



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN MASKER ANTIPOLUTAN BERBASIS KARBON AKTIF
DARI LIMBAH TEMPURUNG KELAPA**

SKRIPSI

**FAUZAN NAZIF
1306370392**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
2017**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN MASKER ANTIPOLUTAN BERBASIS KARBON AKTIF
DARI LIMBAH TEMPURUNG KELAPA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FAUZAN NAZIF

1306370392

FAKULTAS TEKNIK

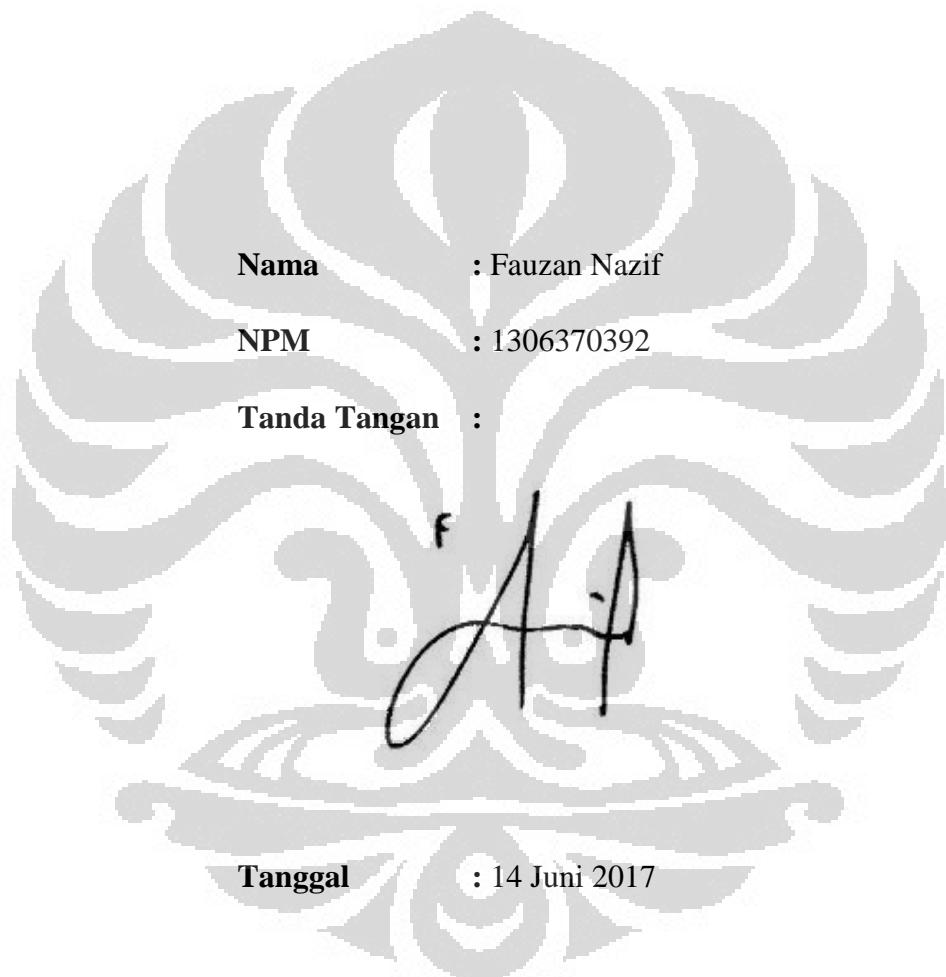
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

2017

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber, baik yang
dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar**



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini disusun oleh:

Nama : Fauzan Nazif

NPM : 1306370392

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Pengaji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., Ph.D (MS)

Pengaji : Prof. Dr. Ir Widodo Wahyu Purwanto, DEA. (Widodo)

Pengaji : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muhamam, M.T. (Yuswan)

