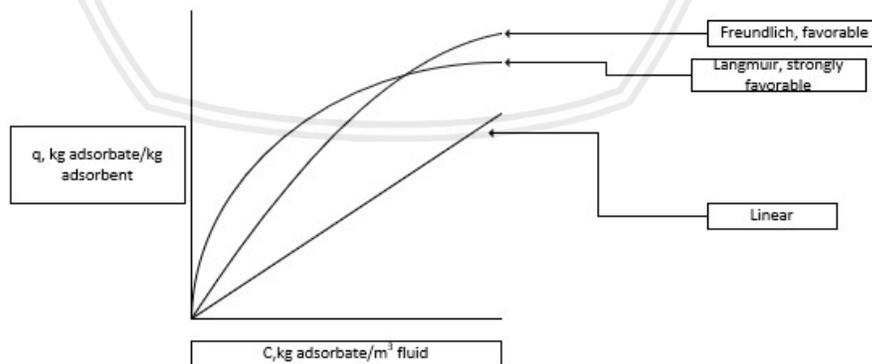
Arah aliran untuk adsorpsi fixed bed ditentukan dapat ditentukan berdasarkan umpan yang masuk tersebut berupa gas atau cairan. Untuk umpan fase gas dan uap, arah aliran cenderung mengarah ke atas (*upflow*) karena gas otomatis bergerak dari bawah

ke atas sehingga tidak diperlukan tekanan tambahan untuk menggerakkan gas. Kelemahan dari aliran *upflow* itu sendiri yaitu adsorben dapat terfluidisasi dan saling bergesekan. Pada proses adsorpsi biasanya menggunakan aliran *upflow* agar proses adsorpsinya berjalan dengan lancar, tidak ada gas yang tertahan di dalam kolom, tidak memerlukan tekanan tambahan untuk menggerakkan gas, dan waktu tinggal gas yang tidak terlalu lama di dalam kolom adsorpsi.

Untuk aplikasi fase cair, gaya apung perlu dipertimbangkan juga. Kecepatan aliran ke arah atas biasanya cukup rendah untuk mencegah pengangkatan *fixed bed*. Namun, dalam beberapa aplikasi diinginkan untuk ekspansi *fixed bed* dan membatasi penurunan tekanan. Karena kecepatan minimum yang menyebabkan pengangkatan terlampaui, penurunan tekanan hanya meningkat sedikit dengan peningkatan kecepatan lebih lanjut (Barry, 1998).

2.3.6 Keseimbangan pada Adsorpsi

Pada umumnya, adsorpsi gas dideskripsikan dalam kondisi isothermal (suhu konstan). Keseimbangan antara konsentrasi solute pada fluida dan konsentrasi solute pada padatan (adsorben) sendiri dapat dimodelkan dengan persamaan. Persamaan-persamaan yang digunakan ialah persamaan adsorpsi isothermal Henry, persamaan adsorpsi isothermal Freundlich, dan persamaan adsorpsi isothermal Langmuir (Geankoplis, 1993). Data –data dari persamaan isothermal tersebut dapat diplot ke dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik persamaan-persamaan adsorpsi isothermal (Geankoplis, 1993)

dimana q ialah konsentrasi solute pada solid (adsorben) dan c ialah konsentrasi solute pada fluida.

Persamaan adsorpsi isothermal Henry digunakan untuk adsorpsi isothermal linear, dimana persamaan ini mirip Hukum Henry.

$$q = Kc$$

dimana nilai K ialah konstan dan didapatkan secara eksperimen.

Persamaan isothermal Freundlich biasa digunakan untuk adsorpsi fisika dan berguna pada cairan.

$$q = Kc^n$$

dimana K dan n didapat secara eksperimen dan bernilai konstan. Jika dibuat plot grafik q terhadap c , maka slopenya ialah n yang tak berdimensi.

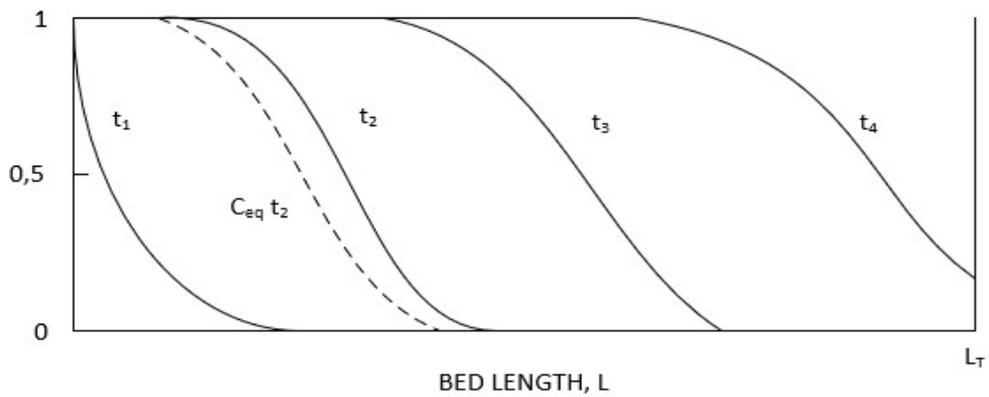
Persamaan adsorpsi isothermal Langmuir ialah sebagai berikut:

$$q = \frac{q_0 c}{K + c}$$

dan memiliki basis teoritis. q_0 dan K yang bernilai konstan empiris, dan nilai q_0 dalam kg adsorbat/kg padatan, dan K dalam kg^2/m^3 . Persamaan ini diperoleh dengan mengasumsikan hanya ada beberapa sisi aktif yang tersedia untuk mengadsorpsi, hanya terbentuk satu lapisan, adsorpsi bersifat *reversible*. Dengan memplot $1/q$, terhadap $1/c$, maka slopenya ialah K/q_0 dan interceptnya ialah $1/q_0$.

2.3.6.1 Profil Konsentrasi

Pada adsorpsi dalam kolom fixed bed, konsentrasi solute pada fluida dan padatan(adsorben) berubah seiring waktu dan posisi pada fixed bed. Konsentrasi ini dapat dibuat dalam profil konsentrasi seperti gambar 2.3.

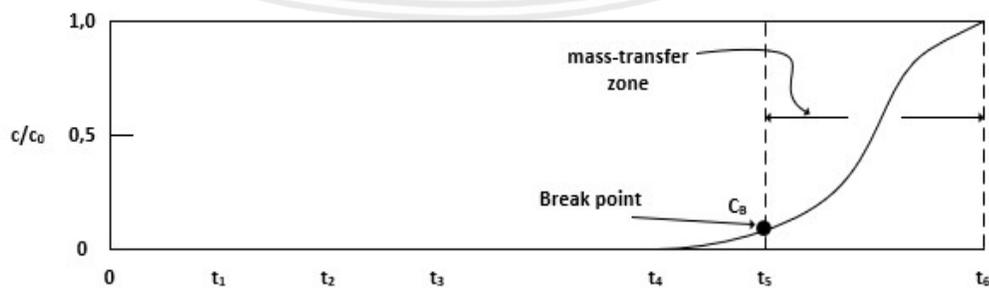


Gambar 2.3 Profil Konsentrasi untuk adsorpsi pada fixed bed

dimana c/c_0 ialah konsentrasi relative solute fluida terhadap umpan. Profil konsentrasi dimulai pada t_1 dimana zona transfer massa terjadi dekat inlet kolom, tempat kontak pertama solute dengan adsorben. Setelah beberapa menit, padatan dekat inlet akan jenuh, dan zona transefer massa pun akan menjauh dari inlet kolom, sehingga gradient konsentrasi pun akan berubah menjadi bentuk S, seperti pada t_2 . Seiring waktu berjalan, zona transfer massa akan bergerak menuju outlet kolom, seperti ditunjukkan pada t_3 dan t_4 .

2.3.6.2 Kurva Breakthrough

Kurva breakthrough merupakan kurva yang dapat digunakan untuk memprediksi profil konsentrasi solute pada adsorpsi fixed bed. Gambar 2.4 merupakan kurva *breakthrough*.



Gambar 2.4 Kurva Breakthrough untuk adsorpsi pada fixed bed

dimana c/c_o ialah konsentrasi relative solute fluida terhadap umpan. Pada t_1 dan t_2 , konsentrasi keluar bernilai nol hingga zona transfer masa mencapai outlet kolom pada t_4 . Konsentrasi keluaran kemudian meningkat hingga pada t_5 mencapai c_b , yang disebut *break point*. Setelah melewati waktu *break point*, konsentrasi akan terus meningkat hingga c_d , yang mana merupakan akhir dari kurva *breakthrough* dimana kolom dianggap sudah tidak efektif untuk digunakan (Geankoplis, 1993).

Pada zona transfer massa yang relatif sempit terhadap panjang kolom, maka kurva *breakthroughnya* relatif curam, dan hampir semua kapasitas bed digunakan untuk adsorpsi. Untuk zona transfer massa yang hampir sama dengan panjang kolom, maka kurva *breakthroughnya* akan memanjang, dan hanya setengah kapasitas bed yang digunakan untuk adsorpsi. Sehingga, zona transfer massa yang sempit yang lebih

diharapkan agar adsorben dapat digunakan lebih efisien dan dapat dikurangi biaya regenerasinya (McCabe, 1993).

2.4 KARBON AKTIF

Karbon aktif dapat dihasilkan dari berbagai sumber karbon mentah seperti lignite, gambut, batubara, dan sumber daya biomassa seperti kayu, serbuk gergaji, dan tempurung kelapa. Karbon aktif adalah karbon amorf yang dibuat oleh atom C yang terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal dengan satu atom C datar pada setiap sudut yang luas permukaannya berkisar dari 300 m²/g sampai 3500 m²/g dan memiliki struktur pori yang memiliki sifat sebagai adsorbent (Doloksaribu, 2017). Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling banyak digunakan pada suatu proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang baik (Marsh, 2006).

Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari tumbuh – tumbuhan, limbah maupun mineral yang mengandung zat karbon dapat dibuat menjadi karbon aktif dengan proses karbonisasi. Bahan yang mengandung karbon dalam tempat tertutup dioksidasi/dibakar dengan udara atau uap untuk menghilangkan hidrokarbon yang akan menghalangi proses penyerapan. Proses karbonisasi dilakukan pada tempat yang menggunakan *hot steam* pada suhu dengan rentang 500 – 800 °c. Butiran carbon yang diperoleh memiliki kekuatan mekanik dan karena komponen *volatile* hilang, material akan menjadi lebih kaya karbon dan struktur berpori semakin terbuka. Persyaratan mutu karbon aktif menurut SNI No. 06-3730-1995 dapat dilihat pada tabel 2.4.

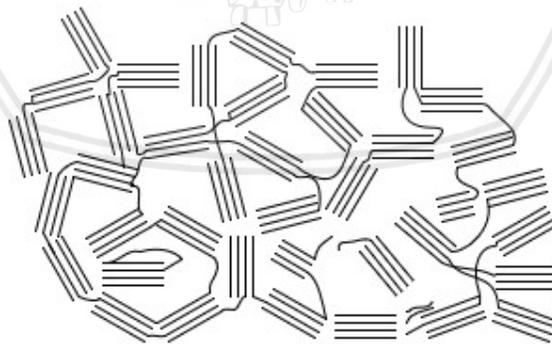
Tabel 2.4 Persyaratan mutu karbon aktif

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar air	Mak. 4,5%	Mak. 15%
Kadar abu	Mak. 2,5%	Mak. 10%
Kadar zat volatile	Mak. 15%	Mak. 25%
Kadar karbon tertambat	Mak. 80%	Mak.65%
Daya serap Metilen blue	Min. 60 mg/g	Min. 120 mg/g
Lolos mesh 325	-	90%

Sumber: Departemen perindustrian dan perdagangan, 2003

2.4.1 Struktur fisika Karbon

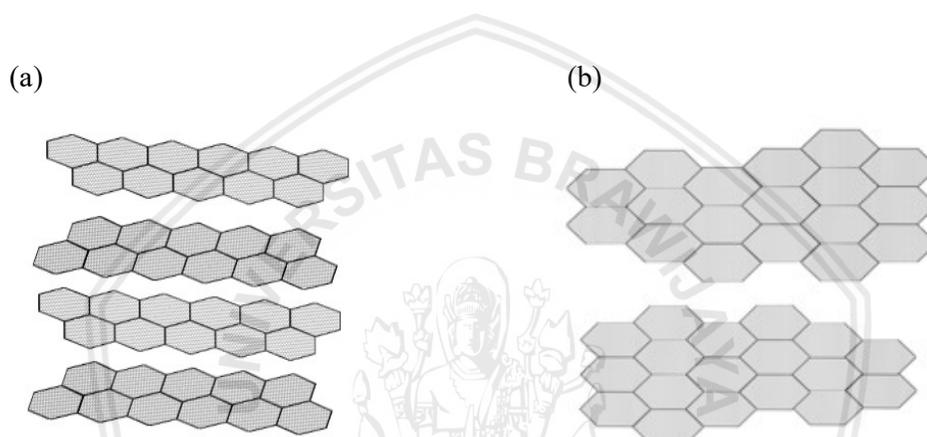
Struktur karbon setelah proses karbonisasi terdiri dari sistem kristalin yang mirip dengan grafit yang diikat oleh ikatan tipe alifatik untuk membuat polimer spasial. Ruang - ruang diantara kristalin yang berdekatan merupakan struktur berpori utama dari karbon. Produk karbonisasi memiliki struktur berpori yang masih kecil belum terbuka sepenuhnya, sehingga tidak dapat digunakan dalam praktiknya sebagai adsorben. Proses aktivasi diperlukan untuk membuka pori – pori karbon sehingga dapat berfungsi dengan baik saat proses adsorpsi (Jankowska, dkk, 1991). Skema struktur karbon aktif diilustrasikan pada gambar 2.5. Setiap baris dalam gambar ini mewakili lapisan cincin karbon heksagonal yang disusun mirip dengan kristal grafit.



Gambar 2.5 Skema ilustrasi struktur karbon aktif

(Jankowska, dkk, 1991)

Terlepas dari kesamaan struktural antara karbon aktif dengan kristal grafit, terdapat perbedaan antara keduanya yakni pada orientasi masing masing lapisan. Jarak interlayer dalam karbon aktif berkisar antara 0,34 samapi 0,35 nm sedangkan Kristal grafit 0,335 nm. Jumlah lapisan pada karbon aktif juga lebih terbatas (biasanya hanya 5 lapisan). Gambar 2.6 mengilustrasikan perbedaan antara struktur grafit dan karbon aktif. Perbedaan lain antara kedua struktur adalah adanya gugus fungsi permukaan pada permukaan karbon aktif. Gugus fungsi permukaan dapat berasal dari bahan awal yang menghasilkan karbon aktif. Hal ini terutama terjadi pada karbon aktif yang berasal dari material mentah yang relative kaya akan oksigen seperti kayu.

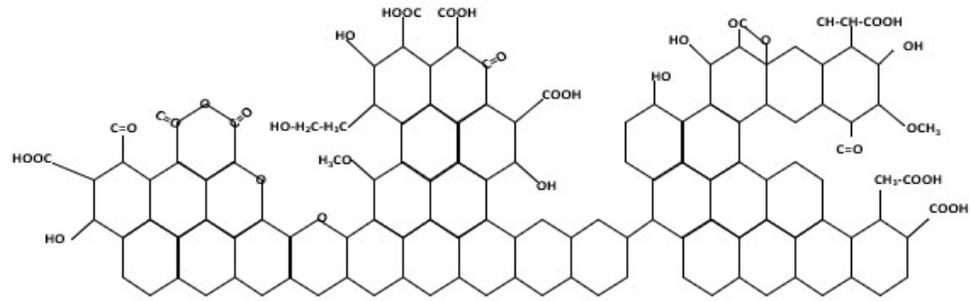


Gambar 2.6 (a) dimensi kristal grafit dan (b) struktur karbon aktif.

(Jankowska, dkk, 1991)

2.4.2 Struktur kimia karbon aktif

Secara umum karbon aktif dapat mengandung beberapa oksigen yang terikat secara kimia dan sejumlah kecil hydrogen yang dikombinasikan dengan atom karbon pada permukaan baik secara langsung atau melalui oksigen. Gambar 2.7 mengilustrasikan model permukaan karbon aktif terfragmentasi dengan gugus fungsi.

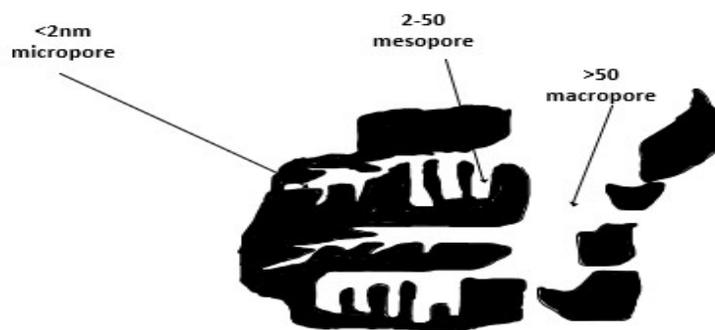


Gambar 2.7 model fragmen permukaan karbon aktif

(Jankowska, dkk, 1991)

Karbon aktif memiliki luas permukaan dan pori yang berbeda-beda disetiap jenisnya. Luas permukaan dan pori ini sangat menentukan efektivitas dari proses adsorpsi yang berlangsung. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar juga daya adsorpsinya terhadap suatu molekul. Ukuran pori pada karbon aktif menentukan apakah suatu molekul dapat diadsorpsi atau tidak. Jika ukuran pori lebih kecil dibanding ukuran molekul yang akan diadsorpsi maka proses adsorpsi tidak dapat terjadi.

Kebanyakan karbon aktif memiliki bentuk granular dan serbuk. Karbon aktif yang berbentuk serbuk halus ukuran partikelnya berkisar 5 – 10 μm . karbon aktif yang berbentuk granular ukuran partikelnya berkisar 0,8 – 1,2 mm. Karbon aktif memiliki 3 variasi ukuran pori yaitu mikropori, mesopori, dan makropori. Mikropori memiliki ukuran < 2nm, mesopori memiliki ukuran 2 – 5 nm, dan makropori memiliki ukuran >50 nm. Juga terdapat pula ukuran ultramikropori (< 0,7 nm) dan supermikropori (0,7 – 2 nm) (Manocha, 2003). Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi ukuran pori karbon aktif.



Gambar 2.8 Ukuran pori karbon aktif

(Manocha, 2003)

2.4.3 Jenis – jenis karbon aktif

Karbon aktif secara umum terdiri atas 2 jenis yaitu (Arifin, 2008):

1. Karbon aktif sebagai pemucat

Karbon aktif ini berbentuk seperti serbuk yang sangat halus (gambar 2.9a) dan juga ada yang berbentuk granular (gambar 2.9b). Karbon aktif jenis ini diperoleh dari bahan baku yang memiliki densitas kecil, struktur yang lemah, mudah hancur, dan kadar abu yang tinggi berupa silika seperti bambu kuning, serbuk gergaji, dan ampas pada proses pembuatan kertas.



a) Karbon aktif bentuk powder b) karbon aktif bentuk granular

Gambar 2.9 karbon aktif sebagai pemucat

(Arifin, 2008)

2. Karbon aktif sebagai penyerap udara

Karbon jenis ini biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras dan mempunyai tipe pori yang lebih halus (gambar 2.10). Karbon aktif ini biasanya diperoleh dari tulang, tempurung kelapa atau bahan baku lainnya yang memiliki struktur keras, berat jenis tinggi, tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi, dan kadar abunya rendah. karbon aktif penyerap udara ini digunakan untuk proses – proses yang berhubungan dengan gas seperti pemisahan dan pemurnian gas.



Gambar 2.10 Bentuk karbon aktif sebagai penyerap udara

(Arifin, 2008)

2.4.4 Proses pembuatan karbon aktif

Proses pembuatan karbon aktif secara umum terdapat tiga tahapan yaitu:

1. Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku. Proses ini digunakan untuk menyempurnakan proses karbonisasi. Proses dehidrasi biasanya dilakukan dengan menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau dipanaskan dalam oven.

2. Karbonisasi

Karbonisasi atau proses pengarangan adalah suatu proses yang berfungsi untuk mengubah bahan – bahan organik menjadi elemen karbon. Pada tahap ini sebagian besar unsur non karbon akan hilang. Proses ini biasanya dilakukan dengan pembakaran bahan baku pada suhu tinggi, sehingga senyawa - senyawa kompleks yang menyusun material organik terurai menjadi arang dengan andungan karbon yang tinggi. Senyawa – senyawa kompleks yang menyusun material organik terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Senyawa hemiselulosa terurai pada suhu $200^{\circ}\text{C} - 260^{\circ}\text{C}$, kemudian senyawa selulosa terurai pada suhu $240^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$, dan lignin terurai pada suhu $280^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ (Destyorini, 2010). Pelepasan unsur – unsur volatile pada bahan baku menyebabkan terbentuknya struktur pori yang

mulai terbuka. Proses karbonisasi dihentikan bila tidak mengeluarkan asap lagi. Faktor – faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi terdiri atas:

1. Suhu karbonisasi

Suhu pada proses karbonisasi sangat mempengaruhi jumlah dan kualitas dari arang yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu maka arang yang dihasilkan semakin berkurang dikarenakan berubah menjadi cairan dan gas yang semakin meningkat. Sehingga suhu perlu dikontrol sedemikian rupa sesuai dengan bahan baku yang digunakan.

2. Waktu karbonisasi

Waktu karbonisasi juga berpengaruh terhadap jumlah dan kualitas arang yang dihasilkan. Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka terjadi reaksi pirolisis yang menghasilkan cairan dan gas, sehingga arang yang dihasilkan akan semakin berkurang. Waktu karbonisasi harus dikontrol sedemikian rupa sesuai dengan bahan baku yang digunakan.

3. Proses aktivasi

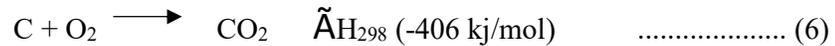
Aktivasi merupakan suatu cara untuk meningkatkan luas permukaan (memperbesar pori) dan daya adsorpsi dari karbon aktif (Marsh, 2006). Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu (Kinoshita, 1988):

a. Aktivasi secara fisika

Aktivasi secara fisika ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa. Proses aktivasi secara fisika menggunakan bantuan panas, uap dan gas N_2 . Aktivasi secara fisika ini juga dapat dilakukan secara langsung dengan pemanasan. Gas – gas yang sering digunakan untuk proses aktivasi secara fisika ini adalah uap air, karbondioksida, oksigen dan nitrogen. Gas – gas ini berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya dan menghilangkan zat – zat yang mudah menguap serta membuang tar dan hidrokarbon - hidrokarbon pengotor pada arang. Proses aktivasi secara fisika umumnya berlangsung pada suhu tinggi sekitar $800^0 C - 1000^0 C$. Gasifikasi karbon dengan dengan uap air dan CO_2 terjadi melalui reaksi bersifat endotermis sebagai berikut (Marsh, 2006):



Sedangkan aktivasi fisika menggunakan oksigen terjadi melalui reaksi yang bersifat eksotermis sebagai berikut:



Faktor – faktor yang mempengaruhi aktivasi secara fisika ini terdiri atas jenis gas yang digunakan dan suhu aktivasi.

b. Aktivasi secara kimia

Aktivasi secara kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bahan – bahan kimia. Bahan – bahan kimia pengaktivasi yang biasa digunakan adalah ZnCl_2 , H_3PO_4 , Na_2CO_3 , CaCl_2 , NaOH , NaCl , CaCl_2 and KOH . Karbon aktif yang diperoleh dengan aktivasi kimia biasanya berbentuk bubuk. Karbon aktif yang dihasilkan dengan menggunakan aktivasi kimia memiliki distribusi pori yang cocok digunakan sebagai adsorben tanpa pengolahan tahap lanjut.

Faktor – faktor yang mempengaruhi aktivasi karbon aktif terdiri atas:

1. Waktu perendaman

Waktu perendaman menggunakan bahan aktivasi perlu dijaga untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, jika lignin terbentuk maka akan menghasilkan senyawa tar.

2. Konsentrasi aktivator

Semakin tinggi konsentrasi dari suatu larutan kimia aktivasi maka semakin kuat larutan tersebut mengikat senyawa untuk keluar melewati mikropori karbon semakin *porous* yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi dari karbon aktif tersebut. Karbon yang telah di aktivasi akan semakin *porous* hal ini dikarenakan activator

telah mengikat senyawa – senyawa tar yang tersisa dari proses karbonisasi dan keluar dari mikropori arang.

3. Ukuran karbon aktif

Semakin kecil ukuran atau diameter arang maka semakin banyak pori – porinya sehingga semakin besar daya serap dari karbon aktif tersebut.

2.4.5 Sifat sifat karbon aktif

Sifat – sifat dari suatu karbon aktif yaitu:

1. Ukuran partikel

Ukuran dari partikel karbon aktif mempengaruhi kecepatan proses adsorpsi tetapi tidak mempengaruhi kapasitas dari adsorpsi tersebut.

2. Luas permukaan

Semakin luas permukaan suatu karbon aktif maka semakin meningkat daya serap dari karbon aktif tersebut.

3. Porositas

Proses pemisahan antara komponen berkarbon dengan komponen non-organik selama proses aktivasi membentuk suatu ruang yaitu pori.