Ditetapkan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 14 Juni 2017

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi berjudul “Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif Dari Limbah Tempurung Kelapa” ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis dalam meraih gelar sarjana Teknik di Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Skripsi ini tidak akan terealisasi tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis juga tidak lupa menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Sutrasno Katohardjono, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
2. Prof. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dari awal hingga akhir penyelesaian skripsi ini dan selaku koordinator mata kuliah spesial;
3. Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng. selaku pembimbing akademik;
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mendidik dan memberikan berbagai wawasan ilmu pengetahuan serta motivasi selama masa perkuliahan;
5. Seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia UI yang telah bersikap supportif selama masa pendidikan penulis;
6. Mas Sriyono yang telah membantu mengurus berbagai administrasi skripsi;
7. Mama, Papa, Febby, dan Keluarga Besar sebagai keluarga tercinta yang selalu memberikan dorongan semangat, kasih sayang dan dukungannya;
8. Bibir, Ikle, Digor, Samid, Laron, Menggi, Kokoh, Faruk, Satria dan Mahdum selaku sahabat terbaik serta sahabat-sahabat yang saya miliki yang turut mewarnai hari-hari dan memberikan keceriaan dari awal kuliah hingga saat ini;
9. Ariny Lastarya Putri sebagai ”partner” yang telah mewarnai hari – hari penulis, dan memberikan energi positif terhadap penulis.
10. Hanif, Sheila, Nydia, Uline, Imas, Julianto, Bima, Alfin, Adit, Bang Afdol, Bang Isra, dan Mbak Novi selaku rekan satu bimbingan riset grup energi berkelanjutan;

11. Rekan-rekan tercinta angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat, motivasi dan kebahagiaan sampai akhir;
12. Alumni, senior, dan junior departemen teknik kimia selaku keluarga di lingkungan kampus yang sudah menemani perjuangan di kampus UI;

Ada pepatah berbunyi “tak ada gading yang tak retak”, begitu pula dengan skripsi ini. Masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Namun dibalik semua kekurangan yang ada, penulis tetap berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak untuk memperkaya wawasan serta sebagai bentuk kontribusi nyata bagi perkembangan dunia pendidikan dan ilmu pengetahuan, khususnya terkait dengan bidang Teknik Kimia.



Depok, 14 Juni 2017

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzan Nazif
NPM : 1306370392
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengelola dama bentuk pangkalan data (*database*), mengalihmedia/formatkan, merawat dan memublikasi tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 14 Juni 2017

Yang Menyatakan,



(Fauzan Nazif)

ABSTRAK

Nama : Fauzan Nazif
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa dipilih menjadi bahan dasar adsorben pada masker dalam menyerap gas CO₂ karena memiliki kandungan selulosa sebesar 26,60%, kandungan hemiselulosa 27,70% dan kandungan lignin sebesar 29,40% serta produksinya yang tinggi 61 juta ton atau 33,94% dari produksi dunia. Metode aktivasi tempurung kelapa dilakukan secara fisika menggunakan CO₂ pada suhu 850 °C, dan secara kimia dengan ZnCl₂ pada suhu 80 °C dilanjutkan dengan pirolisis menggunakan N₂ pada suhu 650 °C. Karakterisasi yang digunakan adalah BET untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif. Melalui uji BET didapatkan luas permukaan karbon teraktivasi kimia sebesar 432,26 m²/g dan yang teraktivasi fisika sebesar 323,57 m²/g. Selanjutnya kapasitas adsorpsi masker karbon aktif diuji pada ruang kompartemen dengan mengalirkan campuran gas CO₂ dan udara selama satu jam, lalu mengukur perbedaan konsentrasi CO₂ masukan dan keluaran dengan CO₂ detector. Berdasarkan hasil uji adsorpsi polutan, didapatkan bahwa variasi terbaik adalah masker dengan massa karbon aktif 6 gram, teraktivasi kimia, dan dengan menggunakan perekat TEOS yang mampu mengadsorpsi polutan CO₂ sebesar 76,52%. Masker yang dibuat pada penelitian ini memiliki waktu jenuh selama empat jam pada kondisi konsentrasi CO₂ yang tinggi.

Kata kunci: masker antipolutan, karbon aktif, tempurung kelapa, adsorpsi, *dip coating*.

ABSTRACT

Name : Fauzan Nazif
Major : Chemical Engineering
Title : Production of Antipollutant Mask – Based Activated Carbon from Wasted Coconut Shell

Coconut shell is selected as the raw material of adsorbent in mask to absorb CO₂ gas because it has cellulose content of 26.60%, hemicellulose content 27.70% and lignin content of 29.40% and its production is 61 million ton or 33.94% of world production. The method of coconut shell activation was done physically using CO₂ at 850 °C, and chemically with ZnCl₂ at 80 °C followed by pyrolysis using N₂ at 650 °C. The characterization used is BET to measure surface area of activated carbon. Through BET test, it was found that the chemical activated carbon surface area is 432.26 m²/g and the physical activation is 323.57 m² / g. Furthermore, the adsorption capacity of the activated carbon mask is tested in the compartment chamber by flowing a mixture of CO₂ and air for an hour, then measuring the CO₂ input and output CO₂ difference using CO₂ detector. Based on the results of adsorption test, it was found that the best variation is a mask with 6 gram active carbon mass, chemical activated, and by using TEOS as adhesive capable of adsorbing CO₂ pollutant by 76.52%. Mask made in this research has saturated time for four hours under high CO₂ concentration conditions.

Keywords: antipollutant mask, activated carbon, wasted coconut shell, adsorption, dip coating.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | vii |
| ABSTRAK | viii |
| ABSTRACT | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| PENDAHULUAN..... | 7 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 7 |
| 1.2. Perumusan Masalah..... | 9 |
| 1.3. Tujuan..... | 9 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 10 |
| 1.5. Sistematika Penulisan..... | 10 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 11 |
| 2.1. Tinjauan Umum Tentang Pencemaran Udara | 11 |
| 2.1.1. Jenis Polutan Udara..... | 12 |
| 2.1.2. Emisi Gas Buang..... | 13 |
| 2.2. Tinjauan Tentang Polutan Gas | 15 |
| 2.2.1. Gas CO ₂ (Karbon Dioksida) | 15 |
| 2.2.2. Gas CO (Karbon Monoksida) | 16 |
| 2.2.3. Gas NO dan NO _x | 18 |
| 2.3. Masker Anti Partikulat | 19 |
| 2.4. Masker Karbon Aktif..... | 20 |
| 2.5. Penggunaan Karbon Aktif Berbahan Baku Tempurung Kelapa | 21 |
| 2.6. Proses Pembuatan Karbon Aktif | 23 |
| 2.7. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Metode BET | 26 |
| 2.8. Proses Adsorpsi Masker Karbon Aktif..... | 28 |
| 2.9. Teknologi Dip <i>Coating</i> | 29 |