2.4.6 Kualitas karbon aktif

Terdapat beberapa parameter mengenai kualitas suatu karbon aktif yaitu:

1. Kadar air terikat (*inherent moisture*)

Inherent moisture atau kadar air terikat merupakan air yang terkandung didalam karbon setelah karbon tersebut melewati proses karbonisasi dan aktivasi kimia, baik terikat secara kimiawi maupun akibat pengaruh luar seperti iklim, ukuran butiran, dan penyaringan. Penetapan kadar air berguna untuk penentuan sifat higroskopis karbon aktif

2. Kadar zat terbang (*volatile matter*)

Kadar zat terbang menunjukkan nilai presentase kandungan zat – zat volatile yang terkandung dalam karbon aktif seperti CO, H₂, CH₄, dan uap – uap seperti tar, gas CO₂ dan H₂O.

3. Kadar abu (*ash content*)

Kadar abu menunjuka abu yang terdapat di dalam karbon aktif yang merupakan mineral matter yang tidak terbakar pada proses karbonisasi dan tidak terpisah pada saat proses aktivasi.

4. Kadar karbon tertambat (*fixed carbon*)

Kadar karbon tertambat adalah kandungan karbon setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Presentase kadar karbon tertambat dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu dan kadar zat terbang.

5. Daya serap (*adsorpsi*)

Daya serap merupakan sifat utama dari suatu karbon aktif yang paling penting. Daya serap dari suatu karbon aktif dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH dan temperature.

2.5 TEMPURUNG KELAPA

Tempurung kelapa selain digunakan sebagai bahan bakar secara langsung dalam bentuk arang juga dapat dimanfaatkan dalam dunia industri yaitu sebagai bahan adsorpsi setelah di aktivasi terlebih dahulu menjadi karbon aktif atau arang aktif. Berat dan tebal tempurung kelapa sangat bergantung dari jenis kelapa tersebut. Umumnya berat tempurung kelapa sekitar 15 – 19% dari berat total buah kelapa dengan ketebalan 3 – 5 mm. Tempurung kelapa termasuk kedalam golongan kayu keras, yang secara kimiawi memiliki komposisi yang tertera pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi kimiawi tempurung kelapa

Komponen	Presentase (%)
Cellulose	33,61
Hemicellulose	19,27
Lignin	36,51

(Larasati, 2013)

2.6 AKTIVATOR NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) yang juga dikenal sebagai sodium hidroksida atau soda kaustik merupakan sejenis basa logam kaustik. NaOH biasa digunakan diberbagai macam bidang industri. Kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi

sabun dan deterjen, bubur kayu dan kertas, industri air minum dan lain lain (Anonim, 2011)

2.6.1 Sifat Fisika Natrium Hidroksida (NaOH)

Sifat fisika dari natrium hidroksida dapat dilihat pada tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Sifat fisika Natrium Hidroksida (NaOH)

Sifat fisika	Nilai
Fase	Padat
Densitas	2,1 g/cm ³
Titik didih	1390 ⁰ c
Titik leleh	318 ⁰ c
Warna	putih
Berat molekul	40g/mol
Kapasitas panas	-36,56 Kkal/kg.° c
Panas pembentukan	-47,234 Kkal/kmol

(Perry, 1997)

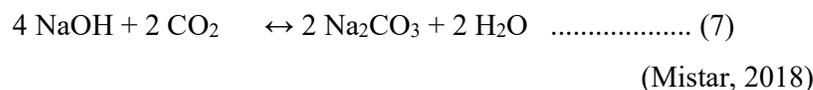
2.6.2 Sifat Kimia Natrium Hidroksida (NaOH)

NaOH merupakan zat berwarna putih dan rapuh dengan cepat, dapat mengadsorpsi uap air dan CO₂ dari udara. NaOH mudah larut dalam air, jika kontak dengan udara akan mencair dan jika dibakar akan meleleh. Larutan NaOH sangat basa dan biasa digunakan untuk reaksi dengan asam lemah. NaOH tidak bisa terbakar meskipun reaksinya dengan metal amfoter seperti aluminium, timah, seng menghasilkan gas nitrogen yang bisa menimbulkan ledakan. NaOH juga digunakan untuk mengendapkan logam berat dan dalam mengontrol keasaman air (Glory, 2012).

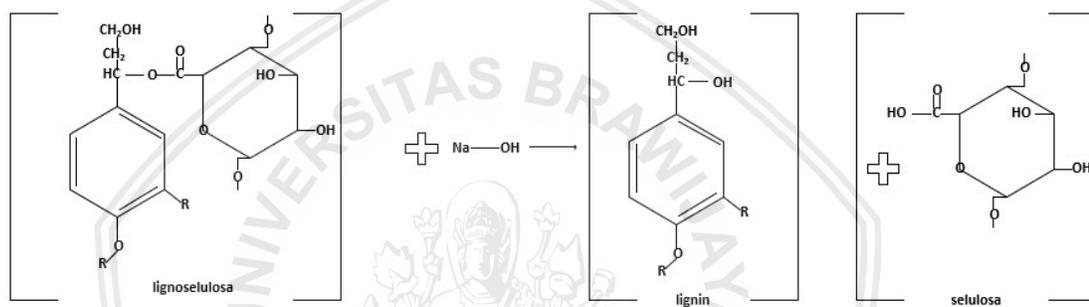
2.6.3 NaOH Sebagai Aktivator

Natrium hidroksida dapat digunakan sebagai aktivator karbon aktif. Metode aktivasi menggunakan NaOH adalah sebagai berikut, Arang karbon yang sudah dikecilkan ukurannya kemudian di aktivasi menggunakan natrium hidroksida (NaOH) dengan ratio perbandingan karbon terhadap NaOH 1:3 (g/g) dan ditambah 10 ml aquades kemudian direndam selama 2 jam sambil pengadukan menggunakan magnetic stirrer. Setelah itu, disaring kemudian dikeringkan menggunakan oven

pada suhu 105⁰ C hingga beratnya konstan. (Andre L, Cazetta, 2011). Natrium hidroksida (NaOH) juga dapat bereaksi dengan CO₂ seperti persamaan dibawah ini.



Natrium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai aktivator bertujuan untuk menghilangkan senyawa lignin dan pengotor seperti dalam arang seperti K, Na, Mg, Ca, Mn dan Fe sehingga luas permukaan, ukuran pori lebih besar dan gugus fungsi arang aktif bertambah (Yulianti, 2010). Proses pemisahan selulosa dan lignin oleh NaOH dapat dilihat pada gambar 2.11.

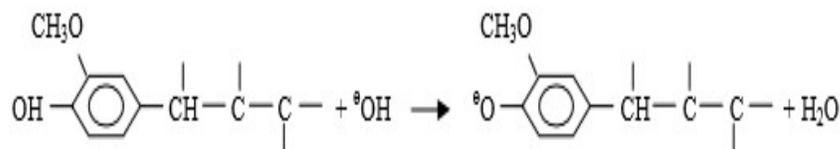


Gambar 2.11 Mekanisme pemutusan ikatan antara lignin dan selulosa menggunakan NaOH

(Fengel dan Wegener, 1995)

Ion OH⁻ dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sedangkan ion Na⁺ akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam fenolat ini bersifat mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna hitam pada larutan yang disebut lindi hitam (black liquor) (Fengel dan Wegener, 1995).

Larutnya lignin ini disebabkan oleh terjadinya transfer ion hidrogen dari gugus hidroksil pada lignin ke ion hidroksil (Gilligan, 1974). Reaksi antara lignin dengan gugus hidroksil dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Reaksi antara lignin dengan gugus hidroksil

(Gilligan, 1974)

2.7 ANALISA FTIR

Instrumen yang digunakan untuk mengukur resapan radiasi infra merah pada berbagai panjang gelombang disebut spektrometer inframerah. Pancaran inframerah umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnet yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Pancaran inframerah yang kerapatannya kurang dari pada 100 cm^{-1} (panjang gelombang lebih dari $100 \mu\text{m}$) diserap oleh sebuah molekul organik dan diubah menjadi energi putaran molekul.

Identifikasi pita absorpsi khas yang disebabkan oleh berbagai gugus fungsi merupakan dasar penafsiran spektrum inframerah. Hadirnya sebuah puncak serapan dalam daerah gugus fungsi dalam sebuah spektrum inframerah hampir selalu merupakan petunjuk pasti bahwa beberapa gugus fungsi tertentu terdapat dalam senyawa cuplikan. Demikian pula, tidak adanya puncak dalam bagian tertentu dari daerah gugus fungsi sebuah spektrum inframerah biasanya berarti bahwa gugus tersebut yang menyerap pada daerah itu tidak ada (Pine, 1980). Asam karboksilat mempunyai dua karakteristik absorpsi IR yang membuat senyawa $-\text{CO}_2\text{H}$ dapat diidentifikasi dengan mudah. Ikatan O-H dari golongan karboksil diabsorpsi pada daerah 2500 sampai 3300 cm^{-1} , dan ikatan C=O yang ditunjukkan diabsorpsi di antara 1710 sampai 1750 cm^{-1} (McMurry, 2007).

2.7.1 Prinsip Alat FTIR

Sistim optik Spektrofotometer FTIR dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak dan jarak cermin yang diam. Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistim optik dari Spektrofotometer IR yang

didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistim optik Fourier Transform Infra Red. Pada sistim optik FTIR digunakan radiasi LASER (Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (Tetra Glycerine Sulphate) atau MCT (Mercury Cadmium Telluride). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah (McMurry, 2007).

2.8 KROMATOGRAFI GAS

Kromatografi gas adalah teknik pemisahan komponen-komponen senyawa dalam campuran (sampel) dengan tujuan untuk memperoleh informasi tentang komposisi dan jumlah molekul di dalamnya. Informasi yang diperoleh dari analisis kromatografi dapat mencakup kromatogram (gambar grafik output detektor), informasi mengenai ketinggian dan area puncak yang diselesaikan (cukup dipisahkan) dalam kromatogram, identitas molekulnya, dll (Poole, Colin F, 2012).

Pada kromatografi gas, komponen-komponen senyawa dalam campuran akan diuapkan, lalu akan dibawa dan dielusi oleh fasa gerak melalui fasa diam yang berada dalam kolom. Kromatografi gas dapat dibagi menjadi dua berdasarkan wujud fasa diam yang berada di dalam kolom. Kromatografi gas dengan fasa diam suatu padatan disebut *kromatografi gas-padat (gas-solid chromatography)*. Kromatografi dengan fasa diam berupa cairan disebut *kromatografi gas-cair (gas-liquid chromatography)* (Leba, Maria Aloisia, 2017).

2.8.1 Komponen-Komponen Standar Alat *Gas Chromatography*

a) Gas pembawa (*Gas carrier*)

Gas pembawa atau adalah fase gerak dalam kromatografi gas. Gas ini terdapat pada suatu tangki bertekanan sangat tinggi (± 150 atm). Syarat ideal gas pembawa adalah:

- Gas pembawa harus bersifat inert

- Murni, murah, dan mudah diperoleh
- Pemilihan gas pembawa sangat tergantung pada jenis detector yang digunakan
- System pendukung gas pembawa harus menyediakan *molecular sieves* sebagai bahan untuk menghilangkan air dan impurities yang lain.

b) Pengatur aliran dan tekanan gas pembawa

Kecepatan aliran gas mempengaruhi kerja kolom, sehingga perlu pengaturan yang tepat untuk mendukung proses kerja dalam kolom. Pengatur ini disebut pengurang Dragger.

c) Tempat injeksi sampel

Fungsi dari injector adalah mengubah fasa sampel menjadi gas atau uap. Volume injeksi bergantung pada fasa sampel.

d) Kolom

Kolom dalam kromatografi gas merupakan tabung berbentuk kumparan, berbentuk lurus, atau bengkok seperti huruf V/W. Tabung ini terbuat dari bermacam-macam bahan, contohnya ialah tembaga, teflon, *stainless steel*, aluminium dan gelas.

e) Detektor

Detektor berfungsi untuk mengubah sifat-sifat molekul dari senyawa organik menjadi arus listrik yang kemudian akan diteruskan ke recorder menjadi gambar/kromatogram.

Ada banyak jenis detector yang digunakan pada kromatografi gas. Detektor non-selektif akan memberikan respons pada semua senyawa kecuali senyawa gas pembawa. Detektor selektif akan memberikan respon pada kisaran senyawa yang memiliki sifat fisika dan kimia yang sama. Detektor spesifik hanya memberikan respon pada satu senyawa saja.

(Rubiyanto, 2016)

2.8.2 Prinsip Kerja Kromatografi Gas

Pemisahan dengan kromatografi gas didasarkan atas distribusi komponen-komponen senyawa dalam campuran terhadap fasa diam di dalam kolom. Analir dalam sampel yang berwujud cair akan diuapkan dan dibawa oleh fasa gerak

bermigrasi melalui fasa diam di dalam kolom dengan kecepatan tertentu dan akan terelusi berdasarkan kenaikan titik didih dan interkasinya dengan fasa diam (Leba, Maria Aloisi, 2017).

2.9 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian mengenai proses adsorpsi biogas telah banyak dilakukan menggunakan berbagai macam adsorben. Supriyanti (2015) melakukan penelitian pemurnian biogas untuk meningkatkan nilai kalor melalui adsorpsi dua tahap susunan seri dengan media karbon aktif dari batok kelapa dengan aktivasi adsorben secara fisika yaitu dipanaskan pada suhu 300°C . Hasil yang diperoleh berupa kadar CO_2 yang terkandung dalam gas setelah pemurnian turun untuk semua laju alir dibawah 14% dan kadar CH_4 tertinggi terdapat pada laju alir 2,4 liter/menit dengan kolom adsorpsi seri. Apriyanti, dkk (2012) melakukan penelitian pemurnian biogas dengan mengadsorpsi CO_2 menggunakan zeolit Zeochem 4A dengan hasil yang diperoleh berupa kadar CO_2 yang diadsorpsi sebesar 18,70%. Selain itu, Widyastuti, dkk (2013) melakukan penelitian pemurnian biogas dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif yang berasal dari cangkang sawit dan dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Hasil yang diperoleh berupa peningkatan kadar CH_4 sebesar 7% dan penurunan kadar CO_2 sebesar 6,1% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, sedangkan karbon aktif komersial meningkatkan kadar CH_4 sebesar 11,5% dan menurunkan kadar CO_2 sebesar 12,9%. Penelitian lain mengenai proses pemurnian biogas juga dilakukan oleh Ritonga (2017) yang melakukan penelitian mengenai optimasi kandungan metana (CH_4) pada biogas kotoran sapi menggunakan adsorben dengan perpaduan antara zeolit dan karbon aktif. Hasil yang diperoleh berupa komposisi adsorben terbaik dalam pemurnian biogas adalah pada perbandingan karbon aktif dan zeolit 50:50 dengan kandungan metana dalam biogas meningkat dari 9.808,56 ppm menjadi 89.590,40 ppm. Penelitian lainnya juga oleh Hamidi (2011) yang melakukan penelitian mengenai peningkatan kualitas bahan bakar biogas melalui proses pemurnian dengan zeolit alam dengan aktivasi menggunakan KOH. Hasil yang diperoleh berupa zeolit yang diaktivasi menggunakan larutan KOH 15%, mampu menurunkan kadar CO_2 yang semula 20% berkurang menjadi 2,75%.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Adsorpsi CO₂ dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilakukan pada laboratorium. Penelitian ini dilakukan dalam lima tahapan. Tahap yang pertama adalah perancangan kolom adsorber. Tahap kedua adalah instalasi peralatan penelitian. Tahap ketiga adalah aktivasi arang tempurung kelapa berbentuk granul. Tahap keempat adalah proses adsorpsi. Tahap terakhir adalah pengujian biogas hasil adsorpsi.

3.2. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel utama, yaitu:

a. Variabel Tetap

Variabel tetap adalah variabel yang selama proses penelitian dikondisikan sama dan diasumsikan konstan. Adapun variabel tetap pada penelitian ini antara lain:

1. Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan perbandingan NaOH dan arang tempurung kelapa 2 : 1 (v/w).
2. Kolom adsorber yang digunakan memiliki dimensi tinggi kolom 500 mm dan diameter kolom $2\frac{1}{2}$ inch atau 63,5 mm.
3. Massa adsorben karbon aktif yang digunakan yaitu 500 gram.
4. Laju alir umpan biogas (v_0) 0,3 liter/ menit.
5. Temperatur operasi proses adsorpsi: pada temperatur ruang.
6. Rentang waktu pengambilan sampel masing – masing pengujian setiap 10 menit selama 110 menit.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah kualitas biogas (presentase penurunan kandungan CO₂) setelah dilakukan pemurnian biogas dengan metode adsorpsi pada kolom adsorpsi dengan menggunakan adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa.

c. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah kondisi yang dikehendaki oleh peneliti. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu:

1. Konsentrasi larutan NaOH untuk aktivasi arang tempurung kelapa divariasikan dengan konsentrasi 1 M, 2M, 3 M.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada proses pemurnian biogas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah arang tempurung kelapa yang berfungsi sebagai adsorben pada proses adsorpsi biogas, biogas diambil dari TPA Talang Agung Kepanjen dimana konsentrasi metan (CH₄) pada biogas dari TPA Talang Agung Kepanjen sudah sangat murni yakni mencapai sekitar 90% yang menandakan kandungan CO₂ kurang lebih sekitar 10% sehingga disini kami melakukan modifikasi kandungan CO₂ pada biogas dengan menambahkan CO₂ murni yang berasal dari tangki pada lab OTK Teknik Kimia Universitas Brawijaya guna menyesuaikan sesuai komposisi biogas murni secara umum, NaOH dengan grade *pro analysys* (p.a) untuk aktivasi arang tempurung kelapa, lem PVC dan lem G yang digunakan untuk menghubungkan sambungan - sambungan selang silikon dan Aquades.

3.3.2. Peralatan

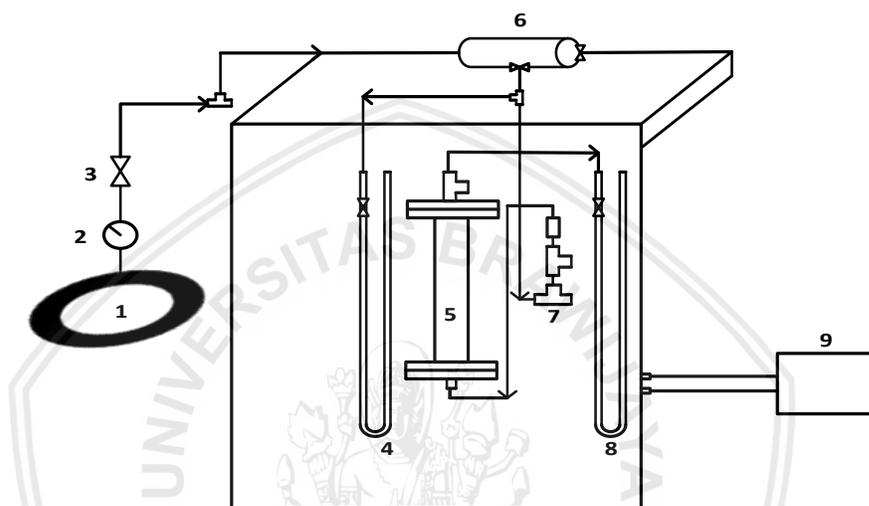
Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini antara lain rangkaian peralatan adsorber yang terdiri dari kolom adsorber berbahan pipa *acrylic* 2 $\frac{1}{2}$ inch yang dihubungkan dengan: selang silikon, sambungan *elbow* dan *T, cup* 2 inch, *kran* gas, manometer dan flowmeter. Peralatan lain yang digunakan adalah neraca analitik untuk menimbang karbon aktif, oven untuk pengujian kadar air karbon aktif, *furnace* untuk pengujian kadar abu dan kadar volatile karbon aktif, desikator untuk menyerap kelembapan sampel yang diuji, siever/ayakan untuk menyamakan ukuran sampel dan kromatografi gas untuk analisis biogas hasil penelitian. Peralatan pendukung lainnya berupa cawan petri, cawan porselen, gelas beaker, gelas ukur dan pipet ukur.

3.4. Tahapan penelitian

Tahapan yang terdapat pada penelitian ini terdiri atas:

1. Perancangan kolom adsorber

Perancangan kolom adsorpsi dalam penelitian ini menggunakan pipa *acrylic* $2\frac{1}{2}$ inchi. Kolom adsorber memiliki tinggi 500 mm dan diameter dalam kolom 63,5 mm. Pada kolom adsorber diameter selang silikon masuk dan keluar sebesar 15 mm. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Rangkaian alat penelitian

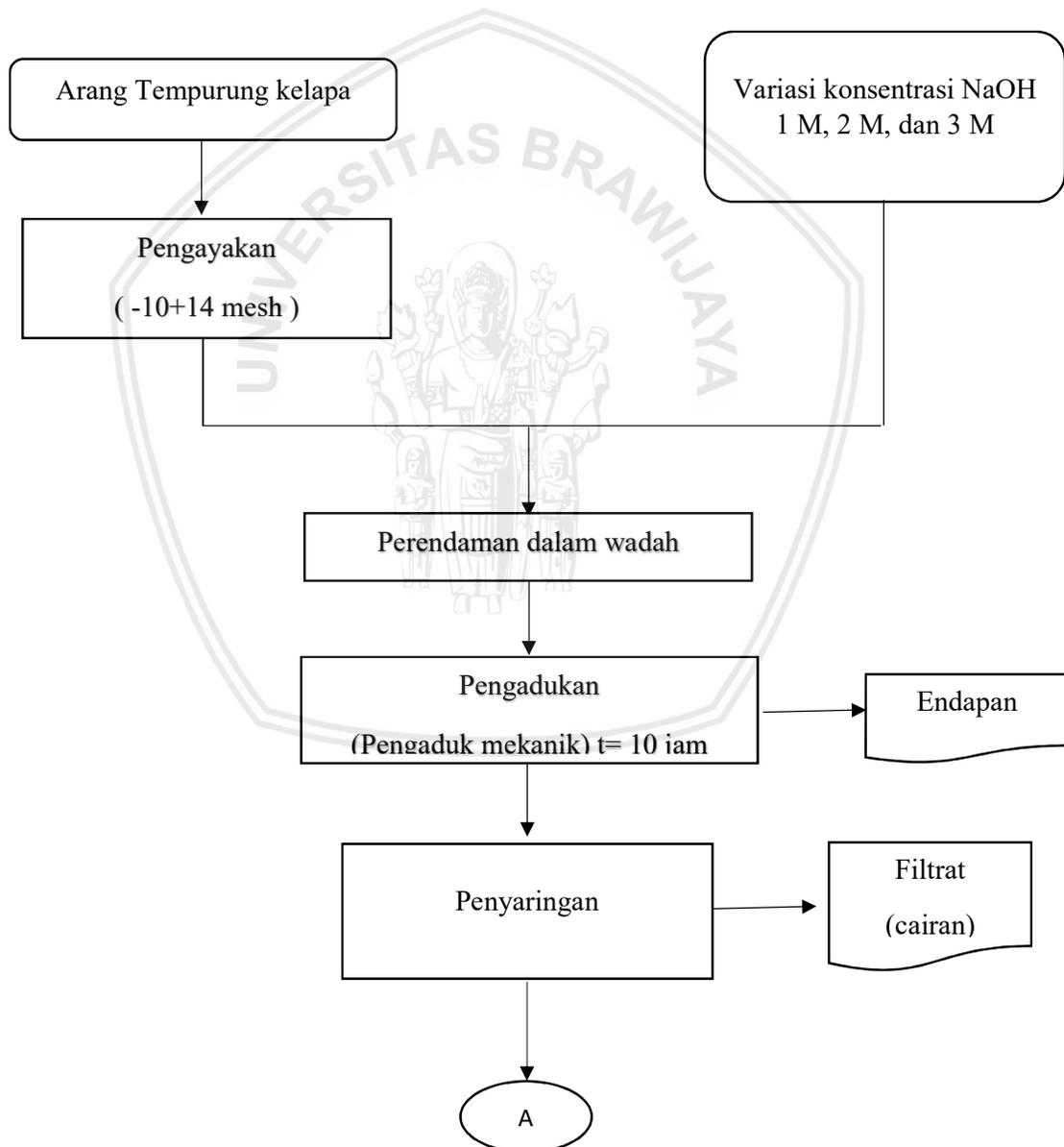
- Keterangan :
- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Tangki umpan gas | 6. Tabung penampung gas |
| 2. Manometer keluaran gas | 7. Flowmeter gas input |
| 3. Katup aliran gas input | 8. Manometer gas output |
| 4. Manometer gas input | 9. Sampel gas output |
| 5. Kolom adsorpsi | |

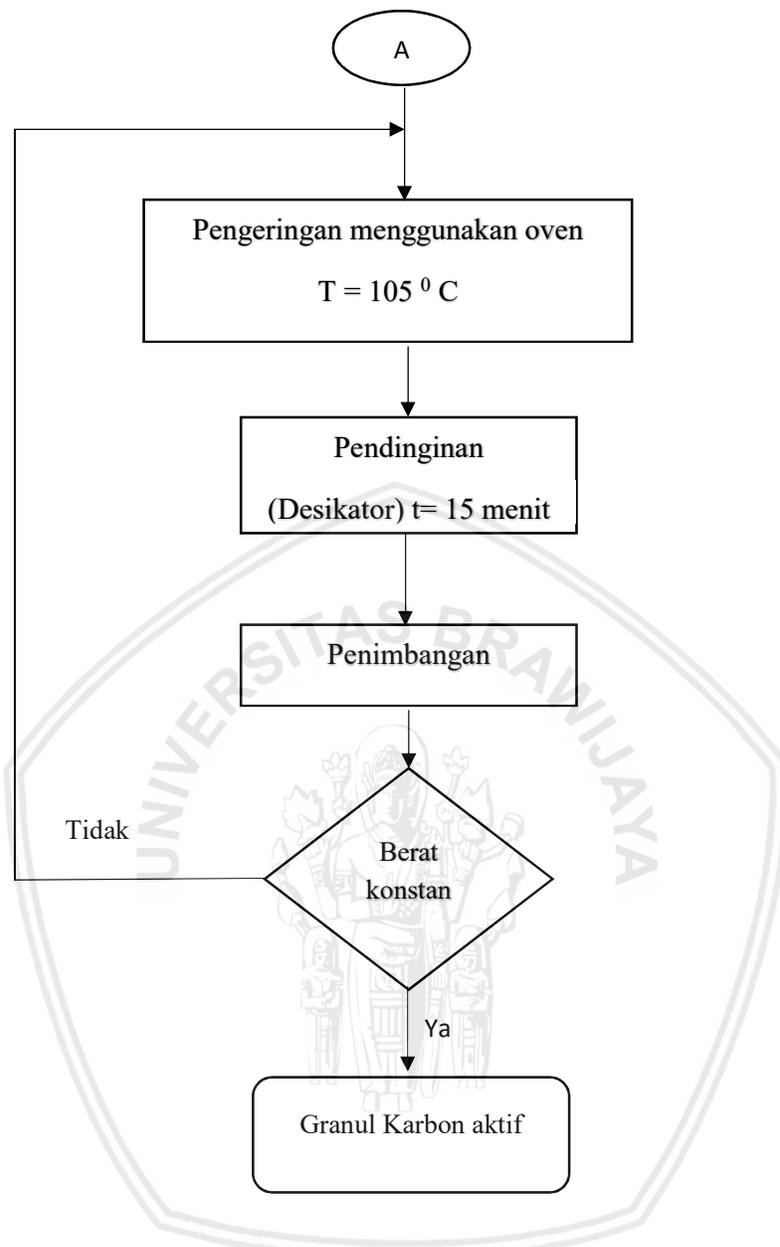
(Rangkaian peralatan yang digunakan sudah tersedia di lab OTK Teknik Kimia UB)

2. Aktivasi arang tempurung kelapa granul

Pada penelitian ini arang tempurung kelapa diambil dari desa Wendit, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Arang tempurung kelapa tersebut kemudian dihancurkan untuk dikecilkan ukurannya kemudian dilakukan pengayakan hingga diperoleh arang tempurung kelapa dengan ukuran -10 +14 mesh. Arang tempurung kelapa yang sudah dikecilkan ukurannya kemudian diaktivasi menggunakan larutan

natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 1 M, 2 M, 3 M dengan perbandingan NaOH dengan arang tempurung kelapa yaitu 2:1 (v/w) kemudian direndam selama 10 jam sambil pengadukan menggunakan pengaduk mekanik. Pengadukan dilakukan untuk mempercepat proses transfer massa yang terjadi pada proses aktivasi. Setelah itu, dilakukan penyaringan campuran NaOH dan karbon aktif tersebut untuk memisahkan karbon aktif dari larutan NaOH, kemudian karbon aktif yang tersaring dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C lalu dilakukan penimbangan sampai massanya konstan. Gambar 3.2 merupakan diagram alir dari proses aktivasi arang tempurung kelapa berbentuk granul.