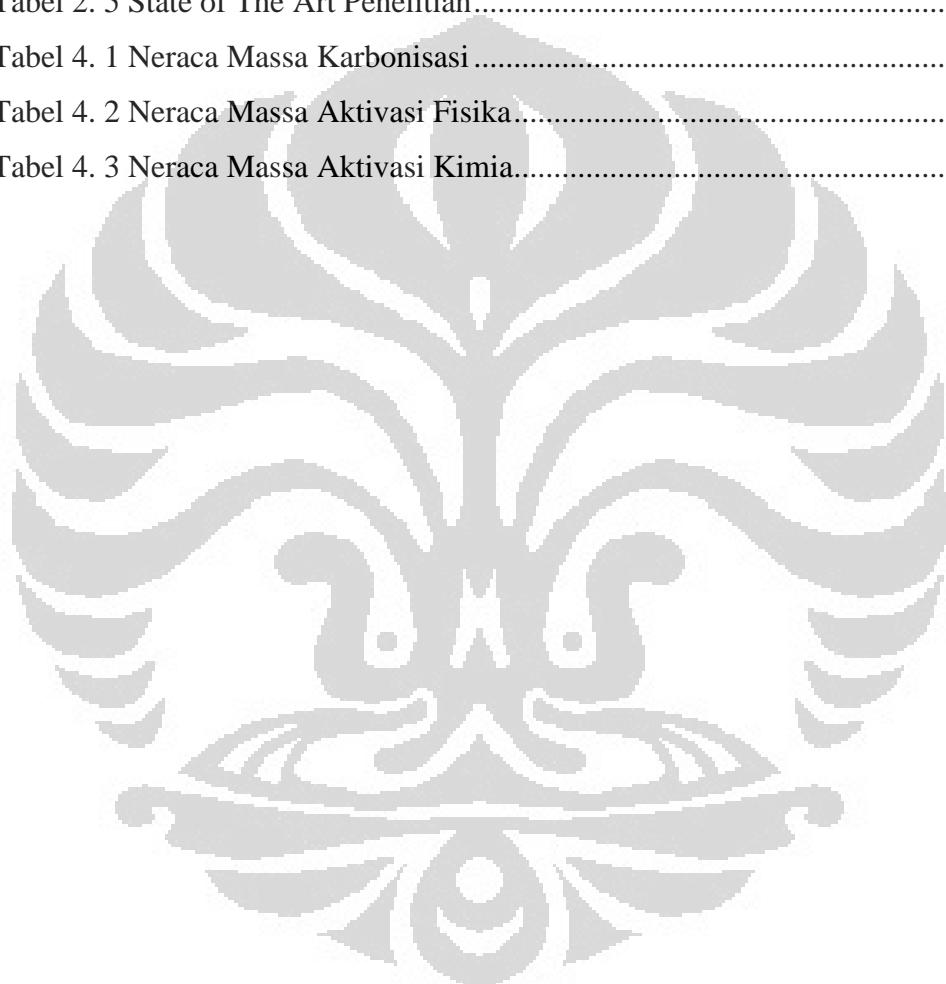
| | |
|--|-----------|
| 2.10. State of The Art..... | 30 |
| METODOLOGI PENELITIAN | 33 |
| 3.1. Preparasi Sampel | 34 |
| 3.2. Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif | 34 |
| 3.3. Karakterisasi Karbon Aktif | 35 |
| 3.4. Coating Karbon Aktif dalam Masker | 35 |
| 3.5. Uji Adsorpsi Masker | 35 |
| 3.6. Variabel Penelitian | 36 |
| 3.7 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data..... | 36 |
| 3.8 Penafsiran dan Penyimpulan Data..... | 37 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 38 |
| 4.1. Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa | 38 |
| 4.1.1. Proses Karbonisasi Limbah Tempurung Kelapa..... | 39 |
| 4.1.2. Proses Penghancuran Karbon..... | 41 |
| 4.1.3. Proses Aktivasi Karbon..... | 41 |
| 4.1.4. Proses Pencucian dan Pengeringan | 45 |
| 4.2. Karakterisasi Karbon Aktif | 46 |
| 4.2.1. Luas Permukaan Karbon Aktif..... | 46 |
| 4.3. Pembuatan Masker Karbon Aktif..... | 47 |
| 4.4. Uji Adsorpsi Masker Karbon Aktif | 50 |
| 4.4.1. Pengaruh Perbedaan Massa Karbon Aktif | 51 |
| 4.4.2. Pengaruh Jenis Aktivasi Karbon Aktif..... | 53 |
| 4.4.3. Pengaruh Perbedaan Jenis Perekat | 55 |
| 4.4.4. Pengaruh Konsentrasi Awal CO ₂ | 57 |
| 4.4.5. Uji Waktu Jenuh Masker Karbon Aktif | 58 |
| 4.4.6. Perhitungan Adsorpsi CO ₂ pada Kondisi <i>Real</i> | 60 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | 62 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 62 |
| 5.2 Saran | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | 63 |
| LAMPIRAN..... | 65 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Struktur Kimia Karbon Dioksida | 15 |
| Gambar 2. 2 Masker Anti Partikulat | 20 |
| Gambar 2. 3 Desain Lapisan Masker | 21 |
| Gambar 2. 4 Struktur Buah Kelapa | 22 |
| Gambar 2. 5 Struktur dari <i>mesocrap</i> a) xz (radial-grain) section b) yz (tangential-grain) section c) xy (radial-tangential) section..... | 23 |
| Gambar 2. 6 Mikrostruktur <i>Mesocrap</i> | 23 |
| Gambar 2. 7 Ilustrasi Adsorpsi Isotermal Prinsip BET | 27 |
| Gambar 2. 8 Proses Adsorpsi Polutan Gas..... | 29 |
| Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian | 33 |
| Gambar 4. 1 Tempurung Kelapa yang Sudah dibersihkan | 38 |
| Gambar 4. 2 Tempurung Kelapa yang Sudah dihancurkan | 39 |
| Gambar 4. 3 Tempurung Kelapa Sebelum Proses Karbonisasi | 40 |
| Gambar 4. 4 Tempurung Kelapa Setelah Proses Karbonisasi | 40 |
| Gambar 4. 5 Karbon Tempurung Kelapa yang Sudah Dihaluskan | 41 |
| Gambar 4. 6 Proses Aktivasi Fisika | 42 |
| Gambar 4. 7 Proses Aktivasi Kimia..... | 44 |
| Gambar 4. 8 Proses Pencucian Karbon Aktif | 45 |
| Gambar 4. 9 Proses <i>Coating</i> Masker Karbon Aktif | 49 |
| Gambar 4. 10 Hasil Pembauatan Masker Karbon Aktif | 49 |
| Gambar 4. 11 Proses Uji Adsorpsi Masker Karbon Aktif | 51 |
| Gambar 4. 12 Pengaruh Massa Karbon Aktif Terhadap Konsentrasi Akhir CO ₂ | 52 |
| Gambar 4. 13 Hasil <i>Coating</i> Massa Karbon Aktif 2, 4, dan 6 gram | 53 |
| Gambar 4. 14 Pengaruh Jenis Aktivasi Terhadap Konsentrasi Akhir CO ₂ | 54 |
| Gambar 4. 15 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Konsentrasi Akhir CO ₂ | 55 |
| Gambar 4. 16 Hasil <i>Coating</i> Perekat Silikat dan TEOS | 57 |
| Gambar 4. 17 Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsentrasi Akhir CO ₂ | 57 |
| Gambar 4. 18 Hasil Uji Waktu Jenuh Masker Karbon Aktif | 59 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Properties Karbon Dioksida | 15 |
| Tabel 2. 2 Properties Karbon Monoksida | 17 |
| Tabel 2. 3 Konsentrasi CO dan Waktu Pemaparan terhadap Pembentukan COHb | 17 |
| Tabel 2. 4 Tahapan Proses Karbonisasi | 26 |
| Tabel 2. 5 State of The Art Penelitian | 31 |
| Tabel 4. 1 Neraca Massa Karbonisasi | 40 |
| Tabel 4. 2 Neraca Massa Aktivasi Fisika | 43 |
| Tabel 4. 3 Neraca Massa Aktivasi Kimia | 44 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat pencemaran udara tertinggi di dunia. Pencemaran udara di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh emisi energi yang digunakan masyarakat. Salah satu sumber emisi energi yang menyumbang emisi pencemar cukup besar ialah emisi hasil pembakaran kendaraan bermotor. Kota Jakarta merupakan salah satu kota metropolitan di Indonesia yang memiliki kualitas udara kurang baik berdasarkan hasil Indeks Standard Pencemaran Udara (ISPU). Pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena jumlah kendaraan pribadi yang bertambah setidaknya 10 % setiap tahunnya. Pertambahan jumlah kendaraan tidak seiring dengan bertambahnya ruang terbuka hijau yang berguna untuk menyerap emisi gas buang kendaraan.