Gambar 3.2. Diagram alir proses aktivasi arang tempurung kelapa

3. Uji adsorben karbon aktif

Karbon aktif yang digunakan diharapkan sesuai dengan standar SNI No. 06-3730-1995. Karbon aktif diukur kandungan kadar air, kadar abu, kadar volatile, dan kadar karbon terikat sesuai dengan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan mutu karbon aktif

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar air	Mak. 4,5%	Mak. 15%
Kadar abu	Mak. 2,5%	Mak. 10%
Kadar volatile	Mak. 15%	Mak. 25%
Kadar karbon terikat	Mak. 80%	Mak. 65%

(Departemen perindustrian dan perdagangan, 2003)

a. Penetapan kadar air

Contoh uji arang diletakkan pada cawan alumunium untuk dikeringkan dalam oven pada suhu 105° C. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Kemudian dilakukan pengujian kadar air menggunakan alat *moisture analyzer* dengan massa karbon aktif yang digunakan sebanyak 0,1 gram.

b. Penetapan kadar abu

Contoh uji 1 gram di masukan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian proses pengabuan dilakukan di dalam furnace pada suhu 850 °C selama 2 jam. Setelah proses pengabuan selesai, sampel karbon aktif dimasukkan dalam desikator selama 20 menit. Penimbangan sampel karbon aktif kemudian dilakukan kembali hingga berat konstan. Penentuan kadar abu tersebut menggunakan persamaan (SNI, 1995):

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat Abu (g)}}{\text{Berat Awal (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

c. Penetapan kadar volatile

Contoh uji 20 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin. Cawan dimasukkan ke dalam tanur listrik pada 900° C selama 15 menit. Kemudian dimasukkan dalam desikator selama 15 menit dan selanjutnya dilakukan penimbangan hingga berat konstan. Penentuan kadar volatile menggunakan persamaan (SNI, 1995):

$$\text{Kadar Volatile (\%)} = \frac{\text{Berat Awal (g)} - \text{Berat Akhir (g)}}{\text{Berat Awal (g)}} \times 100\% \dots\dots (3)$$

d. Penetapan kadar karbon terikat

Untuk menghitung kadar karbon terikat dapat menggunakan persamaan (SNI, 1995):

$$\text{Kadar Karbon Terikat (\%)} = 100\% - (\text{K. Volatile (\%)} + \text{K. Abu (\%)} + \text{K. air (\%)}) \dots\dots\dots (4)$$

4. Analisa FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisa menggunakan metode Fourier Transform Infrared (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang diperoleh pada permukaan karbon aktif. Metode FTIR sendiri merupakan metode spektroskopi infra merah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk analisis hasil spektrumnya. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode absorpsi, yaitu metode yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Analisa FTIR ini dilakukan pada karbon teraktivasi dan arang tempurung kelapa untuk mengetahui gugus fungsi masing – masing.

5. Analisa XRF

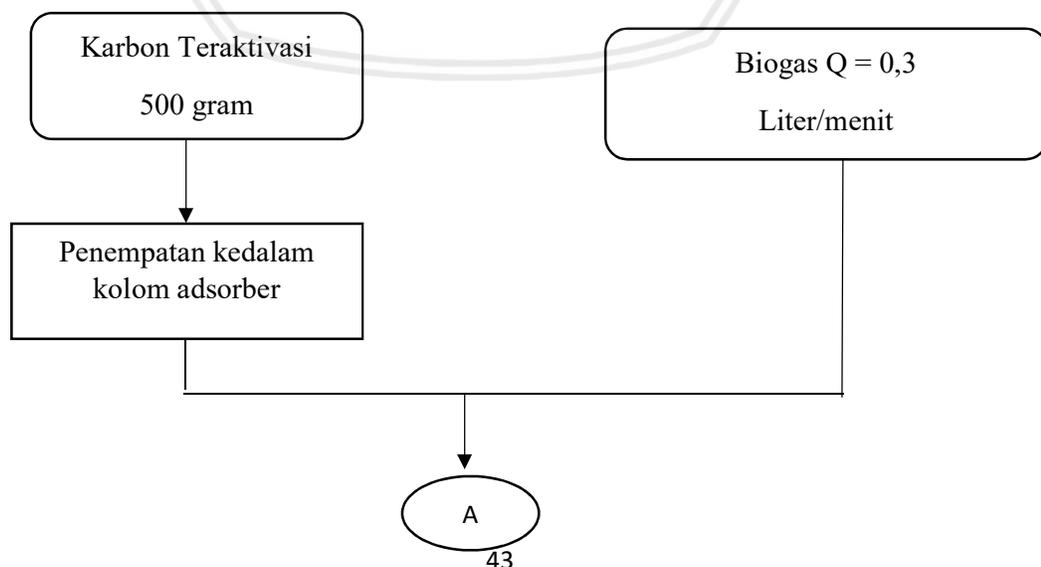
Analisa menggunakan spektroskopi XRF bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat dalam suatu sampel atau batuan. Spektroskopi XRF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Analisa XRF ini dilakukan pada karbon teraktivasi dan arang tempurung kelapa untuk mengetahui unsur-unsur dari masing – masing sampel.

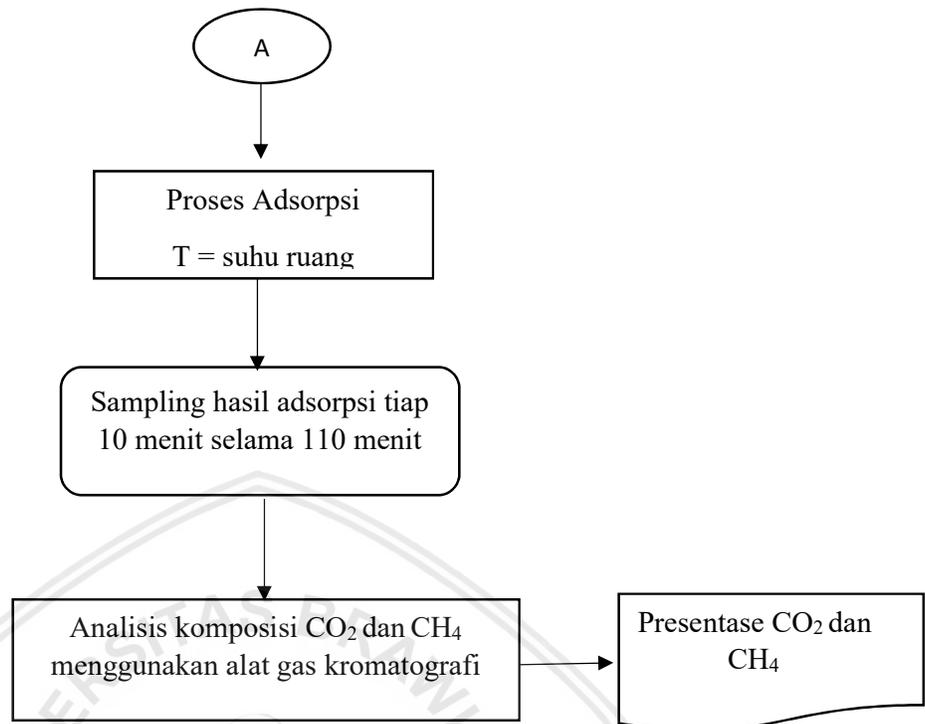
6. Pengujian kolom adsorpsi

Pengujian peralatan adsorber berupa pengecekan kebocoran pada kolom dengan menggunakan air sabun. Air sabun disiram pada permukaan kolom adsorber dimana semua katup dalam keadaan tertutup, kemudian pengehambusan udara menggunakan kompresor. Apabila tidak terdapat gelembung busa pada air sabun sepanjang kolom adsorber tersebut maka kolom adsorber tersebut layak digunakan dan bebas dari kebocoran.

7. Proses adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan mengalirkan biogas dari tabung penyimpanan menuju kedalam kolom adsorber yang telah terisi oleh karbon aktif dari tempurung kelapa. Biogas sebelumnya telah dianalisis kadar CO_2 nya menggunakan gas kromatografi untuk mengetahui kandungan awal dari biogas yang diuji. Proses adsorpsi dilakukan secara kontinyu selama 110 menit. Karbon aktif mula – mula dimasukan ke dalam kolom adsorpsi dengan berat 500 gram dimana ukuran diameter kolom 63,5 mm ($2\frac{1}{2}$ inchi) dan tinggi kolom 500 mm. Biogas diinjeksikan ke dalam kolom adsorber dengan laju alir 0,3 liter/menit secara *up flow*. Sampel gas yang keluar kolom diambil setiap 10 menit menggunakan balon tiup untuk diukur kandungan CO_2 dan CH_4 . Pengukuran kandungan sampel tersebut menggunakan alat gas kromatografi. Dari hasil analisis menggunakan alat gas kromatografi tersebut dapat mengetahui waktu optimal adsorpsi gas CO_2 dari biogas dan mengetahui konsentrasi aktivator NaOH optimal dalam meningkatkan performa karbon aktif. Waktu optimal merupakan waktu dimana kadar CO_2 yang teradsorpsi maksimum. Pada penelitian ini biogas dialirkan dengan laju alir sesuai variabel yang ditetapkan ke dalam kolom adsorpsi hingga karbon aktif pada kolom mengalami titik jenuh. Titik jenuh menandakan bahwa karbon aktif sudah tidak mampu mengadsorpsi gas CO_2 . Hal ini mengindikasikan karbon aktif telah mengalami kesetimbangan antara laju adsorpsi dan desorpsi. Pengujian biogas hasil adsorpsi. Gambar 3.3 berikut merupakan diagram alir proses adsorpsi biogas.





Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Adsorpsi Biogas

- Keterangan:
1. Percobaan dilakukan menggunakan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan NaOH 1M, 2M, dan 3M.
 2. Percobaan diulangi menggunakan arang tempurung kelapa yang tidak teraktivasi.

8. Pengujian biogas hasil adsorpsi

Biogas yang dihasilkan dari proses adsorpsi di uji kandungan CO₂ sisa dengan menggunakan alat gas kromatografi merek Shimadzu tipe GC- 2014.

9. Perhitungan kapasitas adsorpsi

Kapasitas adsorpsi suatu adsorben dapat diketahui menggunakan persamaan berikut ini (Garcia, dkk., 2011):

$$q = \frac{1}{m} \times \frac{\rho}{Mr} \times \left[\int_0^t F_0 - Ft \right] dt \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

q = kapasitas adsorpsi (mol CO₂/gr adsorben)

m	=	massa adsorben (gram)
F_o	=	laju alir CO_2 yang masuk ke dalam kolom adsorpsi (liter/menit)
F_t	=	laju alir CO_2 keluar kolom adsorpsi (liter/menit)
t	=	waktu adsorpsi (menit)
ρ	=	densitas gas CO_2
M_r	=	berat molekul CO_2



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Arang Aktif Granul

Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif yang telah diuji untuk memenuhi parameter kadar air, kadar abu, kadar volatile dan kadar karbon terikat sesuai dengan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Tabel 4.1 menunjukkan data hasil uji parameter karbon aktif granul, karbon tidak teraktivasi sesuai dengan SNI 06-3730-1995.

Tabel 4.1. Data Hasil Uji Karbon Aktif Granul

No.	Parameter	SNI Karbon Aktif Granul	KA Granul (1)	KA Granul (2)	KA Granul (3)	Arang Tempurung
Kelapa						
1.	Kadar Air	Maks. 4,5%	2,91%	2,05%	1,85%	3,95%
2.	Kadar Abu	Maks. 2,5%	1,13 %	1,28%	1,38%	5,86%
3.	Kadar Volatile	Maks. 15%	10,2%	8,3%	6,7%	20,86%
4.	Kadar Karbon Terikat	Min. 80 %	85,76%	88,37%	90,06%	69,33%

Keterangan:

- (1) KA Granul 1 merupakan arang tempurung kelapa teraktivasi NaOH 1M
- (2) KA Granul 2 merupakan arang tempurung kelapa teraktivasi NaOH 2M
- (3) KA Granul 3 merupakan arang tempurung kelapa teraktivasi NaOH 3M

Berdasarkan tabel 4.1. parameter kadar air, kadar abu, kadar volatile dan kadar karbon terikat telah memenuhi parameter arang aktif sesuai dengan SNI 06-3730-1995, kecuali karbon tidak teraktivasi. Hal ini disebabkan karena penggunaan aktivator NaOH yang mempengaruhi karakteristik dari karbon aktif. Aktivator NaOH dapat membersihkan mineral-mineral atau pengotor yang terdapat di dalam arang tempurung seperti K, Mg, Ca, dan Fe, serta memperluas permukaan pori dari karbon aktif tersebut. Pada tabel 4.1, dapat dilihat kadar air terendah ditunjukkan oleh karbon teraktivasi NaOH 3 M yang menghasilkan kadar air sebesar 1,85%, dan kadar air terbesar dihasilkan oleh arang

tempurung kelapa tanpa aktivasi yaitu sebesar 3,95%. Selain itu, terdapat kecenderungan dimana semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan maka semakin rendah kadar air karbon aktif. Hal ini diduga karena semakin tinggi konsentrasi aktivator maka semakin banyak mineral-mineral dalam karbon aktif yang dapat menyerap air seperti K, Mg dan Ca hilang terbawa oleh aktivator NaOH. Rendahnya kadar air juga dipengaruhi oleh sifat higroskopis dari NaOH itu sendiri dimana semakin tinggi konsentrasi aktivator NaOH maka semakin banyak menyerap air pada karbon aktif sehingga kadar air semakin berkurang..

Dari tabel 4.1 dapat dilihat kadar abu tertinggi dihasilkan oleh arang tempurung kelapa tak teraktivasi yaitu sebesar 5,86% dan yang terkecil dihasilkan oleh karbon teraktivasi NaOH 1 M yaitu sebesar 1,13%. Dapat dilihat bahwa kadar abu dari arang tempurung kelapa jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif teraktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa aktivator NaOH mampu menghilangkan mineral-mineral pengotor yang terdapat di dalam karbon aktif. Selain itu, dari tabel 4.1 dapat dilihat untuk kadar abu semakin tinggi konsentrasi aktivator NaOH yang digunakan maka semakin tinggi kadar abunya. Hal ini dikarenakan mineral Na yang terdapat dalam larutan aktivasi NaOH masuk dan berikatan pada karbon aktif, sehingga semakin tinggi konsentrasinya, maka semakin banyak juga mineral Na di dalam karbon aktif tersebut.

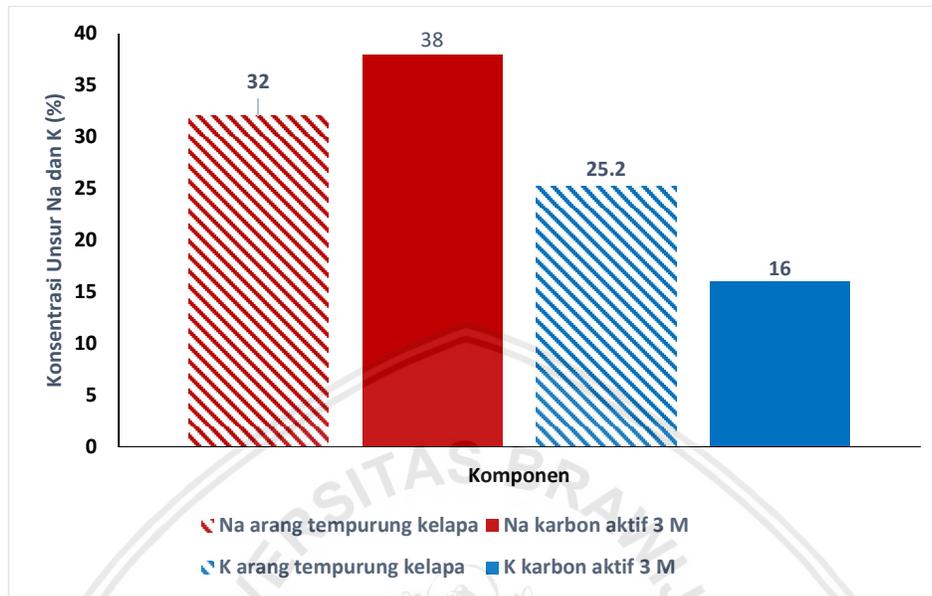
Untuk kadar zat *volatile* terbesar dihasilkan oleh arang tempurung kelapa tidak teraktivasi yaitu sebesar 20,86% dan kadar zat *volatile* terkecil dihasilkan oleh karbon teraktivasi 3 M yaitu sebesar 6,7%. Dapat dilihat bahwa kadar zat *volatile* dalam arang tempurung kelapa lebih besar daripada karbon aktif teraktivasi. Hal ini disebabkan senyawa-senyawa *volatile* pada arang tempurung kelapa seperti gas CO dan uap – uap seperti tar dan uap air diikat oleh aktivator NaOH dan terbawa keluar karbon aktif.

Tabel 4.1 juga menunjukkan kadar karbon terikat terbesar pada penelitian dihasilkan oleh arang teraktivasi NaOH 3 M yaitu 90,06% dan terkecil dihasilkan oleh arang tak teraktivasi yaitu sebesar 69,33%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kadar air, kadar abu, kadar *volatile* dan kadar karbon terikat dari karbon teraktivasi menggunakan aktivator NaOH telah sesuai dengan parameter SNI 06-3730-1995.

4.2. Uji X-ray Fluorescence (XRF)

Uji XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam karbon aktif yang digunakan. Analisa unsur dalam XRF dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan untuk menganalisa jenis unsur yang terkandung dalam bahan

dan analisa kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Gambar 4.1 menunjukkan hasil analisa XRF terhadap sampel karbon teraktivasi menggunakan NaOH 3M dan Arang tempurung kelapa.



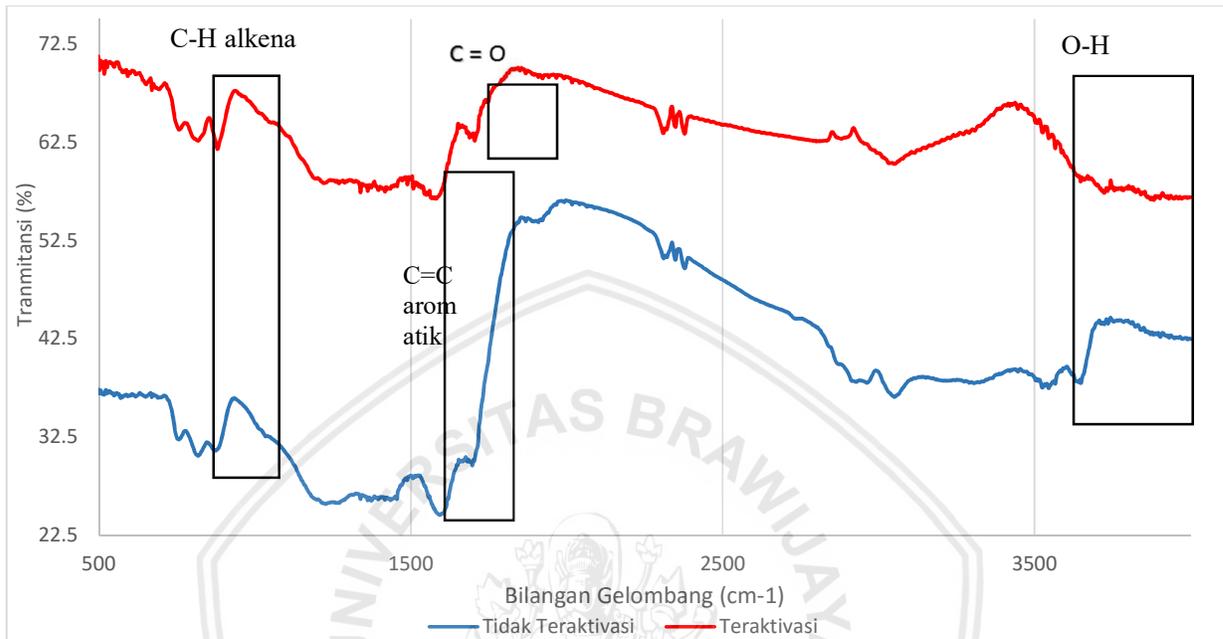
Gambar 4.1 Data hasil pengujian XRF pada karbon aktif teraktivasi dan arang tidak teraktivasi

Berdasarkan gambar 4.1 diatas dapat dilihat perbedaan komponen komponen yang terdapat pada arang tempurung dan juga karbon teraktivasi. Pada gambar terlihat bahwa konsentrasi Na mengalami kenaikan yaitu dari 32% naik menjadi 38%. Kenaikan persentase dari Na sendiri dikarenakan pengaruh dari aktivator NaOH yang menyebabkan penambahan mineral Na pada karbon aktif. Pada tabel diatas juga terlihat konsentrasi unsur K mengalami penurunan yaitu dari 25,2% turun menjadi 16 %. Penurunan persentase dari unsur K sendiri dipengaruhi oleh aktivator NaOH yang berfungsi untuk mengurangi komponen – komponen pengotor yang terdapat di dalam arang tempurung kelapa.

4.3. Uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Setelah dilakukan uji kadar air, kadar abu, kadar volatile dan kadar karbon terikat, maka selanjutnya dilakukan karakterisasi karbon aktif granul dengan uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) guna mengetahui gugus fungsi yang akan berguna dalam

proses adsorpsi CO₂ pada biogas. Gugus – gugus fungsi tersebut diketahui melalui puncak serapannya. Gambar 4.2. berikut menunjukkan data hasil analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada karbon teraktivasi NaOH 3M dan arang tempurung kelapa.



Gambar 4.2 Hasil pengujian FTIR pada karbon aktif dan tempurung kelapa

Berdasarkan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat perbandingan spektrum FTIR dari karbon tidak teraktivasi dan karbon teraktivasi. Pada karbon teraktivasi dan tidak teraktivasi terdapat gugus fungsi C-H alkena yang ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 675-995 cm⁻¹. Namun pada karbon teraktivasi gugus C-H alkena mengalami peningkatan dibandingkan C-H alkena pada karbon tidak teraktivasi. Hal ini terlihat dari puncak serapannya dimana pada karbon tidak teraktivasi terjadi penurunan puncak serapan. Pada karbon tidak teraktivasi dan karbon teraktivasi terdapat gugus C = C aromatik yang ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 1593,2 cm⁻¹. Namun pada karbon teraktivasi terjadi penguraian gugus C=C aromatic. Hal ini karena terjadi penurunan puncak serapan pada gugus C=C aromatic karbon teraktivasi. Pada karbon teraktivasi, terdapat gugus C = O yang ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 1705,07 cm⁻¹ yang tidak ada pada karbon tidak teraktivasi. Gugus C=O merupakan gugus yang berperan

penting dalam penyerapan CO_2 . Selain itu terdapat perubahan pada pita serapan panjang gelombang gugus O-H pada karbon tidak teraktivasi dan teraktivasi. Pada karbon tidak teraktivasi, gugus fungsi O – H alkohol ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 3590cm^{-1} – 3650cm^{-1} , sedangkan pada karbon teraktivasi, gugus fungsi O – H alkohol ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang $3618,46\text{cm}^{-1}$ – $3699,47\text{cm}^{-1}$. Dari hasil yang diperoleh pada karbon teraktivasi terjadi penurunan puncak serapan, hal ini karena penguraian gugus OH. Penggunaan NaOH menyebabkan gugus OH terurai membentuk struktur baru. Salah satu gugus yang terbentuk ialah C = O atau gugus karbonil yang tidak ada pada arang tidak teraktivasi.

Pada karbon aktif gugus – gugus yang berfungsi pada penyerapan CO_2 adalah semua gugus fungsi yang memiliki ikatan dengan –O kecuali gugus –COOH. Dari semua gugus yang berikatan dengan –O, gugus fungsi ikatan C-O lebih berperan penting dalam pengikatan CO_2 (Yu-chun chiang, 2019). Pada gambar 4.2 diatas terlihat bahwa terdapat gugus gugus fungsi seperti –OH dan C-O yang memiliki peran penting dalam penyerapan CO_2 . Gugus OH terdapat pada sampel arang tidak teraktivasi dan teraktivasi akan tetapi gugus C-O hanya terdapat pada arang teraktivasi. Perbedaan ikatan gugus fungsi inilah yang akan mempengaruhi efektivitas penyerapan CO_2 .

4.4. Pengaruh Aktivator terhadap daya adsorpsi karbon aktif

Pada penelitian ini sampel biogas yang melewati proses adsorpsi diuji menggunakan alat gas kromatografi. Alat gas kromatografi digunakan untuk menganalisa kemurnian kandungan pada sampel biogas sebelum dan setelah proses adsorpsi. Tabel 4.2 berikut menunjukkan persen reduksi konsentrasi CO_2 setelah proses adsorpsi.

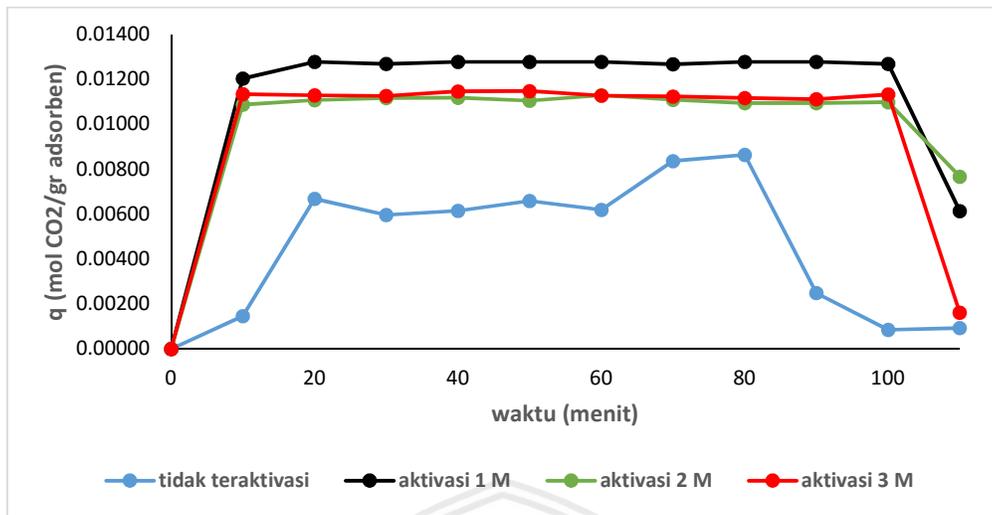
Tabel 4.2 Data % reduksi CO₂ untuk semua adsorben pada rentang waktu 110 menit

Waktu (Menit)	% Reduksi CO ₂			
	Arang Tempurung Kelapa	KA Granul 1	KA Granul 2	KA Granul 3
0	0,00	0,00	0,00	0,00
10	11,84	94,17	94,55	95,24
20	54,09	100,00	96,32	94,79
30	48,34	99,29	97,18	94,59
40	49,84	100,00	97,30	96,21
50	53,31	100,00	96,16	96,37
60	50,14	100,00	98,19	94,66
70	67,67	99,23	96,48	94,35
80	69,95	100,00	95,13	93,77
90	20,20	100,00	95,15	93,34
100	6,88	99,26	95,53	95,18
110	7,54	48,07	66,68	13,47

Berdasarkan tabel 4.2 persentase reduksi CO₂ untuk adsorben karbon aktif jauh lebih besar dibandingkan dengan persentase reduksi CO₂ pada arang tempurung kelapa. Persentase reduksi CO₂ pada karbon aktif lebih besar dikarenakan aktivator NaOH yang membersihkan dinding pori atau permukaan adsorben dari mineral-mineral pengotor sehingga pori-pori adsorben menjadi lebih luas sehingga mampu menyerap CO₂ secara maksimal. Aktivator NaOH juga dapat membuka gugus fungsi baru yang berfungsi menangkap gas CO₂.

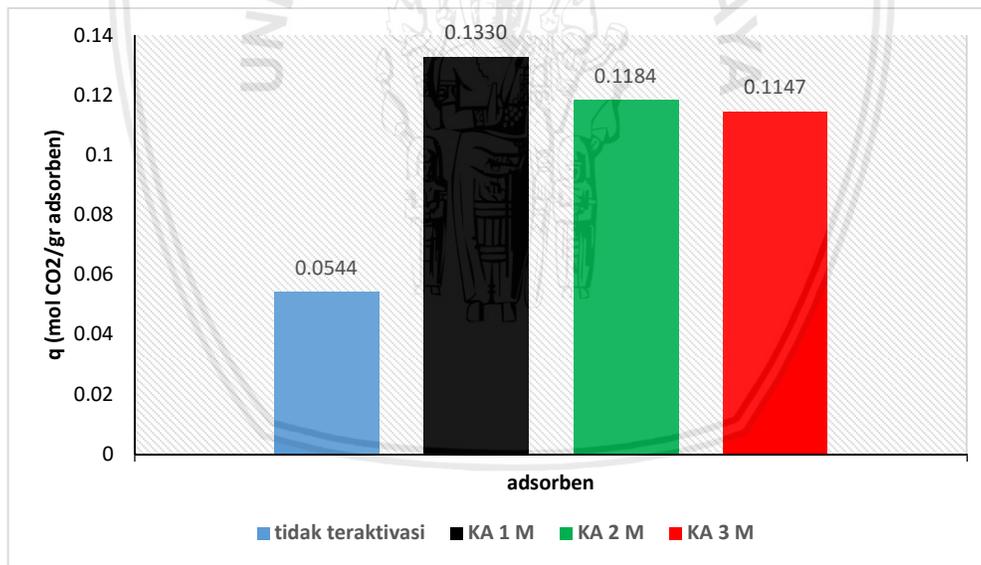
Berdasarkan tabel 4.2 juga dapat dilihat persen reduksi CO₂ tertinggi diperoleh oleh karbon teraktivasi 1 M dengan persentase reduksi CO₂ mencapai 100%. Nilai persentase reduksi ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan karbon teraktivasi 2 M, 3 M, dan arang tempurung kelapa. Nilai tertinggi untuk persentase reduksi CO₂ untuk karbon teraktivasi NaOH 2M, karbon teraktivasi NaOH 3M dan Arang tempurung kelapa berturut-turut yaitu 98,19%, 96,37% dan 69,95%.

Gambar 4.3 berikut menunjukkan hubungan antara waktu adsorpsi dengan kapasitas adsorpsi dari masing-masing adsorben. Kapasitas adsorpsi sendiri dideskripsikan sebagai jumlah CO₂ teradsorpsi pada 1 gram adsorben dalam satuan mol.



Gambar 4.3 Kapasitas adsorpsi CO₂ masing-masing adsorben selama 110 menit

Gambar 4.4 berikut merupakan grafik total kapasitas adsorpsi pada rentang waktu 110 menit untuk semua adsorben.

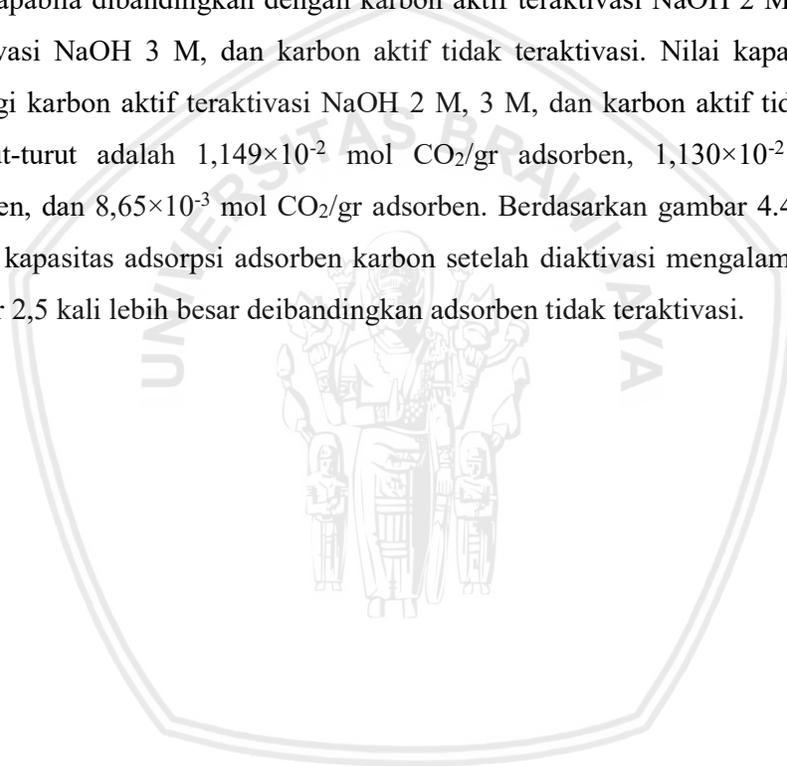


Gambar 4.4 Kapasitas adsorpsi pada rentang waktu 110 menit.

Berdasarkan gambar 4.3 jumlah CO₂ yang teradsorpsi oleh adsorben karbon aktif teraktivasi jauh lebih besar dibandingkan dengan arang tempurung kelapa. Hal ini menunjukkan laju adsorpsi pada karbon terkativasi lebih besar dibandingkan dengan laju adsorpsi karbon tidak teraktivasi. Laju adsorpsi karbon aktif teraktivasi lebih besar

diakibatkan oleh aktivator yang membersihkan dinding pori atau permukaan adsorben dari mineral-mineral pengotor sehingga pori-pori adsorben menjadi lebih luas. Aktivator juga dapat membuka gugus fungsi baru yang berfungsi menangkap gas CO₂. Kapasitas adsorpsi adsorben akan semakin menurun seiring berjalannya waktu adsorpsi dikarenakan besarnya laju adsorpsi adsorbat pada dinding pori atau permukaan adsorben yang semakin kecil sebagai akibat telah terisi oleh molekul adsorbat sebelumnya sehingga jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi tidak sebanyak seperti saat menit-menit awal proses adsorpsi terjadi.

Dari gambar 4.3 kapasitas adsorben tertinggi dihasilkan oleh adsorben karbon aktif teraktivasi NaOH 1 M yaitu sebesar $1,279 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gr adsorben. Nilai ini lebih tinggi apabila dibandingkan dengan karbon aktif teraktivasi NaOH 2 M, karbon aktif teraktivasi NaOH 3 M, dan karbon aktif tidak teraktivasi. Nilai kapasitas adsorpsi tertinggi karbon aktif teraktivasi NaOH 2 M, 3 M, dan karbon aktif tidak teraktivasi berturut-turut adalah $1,149 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gr adsorben, $1,130 \times 10^{-2}$ mol CO₂/gr adsorben, dan $8,65 \times 10^{-3}$ mol CO₂/gr adsorben. Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi adsorben karbon setelah diaktivasi mengalami peningkatan sebesar 2,5 kali lebih besar dibandingkan adsorben tidak teraktivasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Aktivator NaOH memberikan pengaruh terhadap karbon aktif yang dihasilkan dalam hal mengurangi kandungan kadar air, kadar abu, kadar volatile dan kadar karbon terikat sehingga memenuhi standard SNI 06-3730-1995.
2. Adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa yang diaktivasi menggunakan NaOH mampu memberikan hasil penyerapan CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa yang tidak teraktivasi dengan kapasitas adsorpsi CO₂ karbon teraktivasi 2,5 kali lebih besar dari pada karbon aktif dari tempurung kelapa yang tidak teraktivasi.

5.2. SARAN

1. Perlu dilakukan pengujian adsorpsi gas CO₂ dengan adsorben karbon aktif dengan massa yang lebih besar untuk dapat meningkatkan daya adsorpsi.
2. Perlu dilakukan modifikasi pada teknik aktivasi adsorben untuk dapat meningkatkan daya adsorpsi adsorben.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi. 2008. *Biogas Handbook*. Published by University of Southern Denmark Esbjerg.
- Andre L, Cazetta. 2011. *NaOH Activated Carbon of High Surface Area Produced from Coconut Shell: Kinetic and Equilibrium Studies from the Methylene Blue Adsorption*. Chemical Engineering journal. Vol 174. Elsevier
- Arifin. 2010. *Dekolorasi Air yang Mengandung Zat Pewarna Tekstil Dengan Metode Koagulasi Poly Aluminium Chlorida dan Adsorpsi Karbon Aktiv*. Jurnal Teknik Kimia. Tangerang: PT. Tirta Kencana Cahaya Mandiri.
- Arthur Wellinger, Jerry Murphy and David Baxter. 2013. *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited
- Azhary. 2010. Pembuatan Pulp dari Batang Rosella dengan Proses Soda. Jurnal Teknik Kimia. Universitas Sriwijaya.
- Barry Crittenden and W. John Thomas. 1998. *Adsorption Technology & Design*. Butterworth-Heinemann.
- Bo Guo, Liping Chang, dan Kechang Xie. 2006. "Adsorption of Carbon Dioxide on Activated Carbon". Journal of Natural Gas Chemistry. Volume 15, Issue 3, September 2006, Pages 223-229.
- Budi. 2011. *Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar*. Universitas Negeri Jakarta
- Caglayan, Burcu Selen dan Aksoylu, A. Erhan. 2013. "CO₂ adsorption on chemically modified activated carbon". *Journal of Hazardous Materials*. Volumes 252–253, 15 May 2013, Pages 19-28.
- Cheng-Hsiu Yu. 2012. *A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption*. Journal Chemical Engineering. Department of Chemical Engineering, National Tsing Hua University Hsinchu. Taiwan.
- Colin F. Poole. 2012. *Gas Chromatography*. Elsevier
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan. 2003. *Syarat Mutu dan Uji Arang Aktif SNI No.06-3730-1995*. Palembang: Balai Perindustrian dan Perdagangan.

- Destyorini.2010. *Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Arang Sabut Kelapa*. Jurnal Fisika. Pusat Penelitian Fisika-LIPI
- Doloksaribu, Maryati. 2017. *Preparation and Characterization of Activated Carbon Based on Coconut Shell for Supercapacitor*. Universitas Gajah Mada
- Dwiarso, Rubiyanto. 2016. *Teknik Dasar Kromatografi*. Yogyakarta
- Erikson. 2010. *Environmental technology assessment of natural gas compared to biogas*. Universitas of Gavle. Sweden.
- Fengel, D dan G. Wegener. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi*. Gadjahmada
- Fessenden, Ralp J dan Joan S Fessenden. 1989. *Kimia Organik Edisi 3 jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Geankoplis, Christie J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd edition*. Prentice-Hall: New Jersey
- Gilligan JJ. 1974. *The Organic Chemical Industries*. Prentice-Hall. Inc. New York. Graphic World Inc.
- Haryono. 2012. *Proses Pemucatan Minyak Sawti Mentah dengan Arang Aktif*. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Himanshu, Pathel. 2019. *Fixed-Bed Column Adsorption Study: a Comprehensive Review*. Springer
- Jankowska, H., Swiatkowski, A., Choma, J. 1991. *Active Carbon*. Horwood Ltd. New York.
- Keramati, Mona dan Ghoreysi, Ali Ashgar. 2014. "Improving CO₂ adsorption onto activated carbon through functionalization by chitosan and triethylenetetramine". *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. Volume 57, March 2014. Pages 161-168
- Kinoshita,K. 1988. *Carbon Electricchemical and Physicochemical Properties*. Newyork : John Wiley & Sons

Larasati. 2013. *Eksperimen Pengembangan Produk Fungsional Bernilai Komersial Berbahan Baku Tempurung Kelapa Berusia Muda dengan Teknik Pelunakan*. Jurnal Institute Teknologi Bandung

Manocha, S.M. 2003. *Porous Carbons*. Sadhana

Maria Aloisia, Uron Leba. 2017. *Buku Ajar : Ekstraksi dan Real Kromatografi*.

Deepublish: Yogyakarta

Marsh, Francisco R.R. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science & Technology Books.

ISBN: 0080444636.

Material Safety Data Sheet. 2013. *Natrium Hidroksida*. Science Lab. Diakses 13 Maret 2019.

McCabe, W., Smith, J.C., and Harriot, P. 1993. "Unit Operation of Chemical Engineering". United States of America: McGraw Hill Book.

McMurry. 2007. *Fundamentals of Organic Chemistry and Interactive Organic Chemistry*.

Mistar. 2018. *Preparation and characterization of a high surface area of activated carbon from Bambusa vulgaris —Effect of NaOH activation and pyrolysis temperature*. Journal Chemical Engineering. IOP Publishing.

Mital. 1997. *Biogas Systems: Policies, Progress and Prospects*. Taylor & Francis.

Naskeo Government. 2009. *The Biogas: Biogas Composition*.

Perry, R.H. and Green, D.W. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th ed.*

McGraw-Hill Book Company. New York.

Press University. Yogyakarta.

Reynolds. 1982. *Unit Operations and Process in Environmental Engineering*. Texas A&M University. Brook/Cole Engineering Division. California

Sandler, S.I. 1998. *Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd Ed.* Wiley. New York.

SNI 1995 Standar karbon aktif No. 06-3730-1995

Sudibandriyo, Mahmud, L, 2011. *Karakteristik Luas Permukaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia*. Jurnal Teknik Kimia. FT UI.

Tien, Chi. 2019. *Introduction to Adsorption: Basics, Analysis, and Applications*. Elsevier

- Treybal, R.E. 1980. *Mass Transfer Operations*. McGraw-Hill Book. Singapura
- Vassilis J. Inglezakis and Stavros G. Pouloupoulos. 2006. *Adsorption, Ion Exchange and Catalysis: Design of Operations and Environmental Applications*. Elsevier
- Vogel. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro Edisi kelima bagian 1*. PT Kalman Pustaka: Jakarta.
- Wahyuni. 2015. *Biogas dari Aneka Limbah Edisi Pertama*. PT Agro Media Pustaka: Jakarta.
- Widyastuti. 2013. *Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas D alam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik*. Jurnal Teknik Kimia. Universitas Tanjungpura.
- Yu-chun chiang. 2019. *Carbon dioxide adsorption on porous and functionalized activated carbon fibers*. MDPI Journal: Universitas Yuan Ze.
- Yulianti. 2010. *Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit untuk Pemucatan Minyak Goreng Sisa Pakai*. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi. ISSN: 1410-8917
- Zhang R. dan El-Mashad. 2010. *Biogas Production from CO-Digestion of dairy manure and food waste*. Bioresource Technology. Vol.101: 4021-4023.

LAMPIRAN

A. Data Hasil Output Proses Adsorpsi

Massa adsorben = 500 gram

Laju alir = 0,3 L/menit

A.1 Hasil output proses adsorpsi menggunakan adsorben arang tempurung kelapa

Tabel 1. Data output proses adsorpsi menggunakan adsorben arang tempurung kelapa

Waktu (menit)	Konsentrasi (%)		
	CH4	CO2	Senyawa Lain
0	48,247	50,678	1,075
10	54,326	44,678	0,995
20	75,867	23,268	0,865
30	72,871	26,178	0,951
40	73,438	25,419	1,143
50	75,291	23,661	1,048
60	73,765	25,266	0,969
70	82,439	16,386	1,175
80	83,341	15,227	1,432
90	57,980	40,439	1,581
100	51,265	47,193	1,542
110	44,504	54,126	1,370

A.2 Hasil output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 1M

Tabel 2. Data output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 1M

Waktu (menit)	Konsentrasi (%)		
	CH4	CO2	Senyawa Lain
0	46,553	52,424	1,023
10	95,778	3,058	1,164
20	98,850	-	1,150
30	98,533	0,373	1,095
40	99,126	-	0,874
50	98,860	-	1,140
60	98,791	-	1,209
70	98,557	0,402	1,041
80	98,984	-	1,016
90	98,924	-	1,076
100	98,494	0,387	1,120
110	71,281	27,226	1,593

A.3 Hasil output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 2M

Tabel 3. Data output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 2M

Waktu (menit)	Konsentrasi (%)		
	CH4	CO2	Senyawa Lain
0	51,975	47,176	0,849
10	96,567	2,569	0,864
20	97,586	1,736	0,678
30	97,595	1,331	1,074
40	97,646	1,276	1,077
50	97,207	1,813	0,979
60	98,151	0,855	0,994
70	97,351	1,660	0,988
80	97,704	2,296	-
90	97,712	2,288	-
100	97,133	2,107	0,760
110	84,283	15,717	-

A.4 Hasil output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 3M

Tabel 4. Data output proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon teraktivasi NaOH 3M

Waktu (menit)	Konsentrasi (%)		
	CH4	CO2	Senyawa Lain
0	52,144	46,867	0,990
10	96,673	2,325	1,002
20	96,316	2,547	1,138
30	97,538	2,642	-
40	97,257	1,853	0,889
50	97,129	1,773	1,098
60	97,389	2,611	-
70	97,237	2,763	-
80	96,658	3,042	-
90	95,867	3,254	0,879
100	96,774	2,355	0,871
110	57,717	42,283	0,908

B. Perhitungan % Reduksi CO₂

$$\% \text{ reduksi } CO_2 = \frac{\text{konsentrasi } CO_2 \text{ masuk} - \text{konsentrasi } CO_2 \text{ keluar}}{\text{konsentrasi } CO_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

Contoh perhitungan

Arang tidak teraktivasi, menit ke-10

Konsentrasi CO₂ masuk menit 0 = 50,678%

Konsentrasi CO₂ keluar menit 10 = 44,678%

$$\% \text{ reduksi } CO_2 = \frac{\text{konsentrasi } CO_2 \text{ masuk} - \text{konsentrasi } CO_2 \text{ keluar}}{\text{konsentrasi } CO_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ reduksi } CO_2 = \frac{50,678 - 44,678}{50,678} \times 100\%$$

$$\% \text{ reduksi } CO_2 = 11,84\%$$

Tabel 5. % reduksi CO₂ untuk semua adsorben pada rentang waktu 110 menit

Waktu (menit)	% reduksi CO ₂			
	Arang tidak teraktivasi	KA 1 M	KA 2 M	KA 3 M
0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	11.84	94.17	94.55	95.24
20	54.09	100.00	96.32	94.79
30	48.34	99.29	97.18	94.59
40	49.84	100.00	97.30	96.21
50	53.31	100.00	96.16	96.37
60	50.14	100.00	98.19	94.66
70	67.67	99.23	96.48	94.35
80	69.95	100.00	95.13	93.77
90	20.20	100.00	95.15	93.34
100	6.88	99.26	95.53	95.18
110	7.54	48.07	66.68	13.47

C. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

Contoh penghitungan laju alir gas masuk CO₂ :

$$\begin{aligned} Fo_{CO_2} &= \% CO_{2i} \times Fo_{gas} \\ &= 50,678\% \times 0,30 \text{ l/m} \\ &= 15,2034 \text{ l/m} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan laju alir gas keluar CO₂ :

$$\begin{aligned} Ft_{CO_2} &= \% CO_{2out} \times Fo_{gas} \\ &= 44,678\% \times 0,30 \text{ l/m} \\ &= 13,4034 \text{ l/m} \end{aligned}$$