Pencemaran udara berdampak langsung kepada kesehatan masyarakat. Secara tidak sadar penggunaan kendaraaan bermotor lama – lama akan berdampak pada kesehatan masyarakat karena gas emisi buang yang mengandung polutan – polutan udara. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti timbal/timah hitam (Pb), *suspended particulate matter* (SPM), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2) dan oksida sulfur (SO_x). Dari zat – zat berbahaya tersebut gas karbon dioksida (CO_2) memiliki komposisi yang paling besar pada emisi gas kendaraan bermotor yaitu sebesar 14%. Selain itu kadar karbon dioksida (CO_2) pada tahun 2014 telah mencapai rekor tertinggi selama 30 tahun sejak 1984 yaitu pada kadar 400ppm (EBTKE ESDM, 2015).

Seiring dengan meningkatnya emisi gas pencemar udara maka diperlukan pencegahan terhadap aspek kesehatan. Pencegahan yang banyak digunakan saat ini ialah pemakaian masker karena relatif murah dan dapat disebarluaskan tetapi efektivitas masker ini masih dipertanyakan. Masker yang tersebarluas saat ini hanya bisa menyerap partikulat-partikulat udara, sedangkan gas – gas berbahaya seperti NO_x , SO_x , CO, dan CO_2 tidak bisa diserap. Padahal gas – gas berbahaya tersebut khusunya gas CO_2 dengan kadar terbesar dapat menyebabkan menurunnya gaya

kontraktil pembuluh darah jantung, peningkatan denyut nadi, pusing – pusing, sesak nafas, hingga kehilangan kesadaran. Pengembangan masker saat ini ialah menggunakan karbon aktif sebagai pelapis. Karbon aktif banyak untuk pelapis dalam masker karena daya adsorpsi dan luas permukaan yang besar (200-3500 m²/g) sehingga mampu menyerap polutan berbahaya.

Karbon aktif pada masker-masker yang ada saat ini terbuat dari batubara, bitumen, ataupun serbuk kayu. Salah satu material yang juga dapat digunakan menjadi karbon aktif ialah tempurung kelapa. Penggunaan tempurung kelapa merupakan salah satu cara yang untuk mereduksi limbah kelapa dengan memanfaatkan limbah tempurung kelapa sebagai adsorben (media penyerap) yang telah diubah menjadi karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dari material yang mengandung karbon. Salah satu material yang mengandung karbon adalah tempurung kelapa. Arang aktif tempurung kelapa mampu menurunkan konsentrasi berbagai polutan di udara termasuk CO, NO, dan NO_x karena memiliki daya adsorpsi dan luas permukaan yang baik.

Menurut Food and Agriculture Organization (FAO) dalam Suhartana (2011), Asia Pasifik mampu menghasilkan 82% produk kelapa dunia, sedangkan sisanya diproduksi atau dihasilkan oleh negara di Afrika dan Amerika Selatan. Terdapat 12 negara yang tercatat sebagai penghasil kelapa terbesar, yaitu India (13,01%), Indonesia (33,94%), Malaysia (3,93%), Papua New Guinea (2,72%), Philipina (36,25%). Dilain pihak bahan baku yang dapat dibuat menjadi arang aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuhan-tumbuhan, hewan, maupun barang tambang seperti batu bara. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi, bagase, dan lain-lain.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Verlina (2014), kondisi optimum untuk membuat arang aktif dengan kualitas terbaik dari bahan baku tempurung kelapa yaitu pada suhu 850 °C dan aktivasi arang dilakukan dengan menggunakan senyawa kimia yaitu ZnCl₂ sebagai aktivator sehingga pori-pori permukaan arang menja di lebih luas. Hal ini akan memudahkan proses penyerapan.

Setelah itu penelitian ini akan menggunakan teknik coating termodifikasi dalam pembuatan lapisan karbon aktif dalam masker. Selain karbon aktif yang akan

menggunakan bahan tempurung kelapa, salah satu faktor lain yang juga dapat mempengaruhi kinerja masker ialah perekat yang digunakan dalam proses pelapisan karbon aktif. Perekat yang akan digunakan pada penelitian ini ialah perekat TEOS dan *Sodium Silicate* yang memiliki kelebihan masing-masingnya.