Rumus perhitungan kapasitas adsorpsi adsorben adalah sebagai berikut :

$$q = \frac{1}{m} \times \frac{\rho}{Mr} \times \left[\int_0^t Fo - Ft \right] dt$$

Keterangan :

m	=	massa adsorben (gram)
Fo	=	laju alir CO ₂ yang masuk ke dalam kolom adsorpsi (liter/menit)
Ft	=	laju alir CO ₂ keluar kolom adsorpsi (liter/menit)
t	=	waktu adsorpsi (menit)
ρ	=	densitas gas CO ₂
Mr	=	berat molekul CO ₂

Contoh perhitungan :

Kapasitas adsorpsi Karbon tidak teraktivasi selama 110 menit:

$$\begin{aligned} m &= 500 \text{ gram} \\ \rho &= 1,7845 \text{ gram/L} \\ Mr &= 44,01 \text{ gr/gmol} \\ F &= 0,3 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

$$q = \frac{1}{500} \times \frac{1,7845}{44,01} \times \left[\int_0^{10} 15,2034 - 13,4034 \right] dt$$

$$q = 0,00146 \text{ mol } CO_2 / \text{gram adsorben}$$

Tabel 6. Data kapasitas adsorpsi adsorben arang tempurung kelapa

t (menit)	%CO ₂		q CO ₂		delta q	qt
	% CO ₂ in	out	q Co ₂ in	out		
0	50.678	50.678	15.2034	15.2034	0	0.00000
10	50.678	44.678	15.2034	13.4034	1.8	0.00146
20	50.678	23.268	15.2034	6.9804	8.223	0.00669
30	50.678	26.178	15.2034	7.8534	7.35	0.00598
40	50.678	25.419	15.2034	7.6257	7.5777	0.00616
50	50.678	23.661	15.2034	7.0983	8.1051	0.00659
60	50.678	25.266	15.2034	7.5798	7.6236	0.00620
70	50.678	16.386	15.2034	4.9158	10.2876	0.00836
80	50.678	15.227	15.2034	4.5681	10.6353	0.00865
90	50.678	40.439	15.2034	12.1317	3.0717	0.00250
100	50.678	47.193	15.2034	14.1579	1.0455	0.00085
110	50.678	46.859	15.2034	14.0577	1.1457	0.00093

Tabel 7. Data kapasitas adsorpsi adsorben karbon teraktivasi NaOH 1M

t (menit)	%CO ₂		q CO ₂		delta q	qt
	% CO ₂ in	out	q Co ₂ in	out		
0	52.424	52.424	15.7272	15.7272	0	0.00000
10	52.424	3.058	15.7272	0.9174	14.8098	0.01204
20	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
30	52.424	0.373	15.7272	0.1119	15.6153	0.01270
40	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
50	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
60	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
70	52.424	0.402	15.7272	0.1206	15.6066	0.01269
80	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
90	52.424	0.000	15.7272	0	15.7272	0.01279
100	52.424	0.387	15.7272	0.1161	15.6111	0.01269
110	52.424	27.226	15.7272	8.1678	7.5594	0.00615

Tabel 8. Data kapasitas adsorpsi adsorben karbon teraktivasi NaOH 2M

t (menit)	% CO2 in	%CO2 out	q Co2 in	q CO2 out	delta q	qt
0	47.176	47.176	14.1528	14.1528	0	0
10	47.176	2.569	14.1528	0.7707	13.3821	0.01088
20	47.176	1.736	14.1528	0.5208	13.632	0.01108
30	47.176	1.331	14.1528	0.3993	13.7535	0.01118
40	47.176	1.276	14.1528	0.3828	13.77	0.01119
50	47.176	1.813	14.1528	0.5439	13.6089	0.01106
60	47.176	0.855	14.1528	0.2565	13.8963	0.01130
70	47.176	1.660	14.1528	0.498	13.6548	0.01110
80	47.176	2.296	14.1528	0.6888	13.464	0.01095
90	47.176	2.288	14.1528	0.6864	13.4664	0.01095
100	47.176	2.107	14.1528	0.6321	13.5207	0.01099
110	47.176	15.717	14.1528	4.7151	9.4377	0.00767

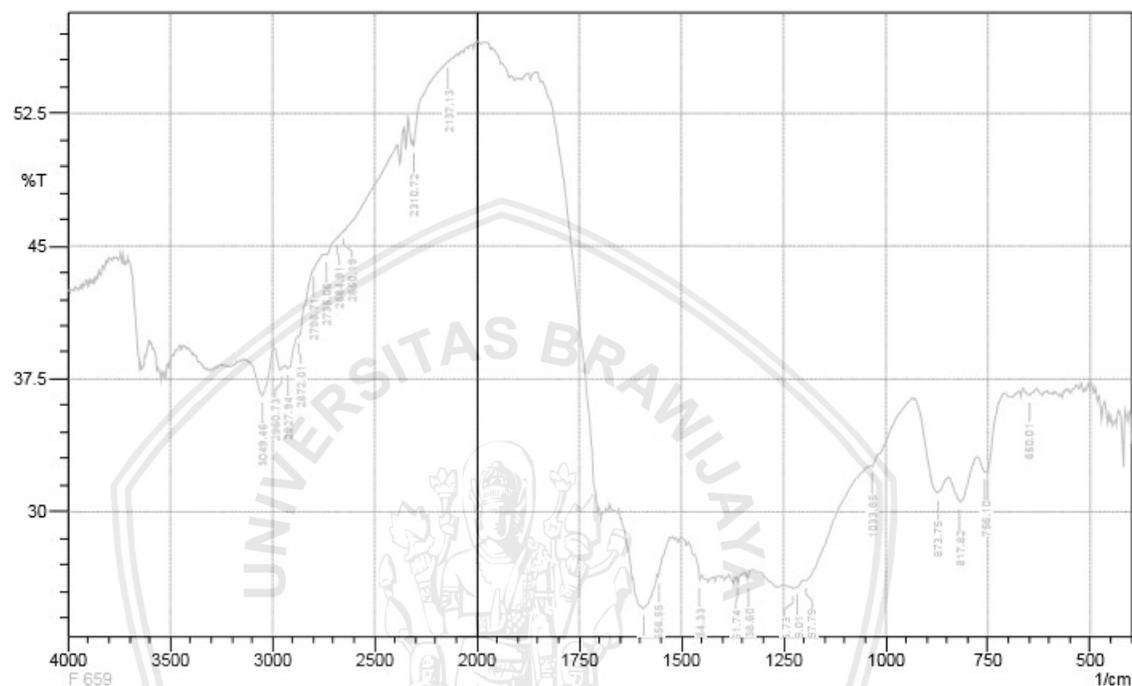
Tabel 9. Data kapasitas adsorpsi adsorben karbon teraktivasi NaOH 3M

t (menit)	% CO2 in	%CO2 out	q Co2 in	q CO2 out	delta q	qt
0	48.867	48.867	14.6601	14.6601	0	0
10	48.867	2.325	14.6601	0.6975	13.9626	0.01135
20	48.867	2.547	14.6601	0.7641	13.896	0.01130
30	48.867	2.642	14.6601	0.7926	13.8675	0.01127
40	48.867	1.853	14.6601	0.5559	14.1042	0.01147
50	48.867	1.773	14.6601	0.5319	14.1282	0.01149
60	48.867	2.611	14.6601	0.7833	13.8768	0.01128
70	48.867	2.763	14.6601	0.8289	13.8312	0.01124
80	48.867	3.042	14.6601	0.9126	13.7475	0.01118
90	48.867	3.254	14.6601	0.9762	13.6839	0.01112
100	48.867	2.355	14.6601	0.7065	13.9536	0.01134
110	48.867	42.283	14.6601	12.6849	1.975	0.00161

D. Data hasil uji FTIR

Uji FTIR dilakukan pada Labolatorium Mineral dan Material Maju (Labolatorium sentral) Universitas Negri Malang.

C.1 Data Hasil Uji FTIR untuk sampel arang tempurung kelapa



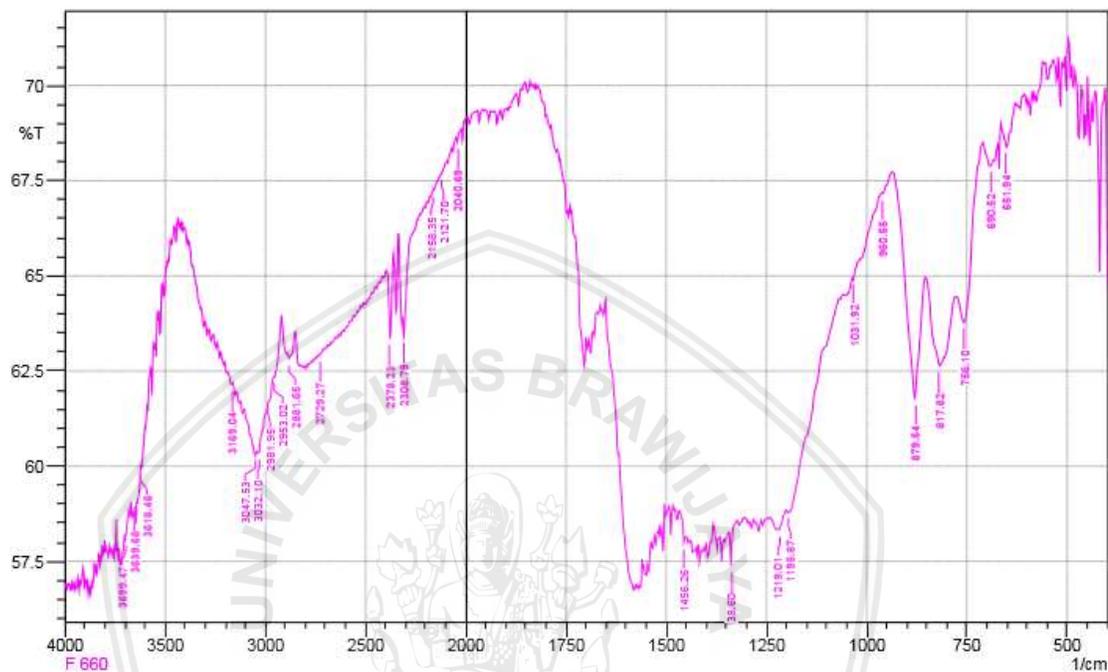
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	650.01	36.589	0.344	663.51	632.65	13.42	0.07
2	756.1	32.233	1.942	775.38	709.8	30.597	0.676
3	817.82	30.563	1.857	844.82	777.31	33.793	0.884
4	873.75	31.089	2.346	927.76	846.75	39.264	1.359
5	1033.85	32.544	0.203	1037.7	935.48	47.099	0.044
6	1197.79	26.126	0.097	1199.72	1039.63	84.686	0.138
7	1219.01	25.753	0.044	1220.94	1201.65	11.303	0.012
8	1226.73	25.675	0.105	1246.02	1220.94	14.771	0.019
9	1338.6	26.17	0.445	1342.46	1325.1	9.991	0.029
10	1361.74	26.044	0.354	1365.6	1344.38	12.27	0.028
11	1454.33	26.159	0.546	1467.83	1450.47	9.925	0.045
12	1556.55	26.385	0.255	1558.48	1529.55	16.187	0.018
13	1593.2	24.549	3.112	1647.21	1560.41	50.75	2.725
14	2137.13	55.423	0.051	2140.99	2094.69	11.784	0.004
15	2310.72	50.67	0.378	2314.58	2140.99	46.509	0.02
16	2650.19	45.875	0.043	2652.12	2389.8	83.344	0.349
17	2684.91	45.431	0.025	2686.84	2652.12	11.818	0.002
18	2735.06	44.513	0.11	2738.92	2690.7	16.73	0.02
19	2798.71	43.679	0.082	2802.57	2756.28	16.451	0.007
20	2872.01	39.889	0.217	2875.86	2802.57	27.751	0.062
21	2927.94	38.088	0.485	2939.52	2877.79	25.373	0.211
22	2960.73	38.006	0.55	2989.66	2947.23	17.641	0.154
23	3049.46	36.566	2.227	3103.46	2991.59	47.477	1.496

Gambar 1. Hasil analisa FTIR untuk sampel arang tempurung kelapa

Comment;
F 659

Date/Time; 7/25/2019 10:51:47 AM
No. of Scans; 40
Resolution; 4 [1/cm]
Apodization; Happ-Genzel

C.2 Data Hasil Uji FTIR untuk sampel karbon teraktivasi



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	651.94	68.379	0.827	665.44	630.72	5.635	0.101
2	690.52	67.885	0.261	709.8	684.73	4.189	0.03
3	756.1	63.775	1.806	773.46	711.73	11.245	0.317
4	817.82	62.637	2.066	852.54	781.17	14.098	0.598
5	879.54	61.791	4.023	935.48	854.47	15.413	0.952
6	960.55	67.165	0.057	962.48	937.4	4.29	0.007
7	1031.92	64.884	0.062	1033.85	962.48	12.832	0.008
8	1195.87	58.783	0.212	1199.72	1070.49	27.227	0.099
9	1219.01	58.331	0.426	1240.23	1201.65	8.978	0.068
10	1338.6	57.379	0.929	1342.46	1325.1	4.08	0.028
11	1456.26	58.006	0.365	1467.83	1450.47	4.057	0.011
12	2040.69	68.518	0.181	2048.4	2023.33	4.086	0.006
13	2121.7	67.653	0.024	2123.63	2094.69	4.871	0
14	2158.35	67.27	0.06	2162.2	2127.48	5.935	0.004
15	2308.79	63.409	0.728	2314.58	2264.43	9.346	0.046
16	2378.23	63.346	1.91	2389.8	2362.8	5.18	0.183
17	2729.27	62.923	0.032	2733.13	2713.84	3.873	0.003
18	2881.65	62.823	0.284	2891.3	2852.72	7.735	0.062
19	2953.02	62.349	0.174	2956.87	2920.23	7.36	0.053
20	2981.95	61.7	0.049	2983.88	2956.87	5.601	0.009
21	3032.1	60.353	0.168	3037.89	3016.67	4.613	0.009
22	3047.53	60.319	0.085	3074.53	3045.6	6.317	0.02
23	3169.04	62.144	0.086	3184.48	3165.19	3.972	0.007
24	3618.46	59.951	0.193	3620.39	3589.53	6.679	0.029
25	3639.68	59.022	0.144	3641.6	3622.32	4.368	0.032
26	3699.47	58.092	0.15	3701.4	3682.11	4.498	0.011

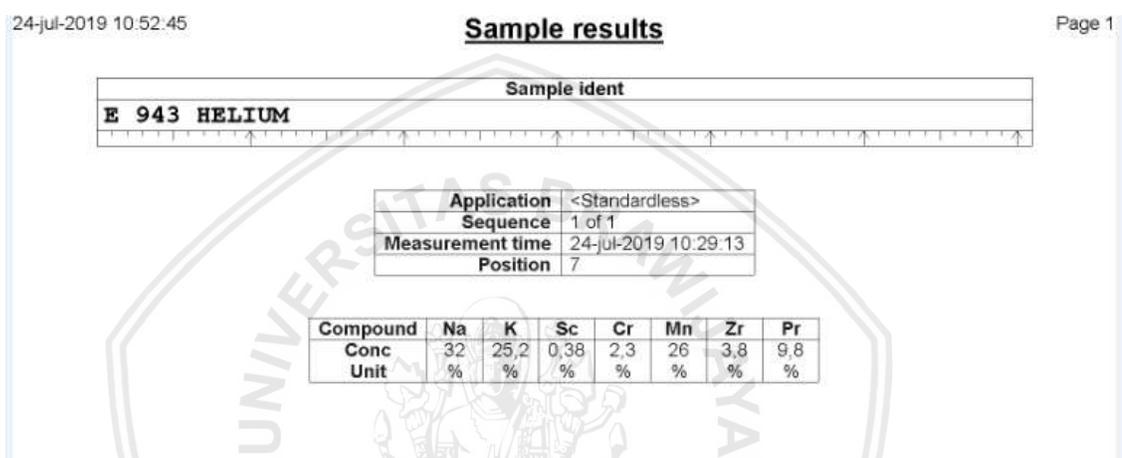
Gambar 2. Hasil analisa FTIR untuk sampel Karbon Teraktivasi NaOH 1M

Comment;
F 660

Date/Time; 7/25/2019 11:01:56 AM
No. of Scans; 40
Resolution; 4 [1/cm]
Apodization; Happ-Genzel

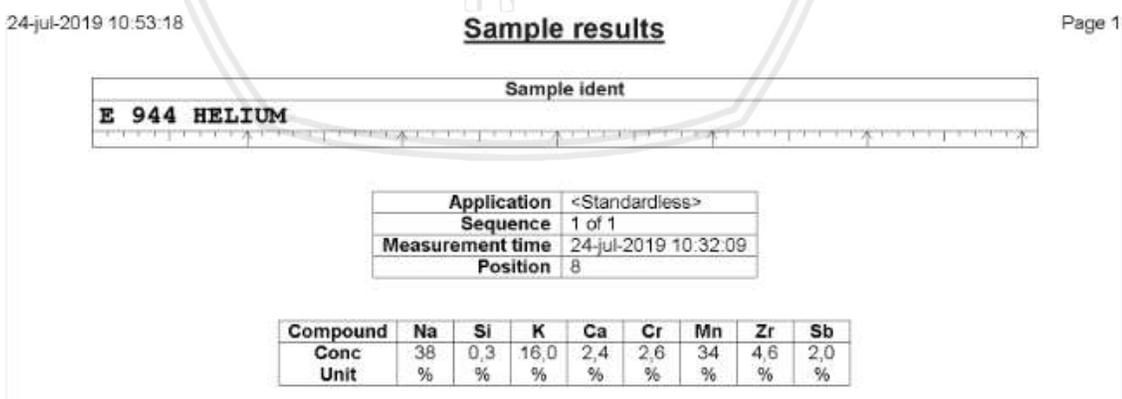
E. Data Hasil Uji XRF

D.1 Data hasil uji XRF untuk sampel arang tempurung kelapa



Gambar 3. Hasil analisa XRF untuk sampel arang tempurung kelapa

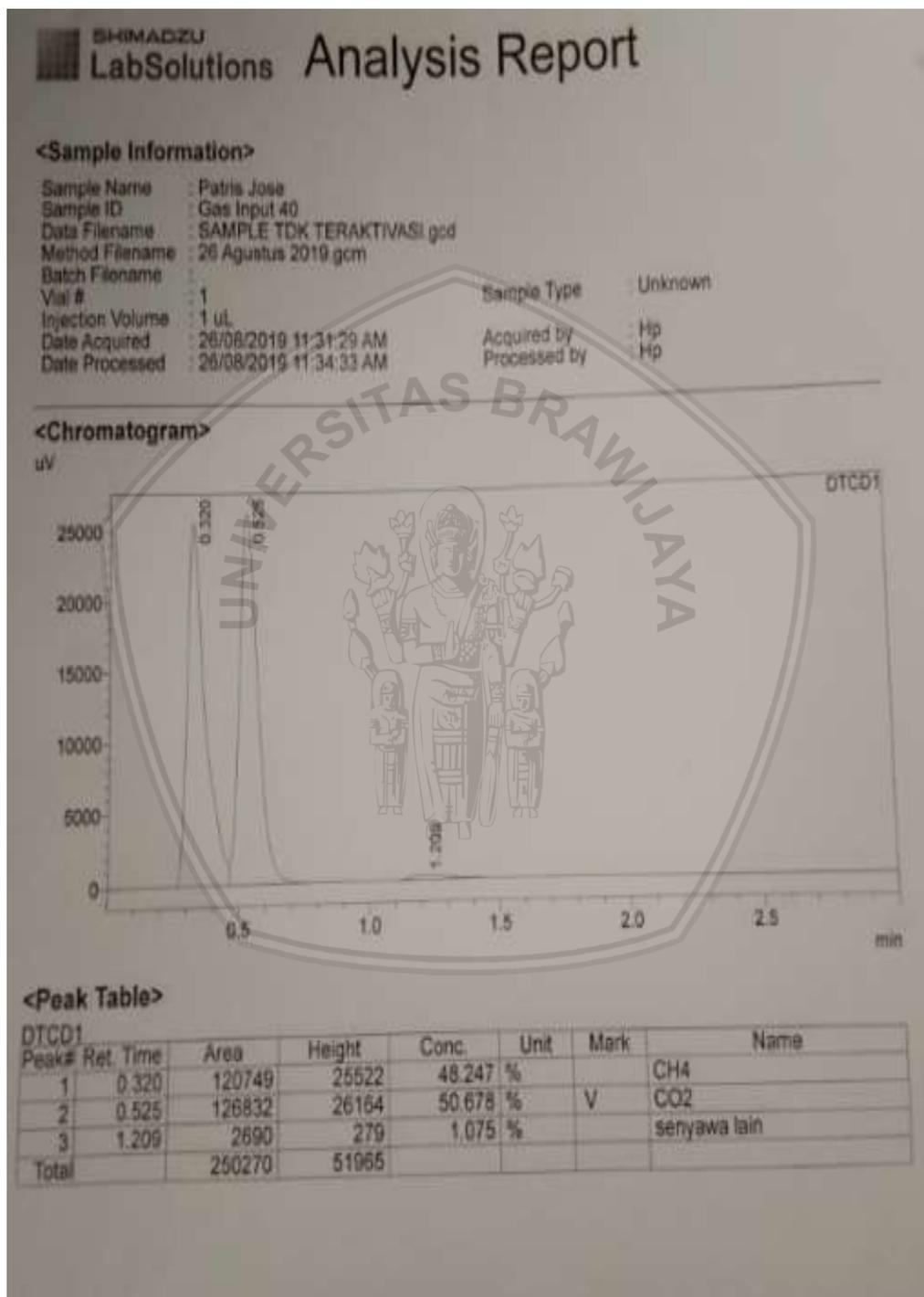
D.2 Data hasil uji XRF untuk sampel karbon teraktivasi NaoH 3M



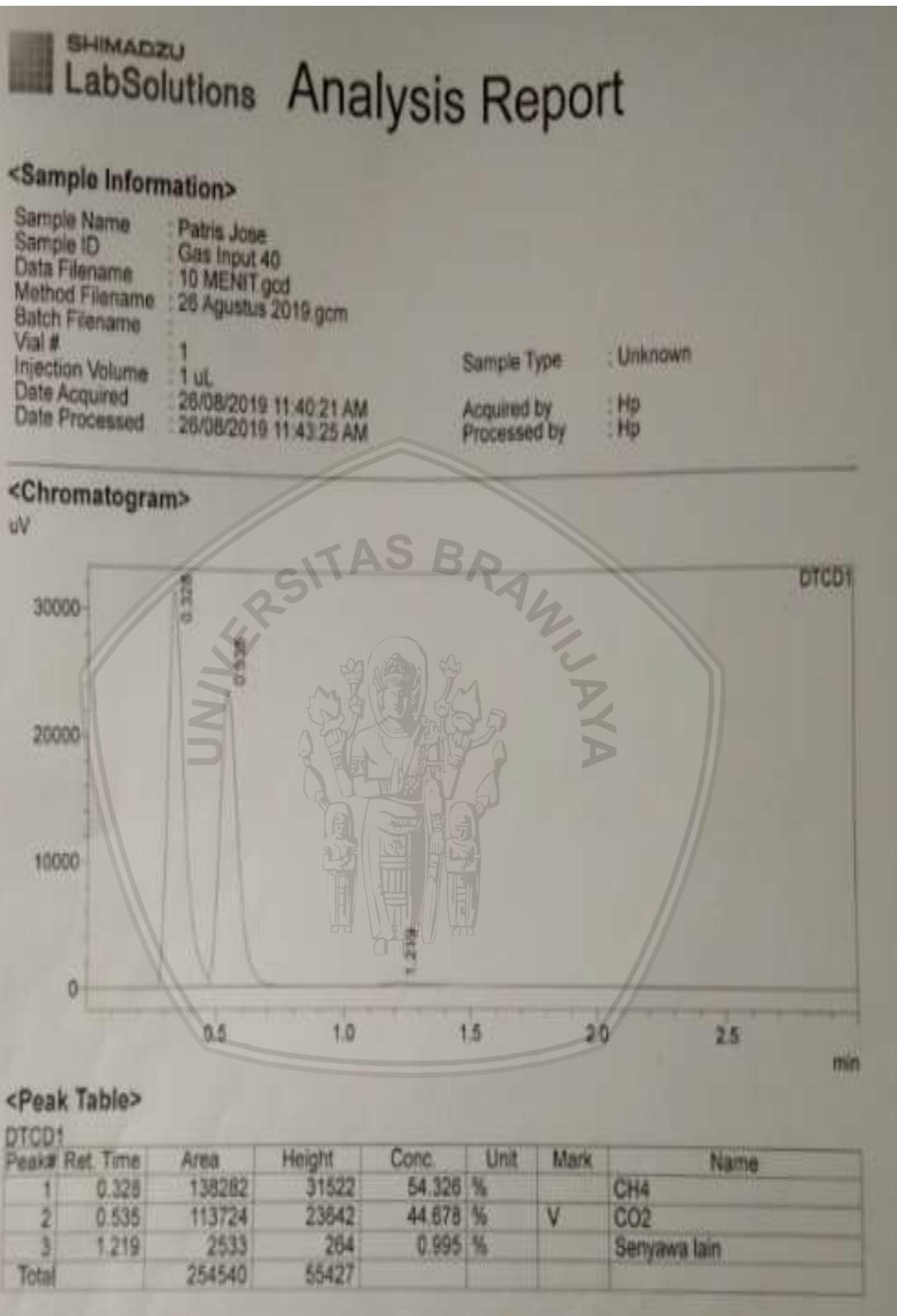
Gambar 4. Hasil analisa XRF untuk sampel karbon teraktivasi NaOH 3M