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah mendapatkan masker antipolutan yang memiliki efektifitas tinggi dalam mengeliminasi gas polutan, dalam penelitian ini gas CO₂. Lebih lanjut diharapkan, masker ini dapat diproduksi secara massal sehingga dapat digunakan oleh banyak orang dan masalah kesehatan yang ditimbulkan oleh polusi udara mampu berkurang.

1.2. Perumusan Masalah

- a. Bagaimana kapasitas adsorpsi masker karbon aktif berbahan baku tempurung kelapa terhadap polutan asap hasil emisi gas buang.
- b. Bagaimana pengaruh cara aktivasi karbon aktif yang berbeda terhadap kemampuan adsorpsi hasil emisi gas buang.

1.3. Tujuan

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk membuat masker antipolutan berbahan dasar tempurung kelapa dengan metode aktivasi fisika dan kimia. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Mendapatkan masker karbon aktif berbahan baku tempurung kelapa yang dapat menyerap polutan berbahaya.
- b. Mendapatkan karbon aktif dengan cara aktivasi terbaik untuk kinerja terbaik dalam penyerapan polutan berbahaya sebagai pelapis masker.

1.4. Batasan Masalah

Penjabaran dari ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor aktivasi di Laboratorium Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
2. Limbah tempurung kelapa yang digunakan berasal dari limbah para penjual kelapa parut.
3. Penelitian dibatasi untuk melakukan adsorpsi pada gas karbon dioksida (CO_2) pada hasil emisi gas buang kendaraan bermotor
4. Pembuatan masker dilakukan dengan memodifikasi masker yang sudah ada dengan menambahkan lapisan karbon aktif yang dibuat.
5. Kain filter masker yang digunakan yaitu kain flannel ukuran 6x6 cm.
6. Karakterisasi yang digunakan yaitu BET (Brunauer-Emmett-Teller).
7. Variabel – variabel seperti suhu, waktu, dan laju alir gas yang digunakan merupakan hasil rujukan dari sumber yang telah tercantum.

1.5. Sistematika Penulisan

Secara rinci sistematika penulisa skripsi ini disusun berdasarkan urutan sebagai berikut:

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan;

BAB 2

TINJAUAN PUSAKA

Berisi teori dasar penelitian yang digunakan untuk menjelaskan masalah dan digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, variabel penelitian, prosedur penelitian, metode analisis dalam penelitian, dan teknik pengumpulan data dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Tentang Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan suatu zat atau bahan-bahan yang terdapat pada atmosfer bumi dalam konsentrasi berlebih sehingga bersifat membahayakan bagi manusia, hewan-hewan, tumbuhan, dan benda-benda lain.

Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 02/MENKLH/1988 yang dimaksud dengan polusi udara adalah berubahnya komposisi udara oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya.

Menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara menyatakan bahwa pencemaran udara adalah masuk/dimasukkannya suatu zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara menjadi turun sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Pencemaran udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia. Beberapa definisi gangguan fisik seperti polusi suara, panas, radiasi atau polusi cahaya dianggap sebagai polusi udara. Sifat alami udara mengakibatkan dampak pencemaran udara dapat bersifat langsung dan lokal, regional, maupun global (Verlina, 2014).

Pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon dioksida adalah sebuah contoh dari pencemar udara primer karena merupakan hasil dari pembakaran. Sedangkan pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Pembentukan ozon dalam smog fotokimia adalah sebuah contoh dari pencemaran udara sekunder (Verlina,2014).

Pencemaran udara telah menjadi masalah serius di seluruh dunia. Pencemaran udara merupakan salah satu penyebab timbulnya pemanasan global yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim. Kontribusi Indonesia bagi pemanasan global. Indonesia berada di peringkat tiga penyumbang emisi gas buang CO₂ setelah Amerika Serikat dan Republik Rakyat Cina (RRC).

Sumber pencemar adalah setiap usaha atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara dan menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Pada pencemaran udara terdapat beberapa unsur yang penting, seperti partikulat debu, sulfur oksida, karbon monoksida, oksida nitrogen, metana, timbal, termasuk diantaranya karbon dioksida.