F. Hasil Uji Kromatografi Gas

E.1 Hasil Uji Kromatografi Gas untuk adsorben arang tempurung kelapa



Gambar 5. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas

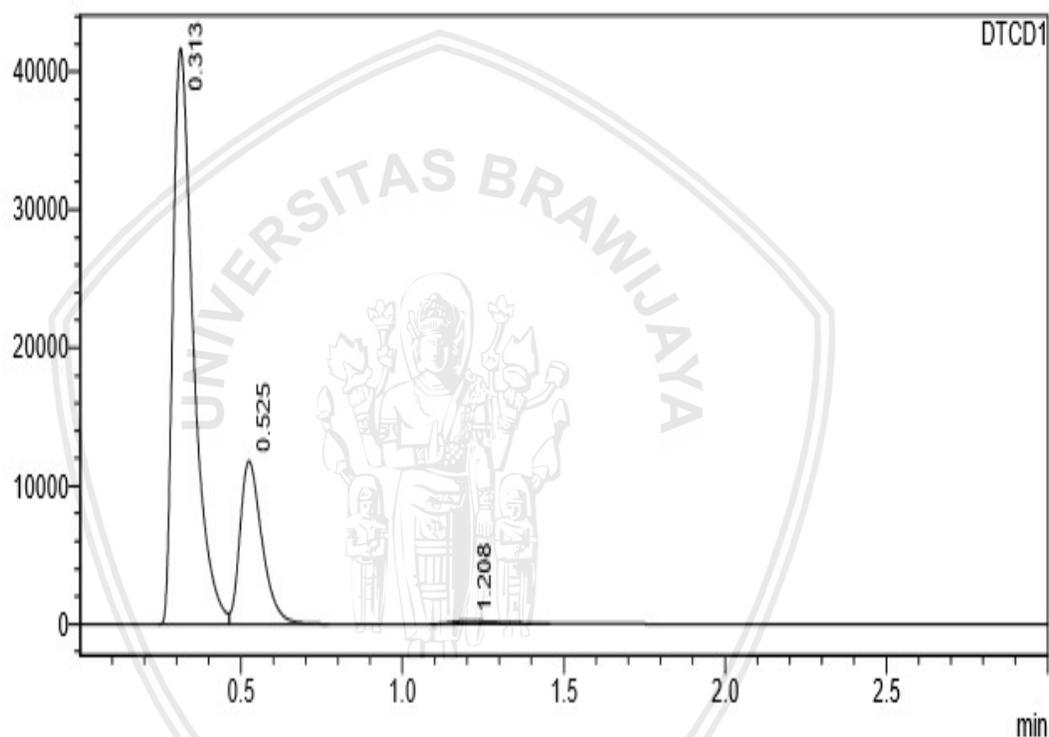


Gambar 6. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 10

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 20 MENIT.gcd
 Method Filename : 26 Agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 26/08/2019 1:19:20 PM
 Date Processed : 26/08/2019 1:23:43 PM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>

uV



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.313	183191	41582	75.867	%		CH4
2	0.525	56184	11780	23.268	%	V	CO2
3	1.208	2089	221	0.865	%		Senyawa lain
Total		241463	53583				

Gambar 7. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 20

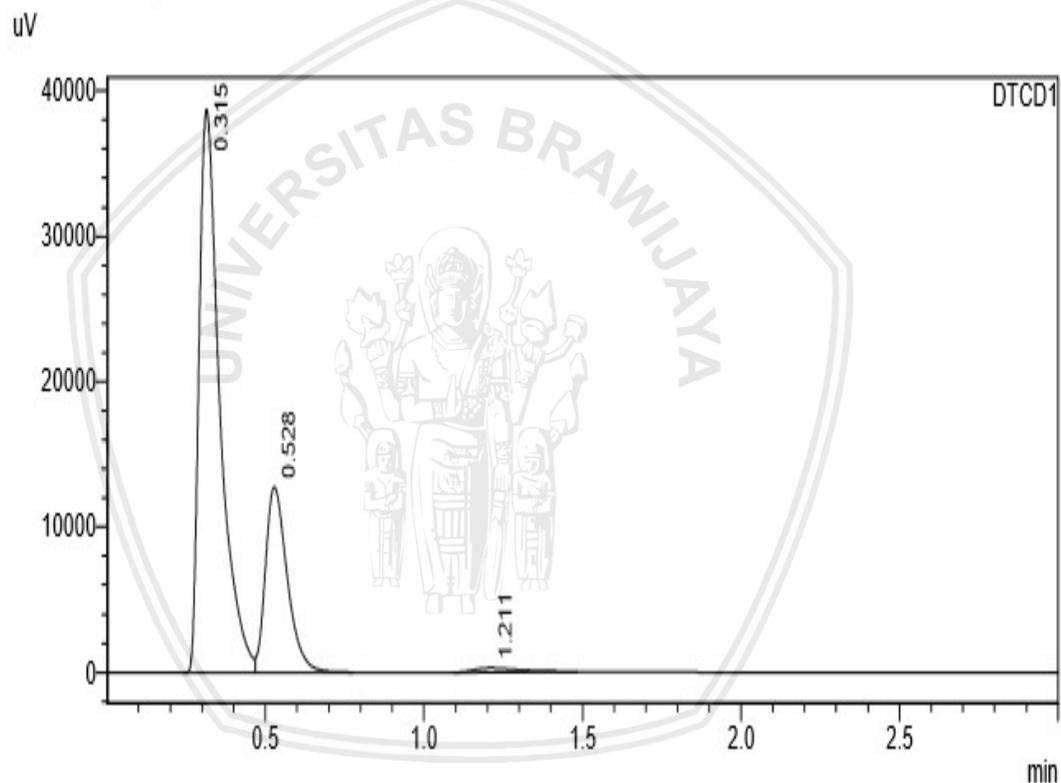


Gambar 8. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 30

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 40 MENIT.gcd
 Method Filename : 26 Agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 26/08/2019 1:29:43 PM
 Date Processed : 26/08/2019 1:33:55 PM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

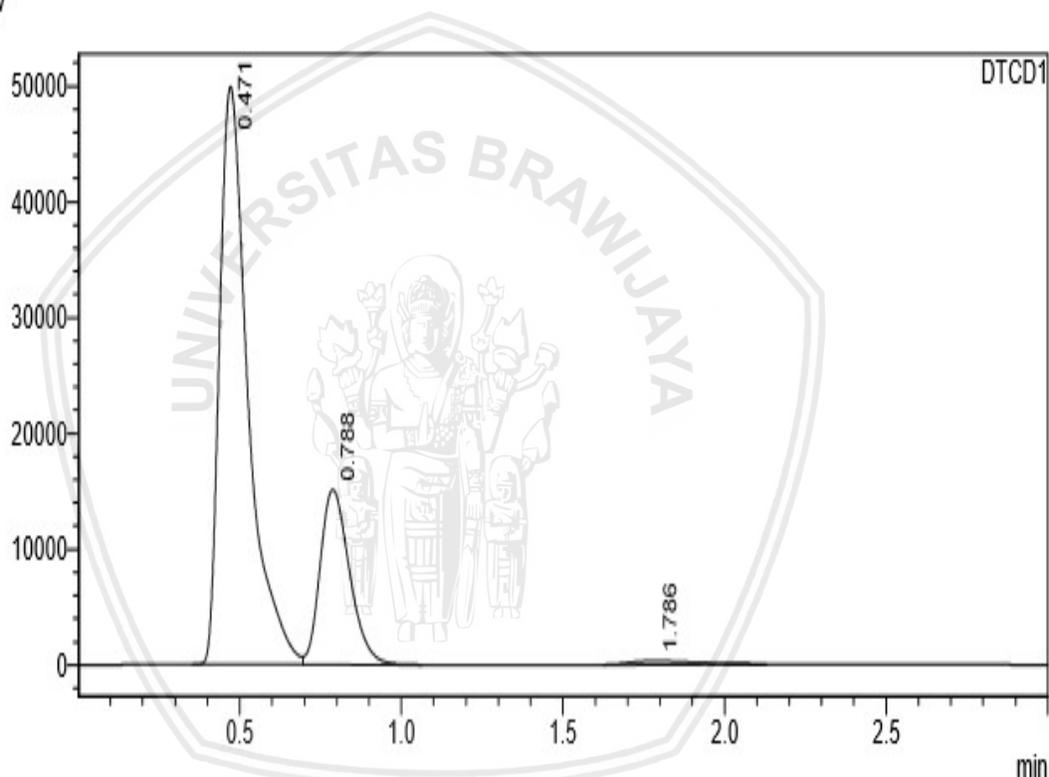
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.315	176353	38649	73.438	%		CH4
2	0.528	61041	12707	25.419	%	V	CO2
3	1.211	2745	285	1.143	%		Senyawa Lain
Total		240140	51641				

Gambar 9. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 50

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 50 MENIT.gcd
 Method Filename : 26 Agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 26/08/2019 1:34:36 PM
 Date Processed : 26/08/2019 1:38:43 PM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>

uV



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.471	304833	49834	75.291	%		CH4
2	0.788	95800	15091	23.661	%	V	CO2
3	1.786	4243	314	1.048	%		Senyawa lain
Total		404876	65239				

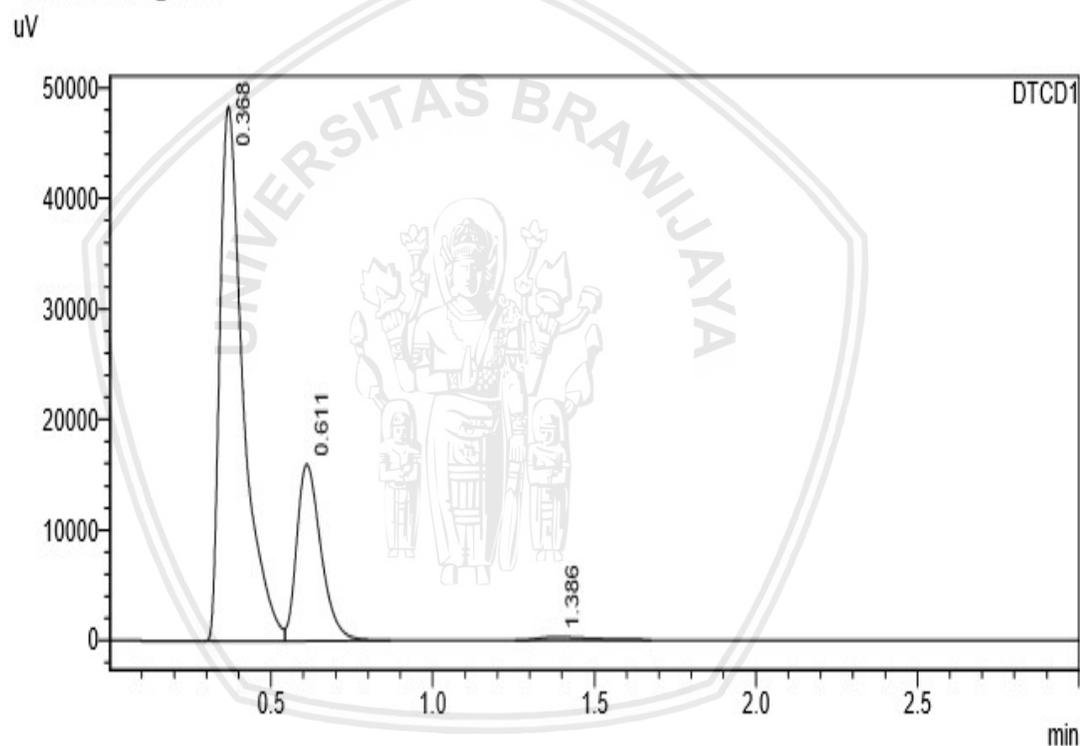
Gambar 10. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 50

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 60 MENIT.gcd
 Method Filename : 26 Agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 26/08/2019 1:39:19 PM
 Date Processed : 26/08/2019 1:43:49 PM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.368	242819	48317	73.765	%		CH4
2	0.611	83171	15942	25.266	%	V	CO2
3	1.386	3189	301	0.969	%		Senyawa Lain
Total		329179	64560				

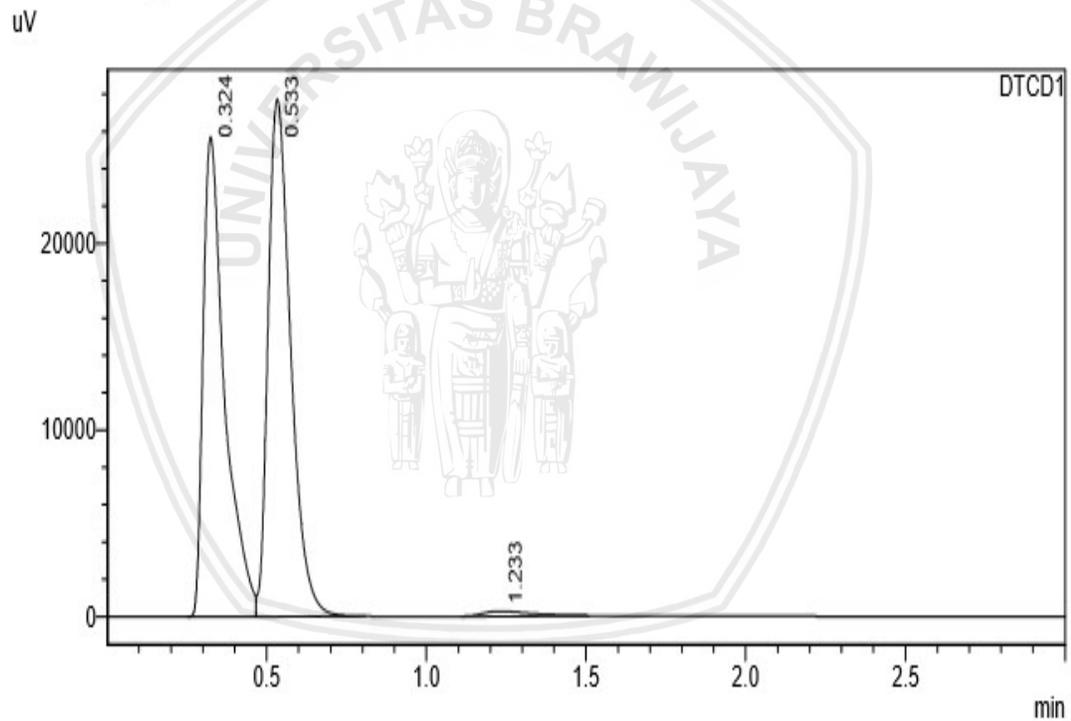
Gambar 11. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 60

E.2 Hasil Uji Kromatografi Gas untuk adsorben karbon teraktivasi NaOH 1M

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : sampel 3.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 9:41:46 AM
 Date Processed : 27/08/2019 9:46:53 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

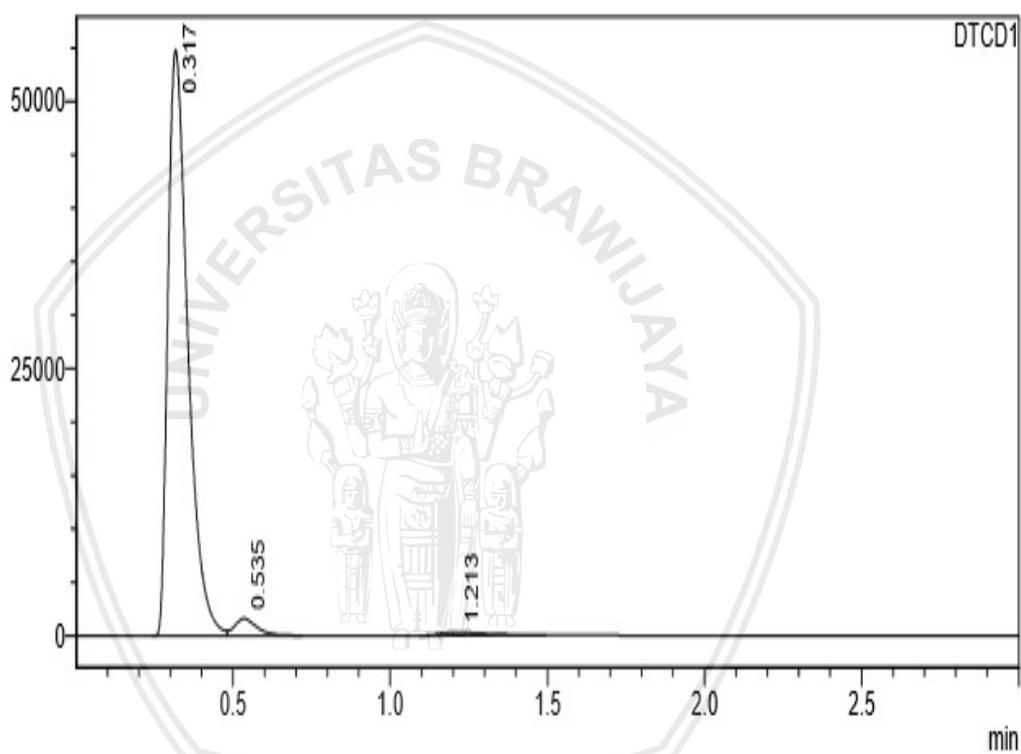
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark
1	0.324	120975	25657	46.553	%	
2	0.533	136232	27654	52.424	%	V
3	1.233	2660	267	1.023	%	
Total		259867	53578			

Gambar 12. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 10 MENIT.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:16:12 AM
 Date Processed : 27/08/2019 10:21:14 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>

uV



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.317	241261	54670	95.778	%		CH4
2	0.535	7703	1572	3.058	%	V	CO2
3	1.213	2933	299	1.164	%		Senyawa lain
Total		251897	56542				

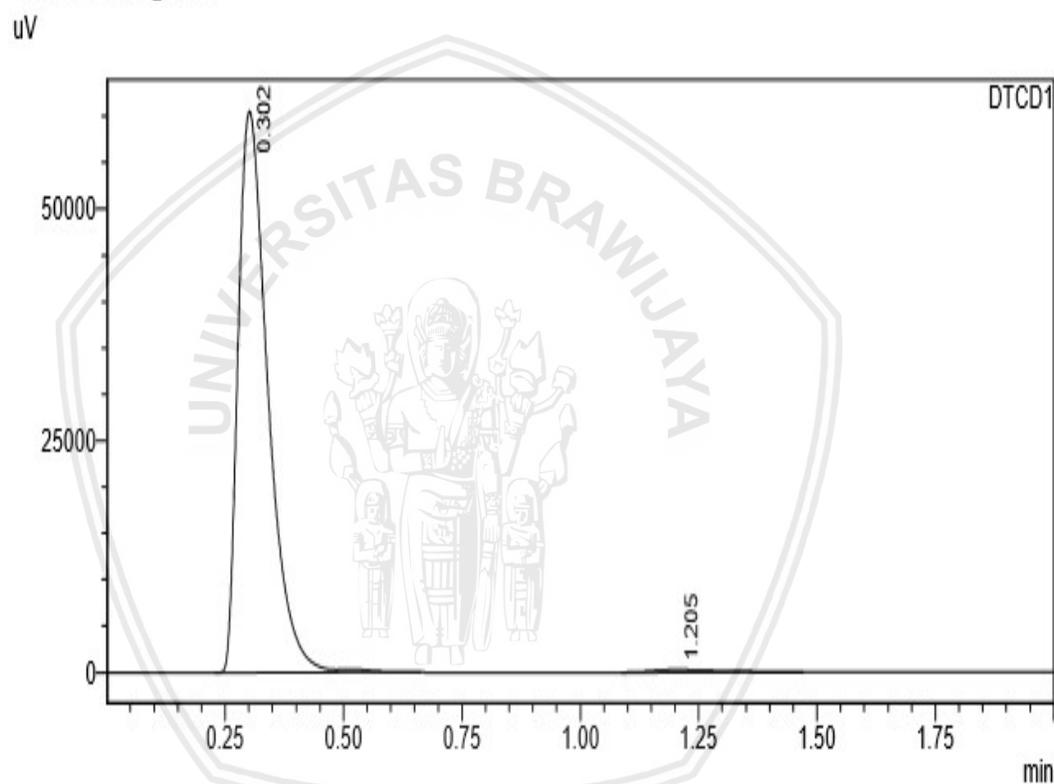
Gambar 13. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 10

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 20 MENIT 2.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:54:20 AM
 Date Processed : 27/08/2019 11:01:53 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

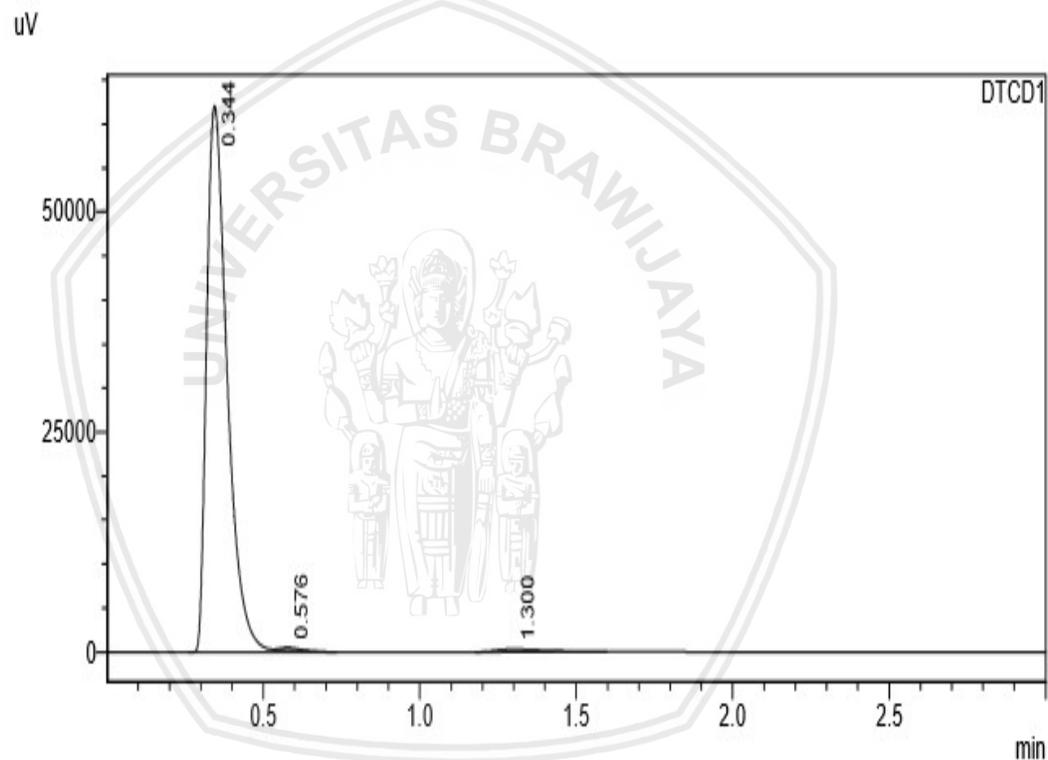
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.302	265232	60474	99.016	%	S	CH4
2	1.205	2635	273	0.984	%		\senyawa lain
Total		267867	60747				

Gambar 14. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 20

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 30 MENIT.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:26:56 AM
 Date Processed : 27/08/2019 10:31:58 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

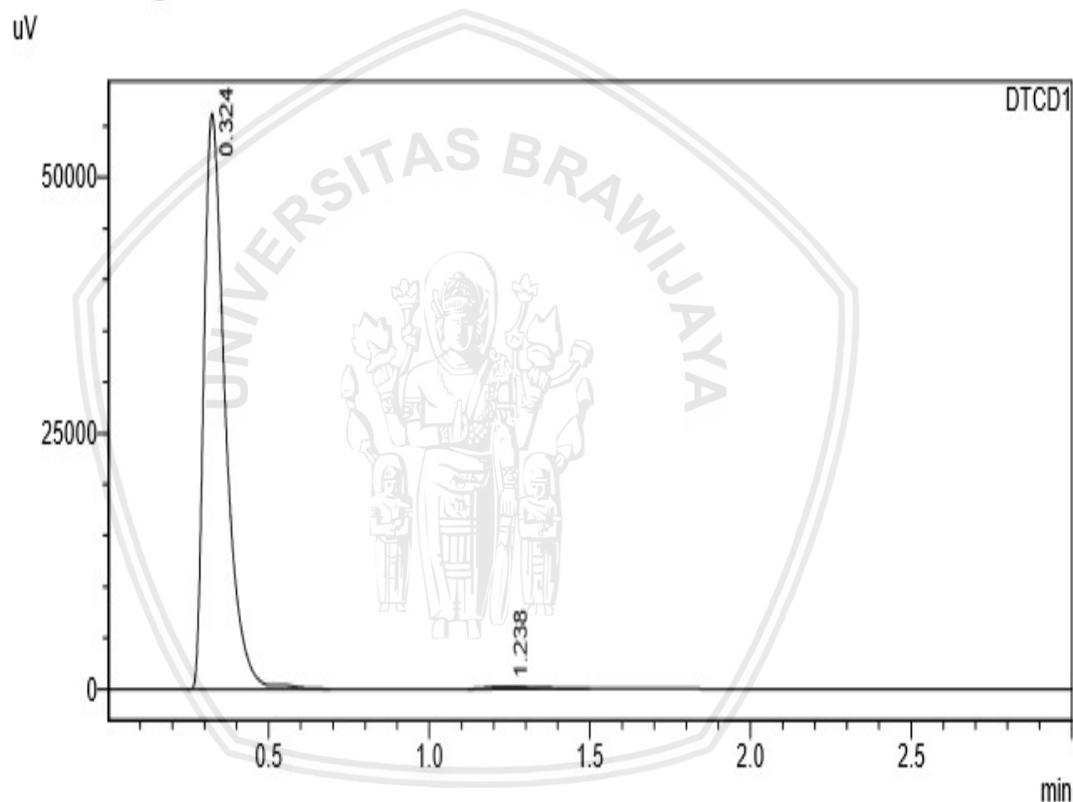
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.344	284398	61997	98.533	%	S	CH4
2	0.576	1075	289	0.373	%	T	CO2
3	1.300	3160	305	1.095	%		Senywa lain
Total		288633	62591				

Gambar 15. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 30

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 40 MENIT.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:32:30 AM
 Date Processed : 27/08/2019 10:36:43 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.324	258481	56106	99.126	%	S	CH4
2	1.238	2278	231	0.874	%		Senyawa lain
Total		260759	56338				

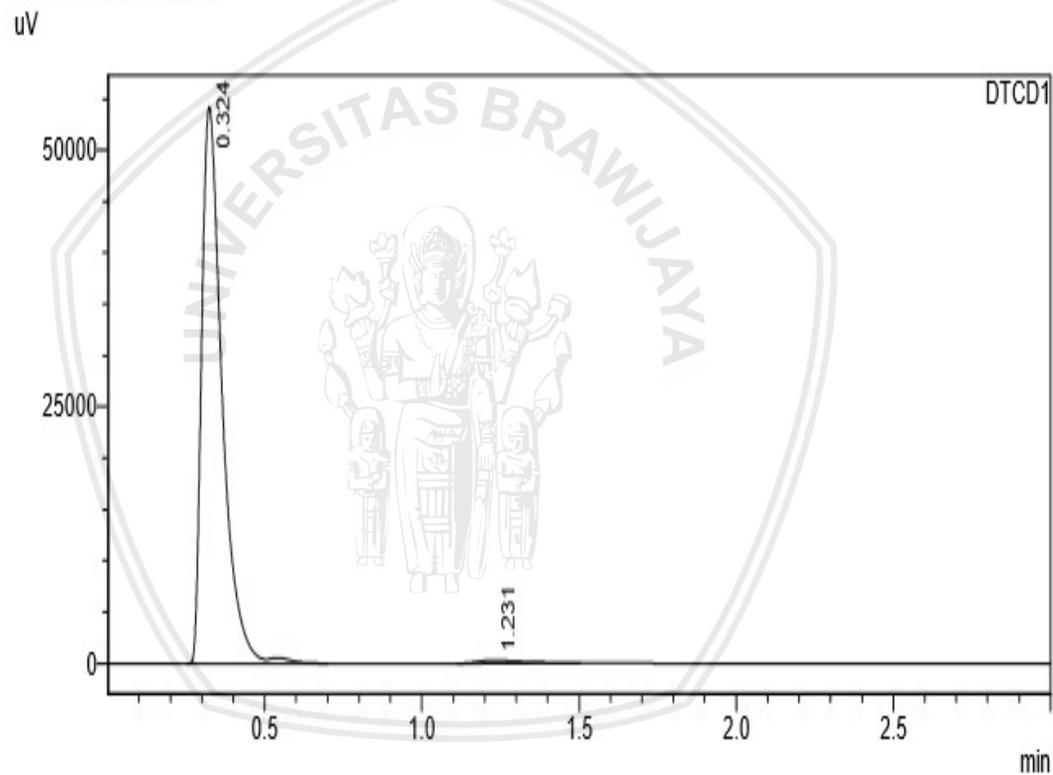
Gambar 16. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 40

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 50MENIT.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:37:13 AM
 Date Processed : 27/08/2019 10:41:12 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.324	244562	54066	98.860	%	S	CH4
2	1.231	2819	289	1.140	%		Senyawa lain
Total		247381	54355				

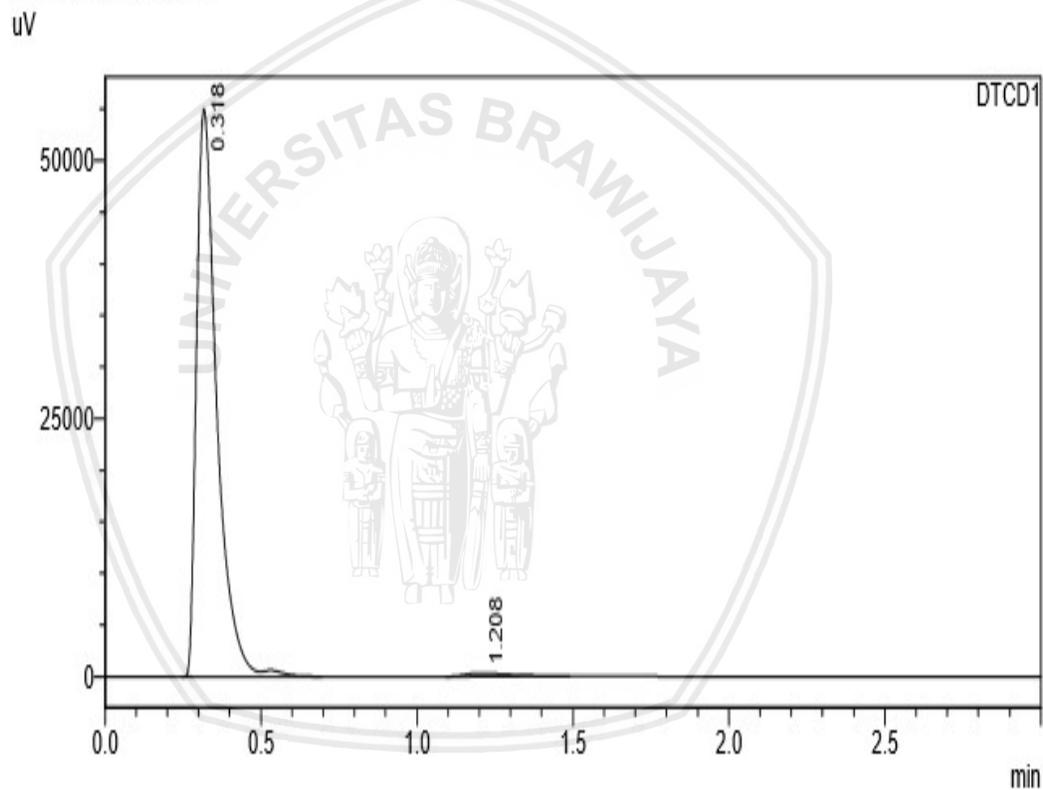
Gambar 17. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 50

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 60 MENIT.gcd
 Method Filename : 27 agstus.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 27/08/2019 10:41:58 AM
 Date Processed : 27/08/2019 10:46:03 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.318	248593	54742	98.791	%	S	CH4
2	1.208	3042	314	1.209	%		Senyawa lain
Total		251635	55056				

Gambar 18. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 10

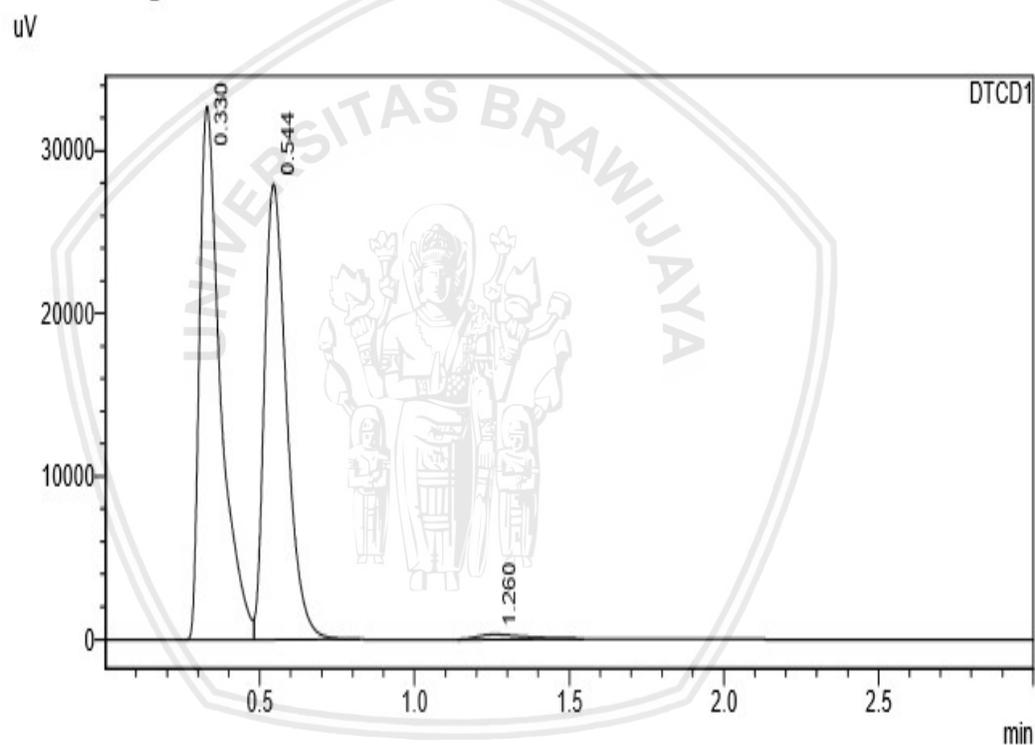
E.3 Hasil Uji Kromatografi Gas untuk adsorben karbon teraktivasi NaOH 2M

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : sampel 3.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 9:32:16 AM
 Date Processed : 28/08/2019 9:36:32 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

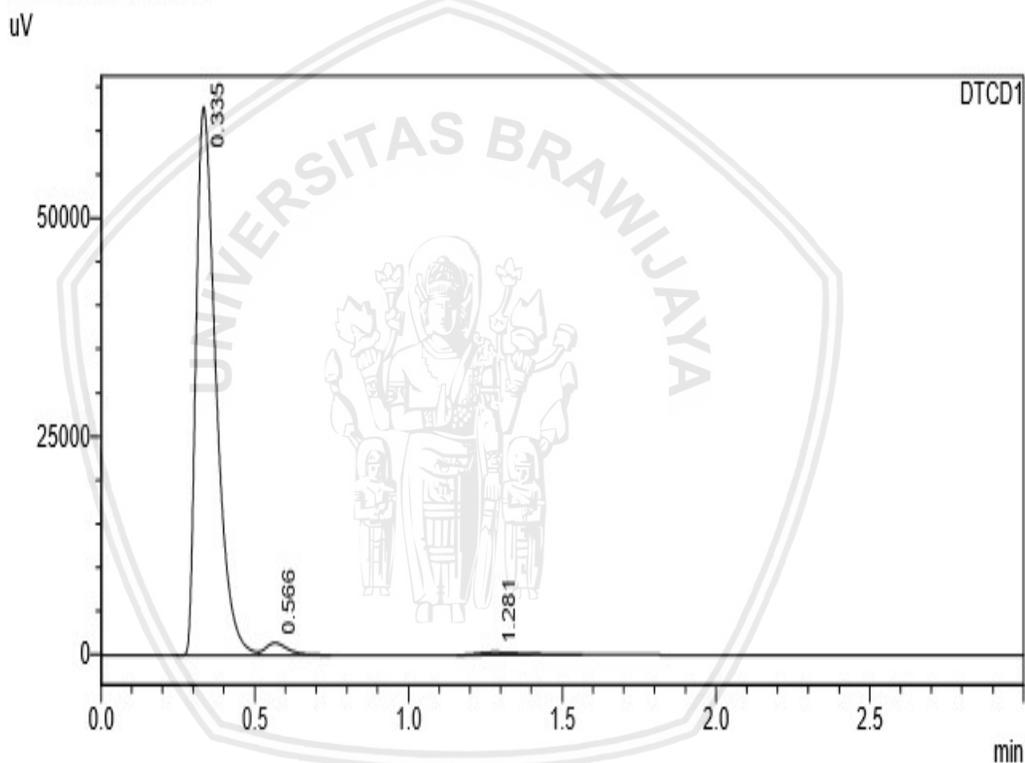
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.330	155146	32685	52.144	%		CH4
2	0.544	139445	27919	46.867	%	V	CO2
3	1.260	2944	291	0.990	%		Senyawa Lain
Total		297535	60895				

Gambar 19. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 10 menit.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 10:35:20 AM
 Date Processed : 28/08/2019 10:39:32 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.335	281181	62649	96.673	%		CH4
2	0.566	6762	1373	2.325	%	V	CO2
3	1.281	2914	289	1.002	%		Senyawa Lain
Total		290857	64311				

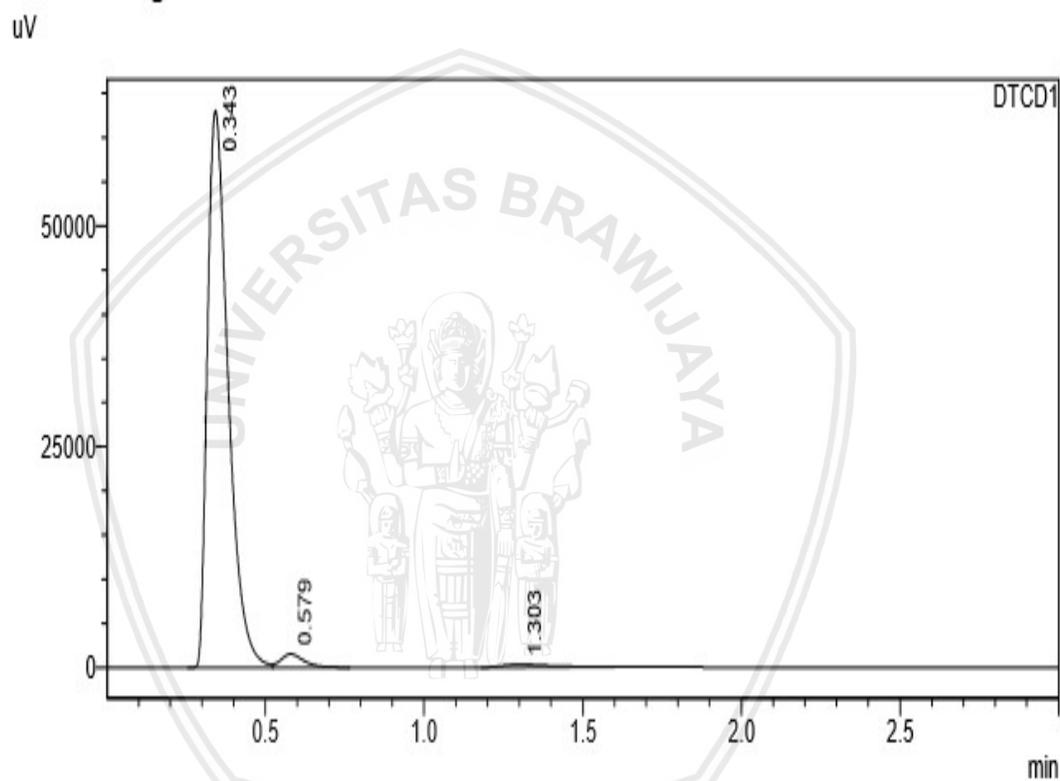
Gambar 20. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 10

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 20 MENIT.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 10:40:13 AM
 Date Processed : 28/08/2019 10:44:13 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

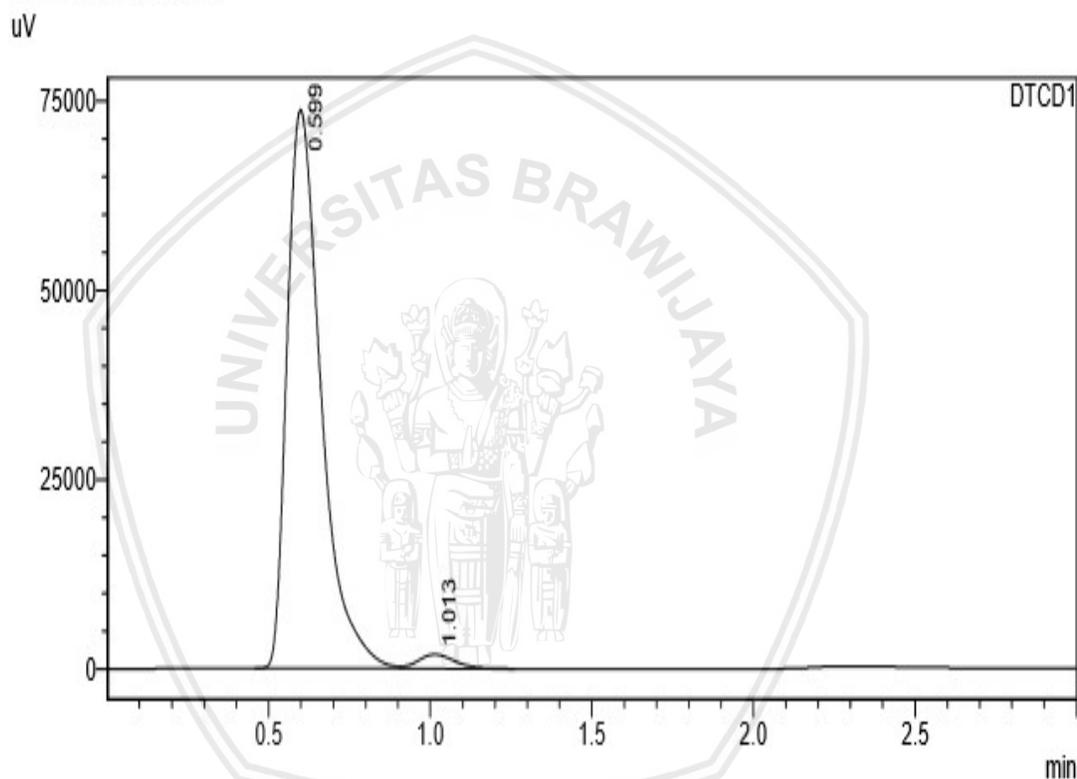
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.343	287038	62942	96.316	%		CH4
2	0.579	7589	1515	2.547	%	V	CO2
3	1.303	3391	330	1.138	%		Senyawa Lain
Total		298019	64787				

Gambar 21. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 20

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 30 MENIT.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 10:44:50 AM
 Date Processed : 28/08/2019 10:50:04 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

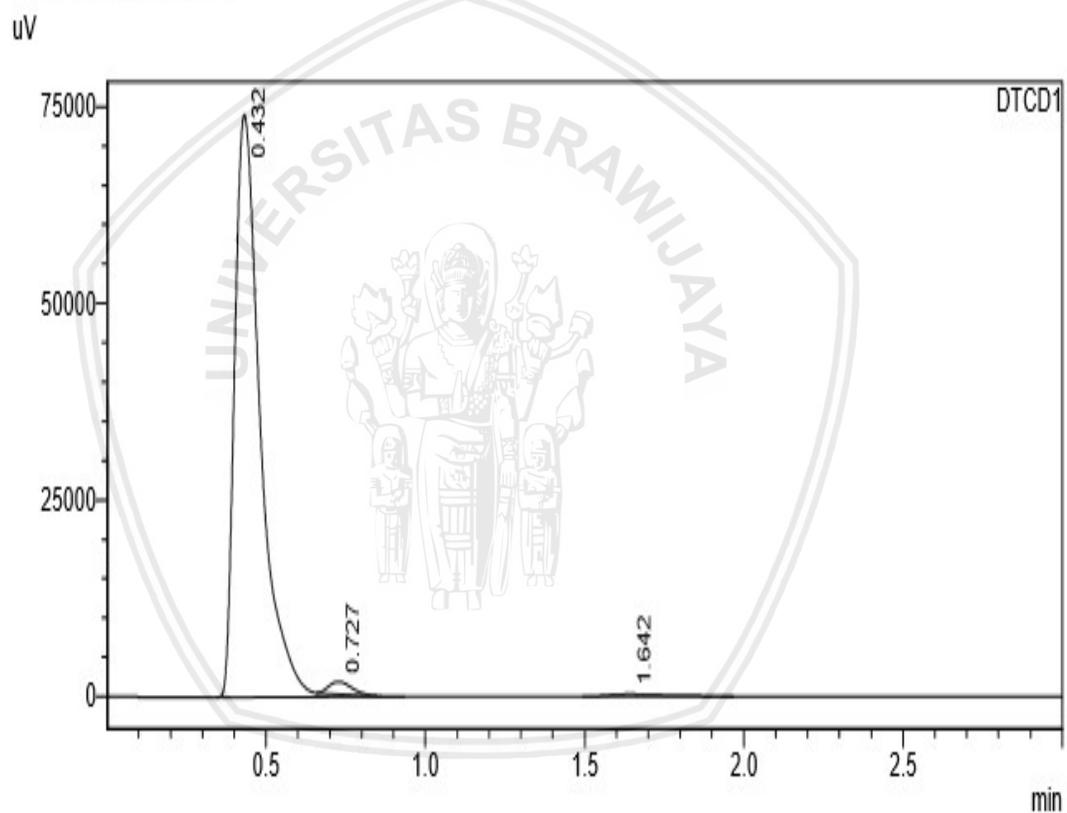
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.599	538928	73734	97.358	%		CH4
2	1.013	14623	1861	2.642	%	V	CO2
Total		553551	75596				

Gambar 22. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 30

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 40 menit.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 10:50:57 AM
 Date Processed : 28/08/2019 10:55:22 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

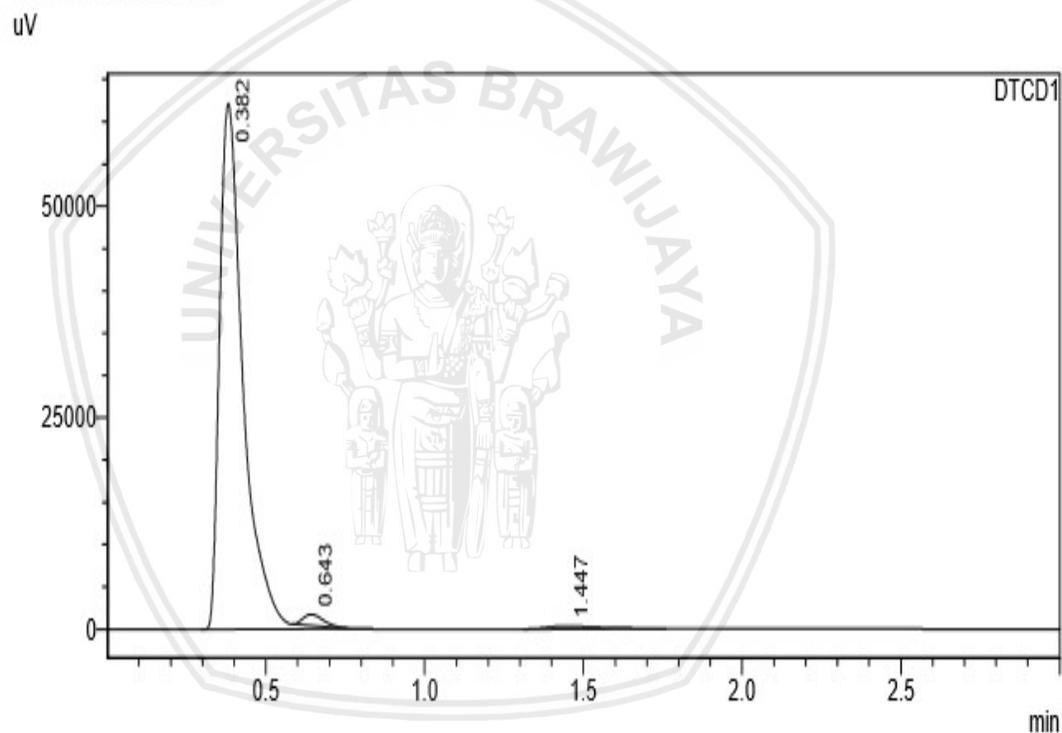
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.432	416249	73966	97.257	%	S	CH4
2	0.727	7932	1587	1.853	%	T	CO2
3	1.642	3807	305	0.889	%		Senyawa Lain
Total		427988	75857				

Gambar 23. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 40

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 50 MENIT.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 10:55:56 AM
 Date Processed : 28/08/2019 11:00:07 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.382	322258	62136	97.129	%	S	CH4
2	0.643	5883	1333	1.773	%	T	C02
3	1.447	3643	325	1.098	%		Senyawa Lain
Total		331784	63794				

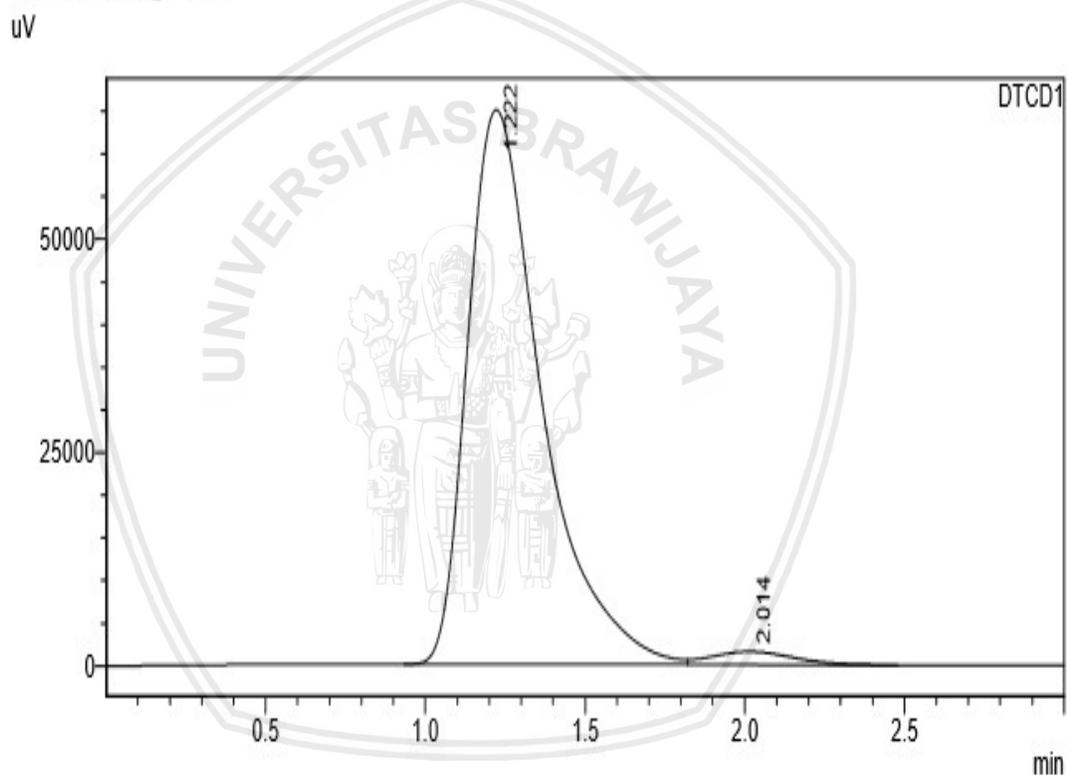
Gambar 24. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 50

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 60 MENIT.gcd
 Method Filename : 28 agustus 2019.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 28/08/2019 11:00:46 AM
 Date Processed : 28/08/2019 11:04:45 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.222	1048615	65005	97.389	%		CH4
2	2.014	28112	1564	2.611	%	V	C02
Total		1076727	66569				

Gambar 25. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 60

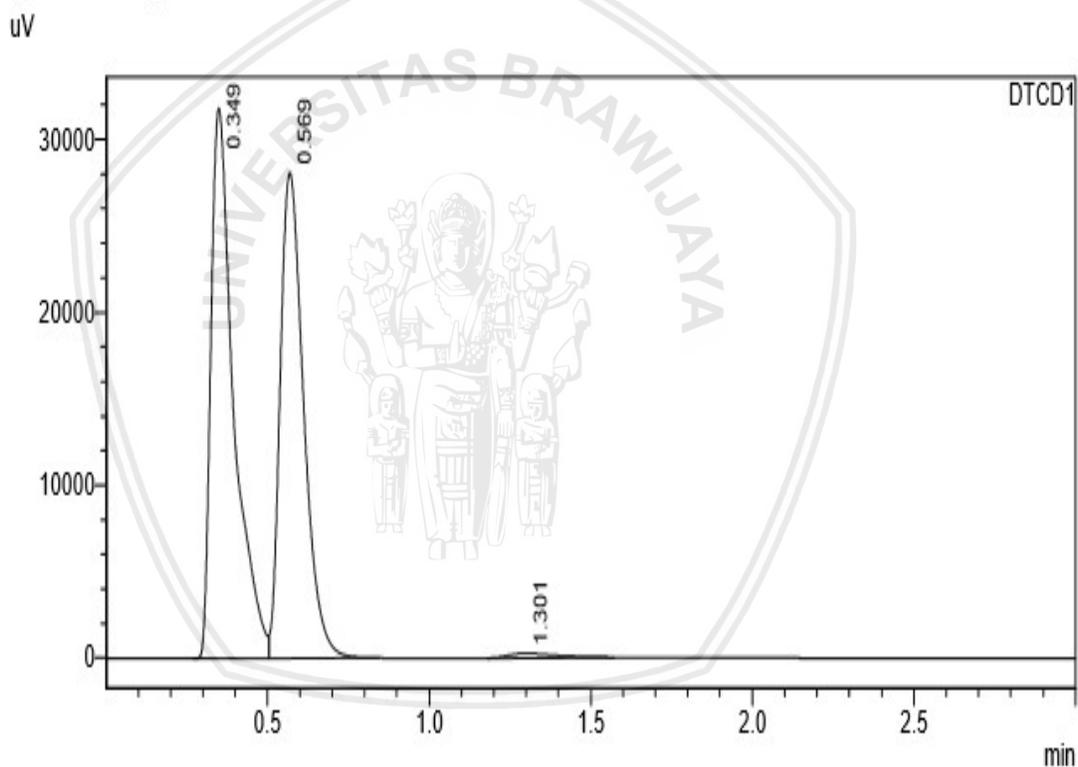
E.4 Hasil Uji Kromatografi Gas untuk adsorben karbon teraktivasi NaOH 3M

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : sampel 3.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 10:32:19 AM
 Date Processed : 29/08/2019 10:36:58 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

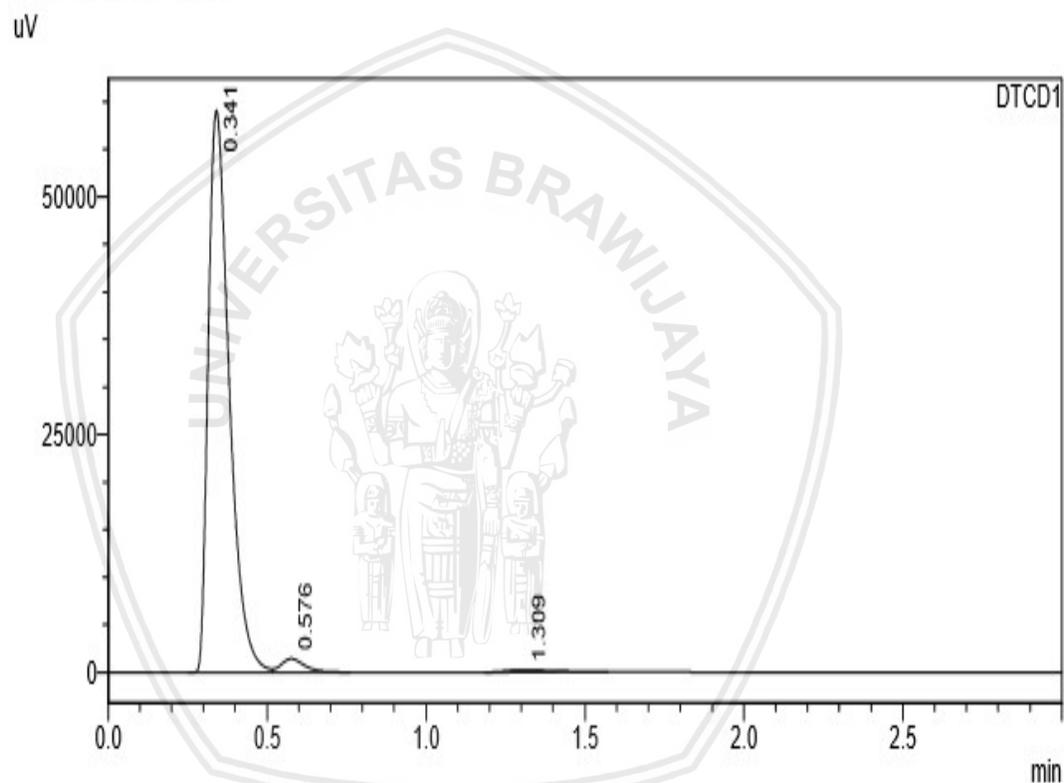
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.349	156334	31779	51.975	%		CH4
2	0.569	141898	28033	47.176	%	V	CO2
3	1.301	2554	252	0.849	%		Senyawa lain
Total		300787	60065				

Gambar 26. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 10 menit.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 11:23:02 AM
 Date Processed : 29/08/2019 11:29:17 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

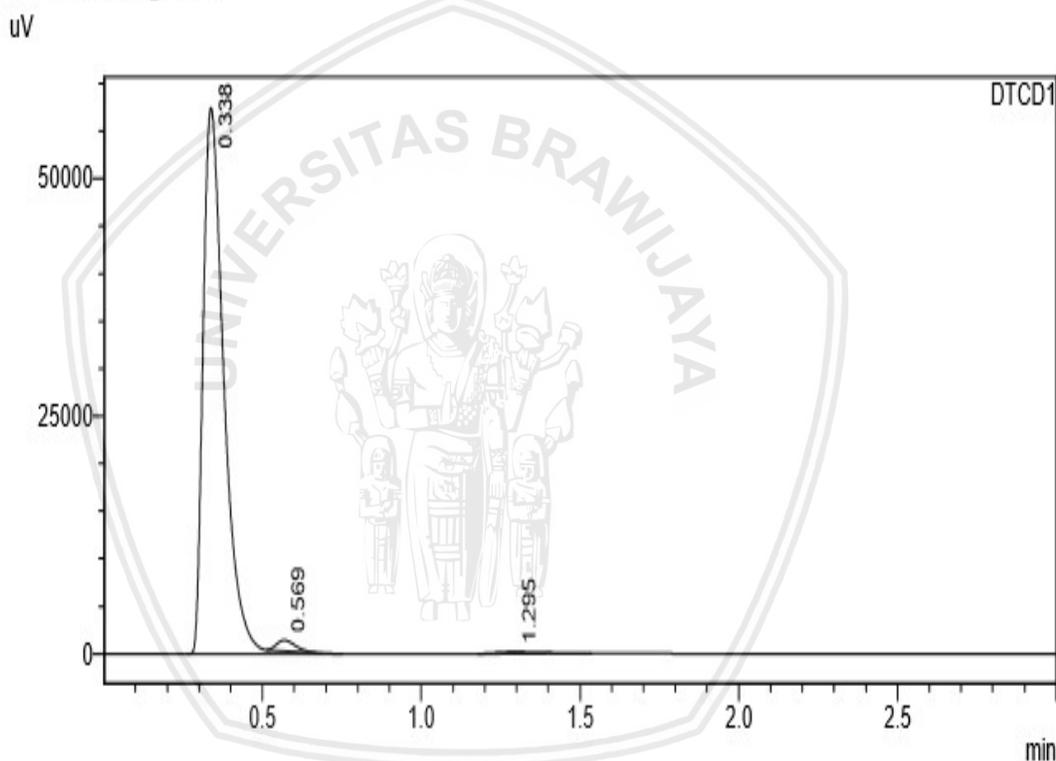
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.341	270621	58862	96.567	%		CH4
2	0.576	7198	1420	2.569	%	V	CO2
3	1.309	2422	240	0.864	%		Senyawa lain
Total		280241	60523				

Gambar 27. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 10

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 20 menit.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 11:29:43 AM
 Date Processed : 29/08/2019 11:33:34 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

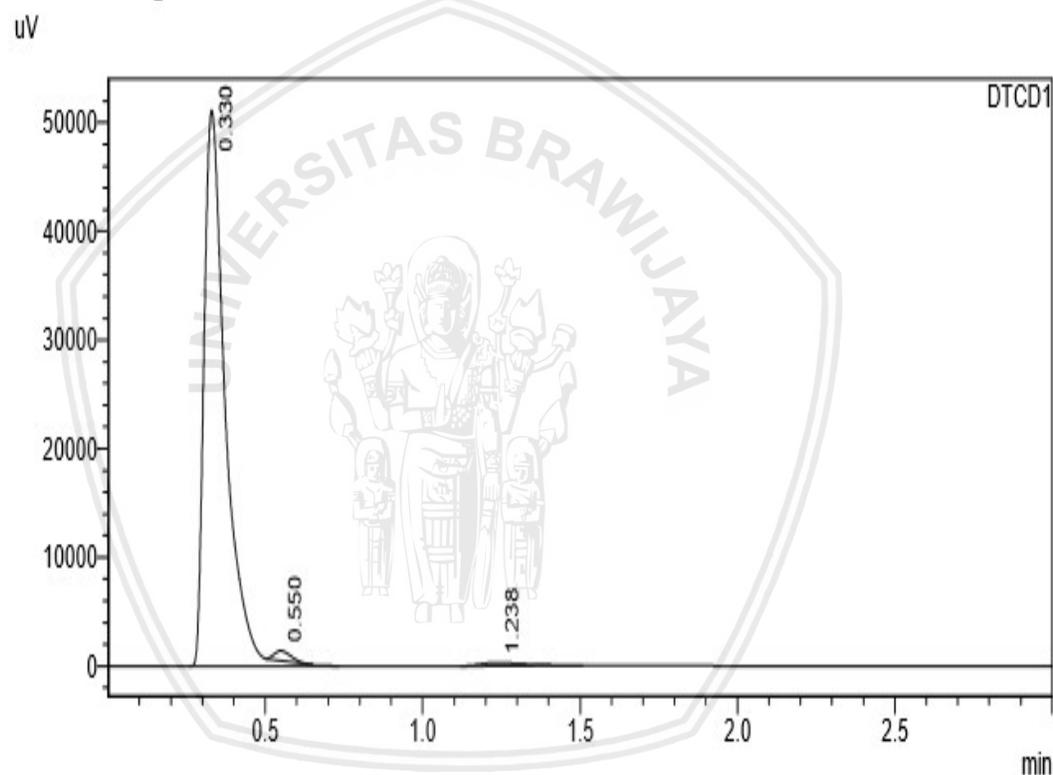
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.338	262355	57330	97.586	%	S	CH4
2	0.569	4666	1126	1.736	%	T	CO2
3	1.295	1824	185	0.678	%		Senyawa lain
Total		268844	58641				

Gambar 28. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 20

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 30 menit.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 11:34:04 AM
 Date Processed : 29/08/2019 11:38:05 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

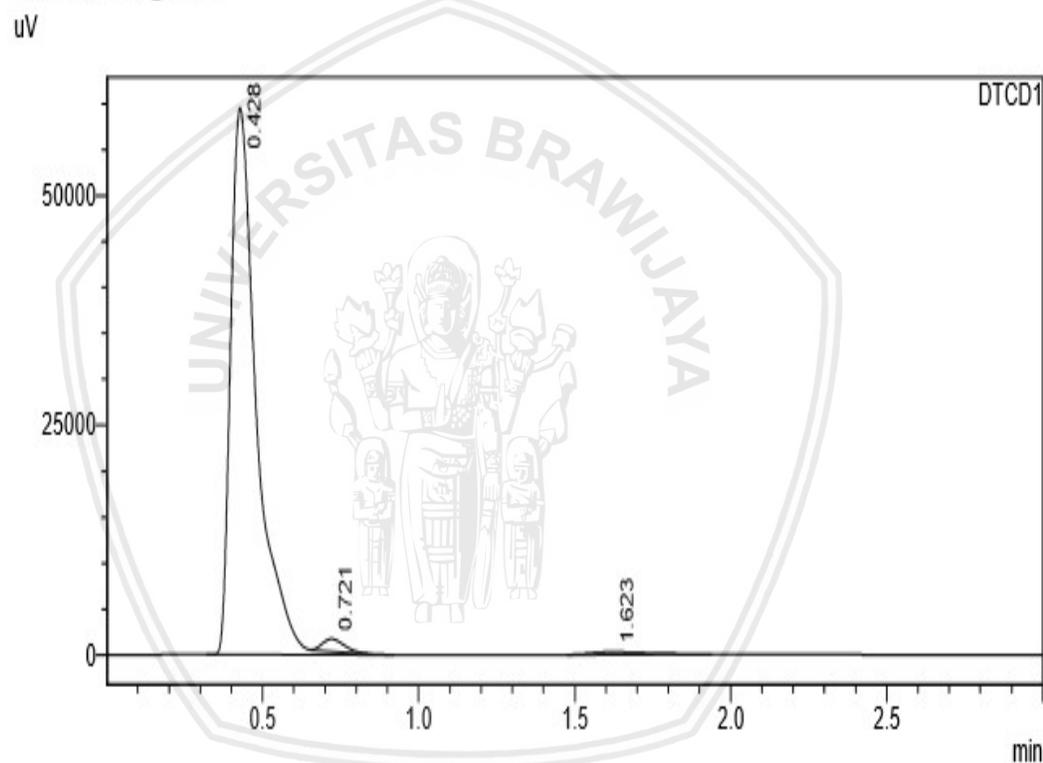
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.330	241231	51088	97.595	%	S	CH4
2	0.550	3289	889	1.331	%	T	CO2
3	1.238	2655	274	1.074	%		Senyawa lain
Total		247175	52250				

Gambar 29. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 30

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 50 menit.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 11:44:10 AM
 Date Processed : 29/08/2019 11:48:08 AM
 Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.428	343424	59460	97.207	%	S	CH4
2	0.721	6406	1327	1.813	%	T	CO2
3	1.623	3460	282	0.979	%		Senyawa lain
Total		353290	61069				

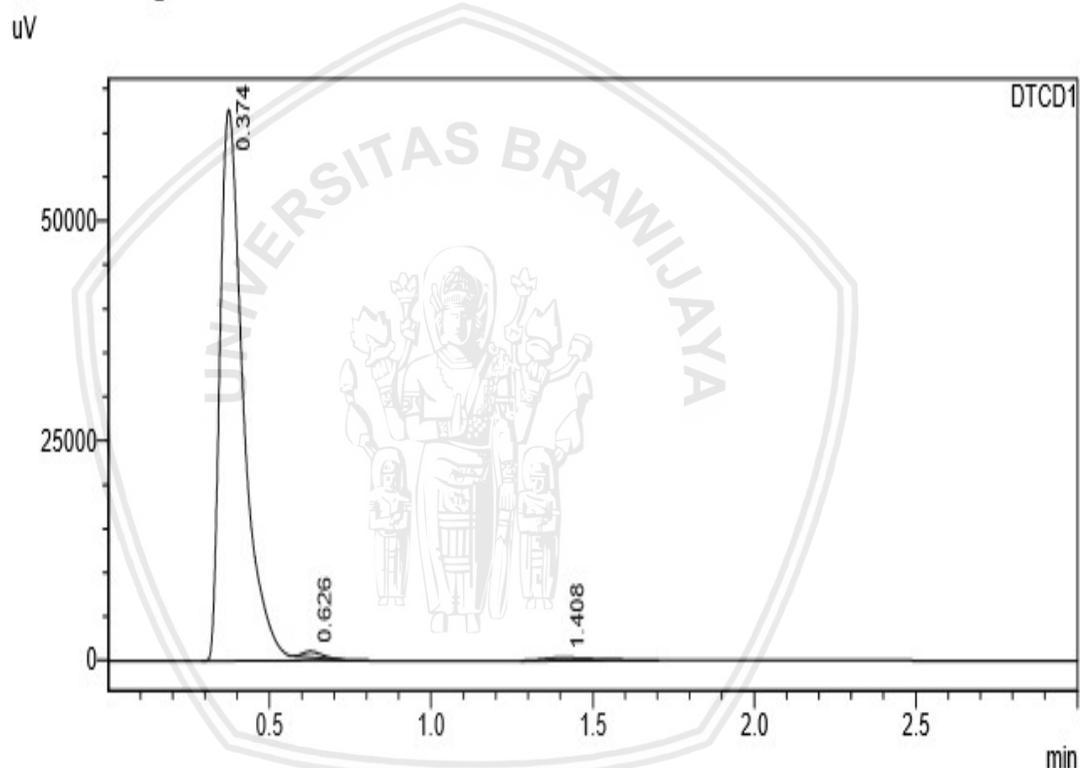
Gambar 31. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 50

<Sample Information>

Sample Name : Patris Jose
 Sample ID : Gas Input 40
 Data Filename : 60 menit.gcd
 Method Filename : uji.gcm
 Batch Filename :
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1 uL
 Date Acquired : 29/08/2019 11:48:40 AM
 Date Processed : 29/08/2019 11:52:41 AM

Sample Type : Unknown
 Acquired by : Hp
 Processed by : Hp

<Chromatogram>



<Peak Table>

DTCD1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	0.374	315096	62414	98.151	%	S	CH4
2	0.626	2744	674	0.855	%	T	CO2
3	1.408	3192	295	0.994	%		Senyawa lain
Total		321032	63383				

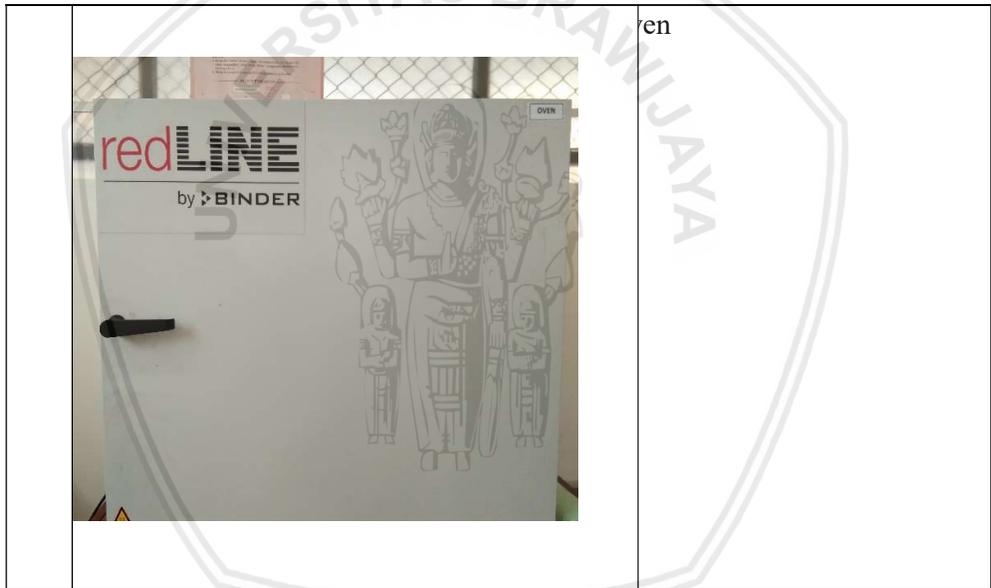
Gambar 32. Hasil Uji Kromatografi Gas untuk sampel Biogas dengan adsorben arang tempurung kelapa pada menit ke 60

G. Dokumentasi Penelitian

Tabel 10 Dokumentasi Penelitian

No	GAMBAR	KETERANGAN
1		<p>aktivasi arang tempurung kelapa menggunakan larutan NaOH</p>
		<p>at <i>Moisture Balanced</i></p>
3		<p>at Neraca Digital</p>

		
4		at Desikator
		arutan NaOH 1M, 2M dan 3M
		rbon teraktivasi

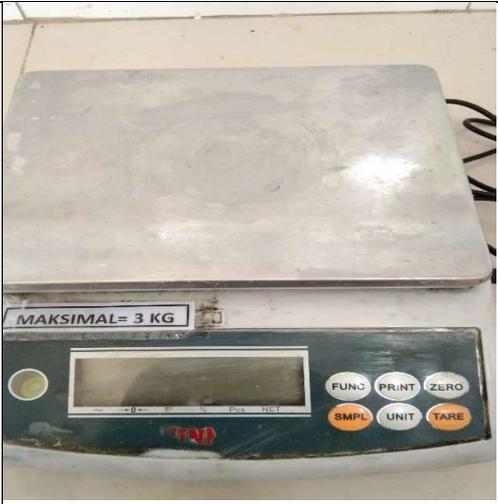


ren



ang tempurung kelapa

		<p>rnace</p>
		<p>ngkaiian peralatan adsorpsi</p>
		<p>raca Digital</p>

		
		esh



RIWAYAT HIDUP

Jose Rizal Sahata Samosir, lahir di Jayapura, 10 Agustus 1997, merupakan anak dari ayah (Alm) Maimun Samosir dan ibu (Almh.) Roslina br. Ginting. Mengampu pendidikan dasar di SD Kristus Raja Jayapura, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Jayapura, dan pendidikan menengah atas di SMAN 5 Jayapura lulus tahun 2015. Lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2019. Memiliki pengalaman kerja sebagai asisten Praktikum Operasi Teknik Kimia di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dari bulan Oktober hingga November 2019.

Malang, Desember 2019

Penulis



RIWAYAT HIDUP

Patrisius Afinius Sare Bajo, lahir di Kota Ende, 19 juli 1997, merupakan anak dari ayah Gabriel Pake dan Ibu Theresia Sena. Mengampu pendidikan dasar di SDK Ende 8, pendidikan menengah pertama di SMPK Frateran Ndao Ende, dan pendidikan menengah atas di SMAK Syuradikara Ende lulus tahun 2015. Lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2019. Memiliki pengalaman menjadi anggota kepanitiaan I-Challenge pada tahun 2018 dan menjadi asisten Praktikum Operasi Teknik Kimia di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dari bulan Oktober hingga November 2019.

Malang, Desember 2019

Penulis