Udara ambien adalah udara bebas yang berada di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan oleh setiap mahluk hidup dan dapat memengaruhi kesehatan setiap mahluk hidup beserta unsur lingkungan disekitarnya. Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar suatu zat pencemar yang ditengang keberadaannya dalam udara ambien. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara (Verlina, 2014).

2.1.1. Jenis Polutan Udara

Polutan merupakan suatu zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran. Suatu zat dapat disebut sebagai polutan bila keberadaannya merugikan terhadap mahluk hidup, jumlahnya melebihi jumlah normal, berada pada waktu yang tidak tepat, dan berada pada tempat yang tidak tepat. Menurut Verlina (2014) sifat-sifat polutan sebagai berikut :

1. Merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan, sifatnya tidak merusak lagi.
2. Merusak dalam jangka waktu lama. Contohnya, Tembaga (Cu) tidak merusak bila konsentrasi rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Cu dapat terakumulasi di dalam tubuh hingga bersifat racun.

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan. Beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO₂), hidrogen sulfida, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk

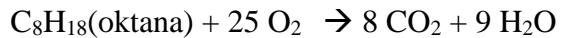
sampingan dari proses-proses alami seperti vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, asap-asap kendaraan, dan sebagainya.

Menurut Verlina (2014), bahwa terdapat banyak bahan pencemar udara yang terdapat dalam lapisan atmosfer. Akan tetapi, terdapat 9 jenis bahan pencemar udara yang dianggap penting, sebagai berikut:

1. Oksida karbon, seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂).
2. Oksida belerang, seperti sulfur oksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃).
3. Oksida nitrogen, seperti nitrit oksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂), dan dinitrogen oksida (N₂O).
4. Komponen organik, seperti metana (CH₄), benzena (C₆H₆), klorofluorokarbon (CFC), dan kelompok bromina.
5. Suspensi partikel, seperti debu, tanah, karbon, asbes, logam berat, nitrat.
6. Oksida fotokimiawi, seperti ozon, peroksiasil nitrat, hidrogen proksida, hidroksida.
7. Substansi radioaktif, seperti radon-222, iodin-131, strontium-90.
8. Panas dari proses perubahan bentuk, seperti pada saat pembakaran minyak menjadi gas pada kendaraan, pabrik, dan lain-lain.
9. Suara yang dihasilkan dari kendaraan bermotor, pesawat terbang, kereta api, mesin industri, sirine, dan sebagainya

2.1.2. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam maupun mesin pembakaran luar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Proses pembakaran merupakan proses oksidasi yang memerlukan oksigen. Untuk menghasilkan tenaga pada kendaraan bermotor berbahan bakar minyak bumi, maka terjadi reaksi kimia berupa pembakaran senyawa hidrokarbon. Hidrokarbon yang biasa digunakan adalah oktana. Proses pembakaran pada kendaraan bermotor, ikatan hidrokarbon (HC) pada bahan bakar hanya akan bereaksi dengan oksigen pada saat proses pembakaran sempurna dan menghasilkan air (H₂O) serta karbondioksida (CO₂) sedangkan nitrogen akan keluar sebagai N₂. Reaksi yang terjadi adalah reaksi pembakaran yang terjadi secara sempurna walaupun masih terdapat polutan, yaitu karbon dioksida (CO₂). Pada dasarnya, reaksi yang terjadi sebagai berikut (Verlina, 2014) :



Emisi gas buang tiap-tiap kendaraan bermotor tidak sama antara satu dengan yang lainnya. Perbedaan komposisi kandungan senyawa kimia gas buang kendaraan bermotor tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis bahan bakar yang digunakan, kondisi mengemudi, jenis mesin (tahun pembuatan dan tipe), alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi, dan berbagai faktor lainnya. Namun faktor yang memiliki pengaruh paling besar adalah jenis mesin. Dalam hal ini terdapat lima jenis mesin, yaitu mesin empat langkah, mesin dua langkah, mesin bensin, mesin diesel, dan mesin rotari.

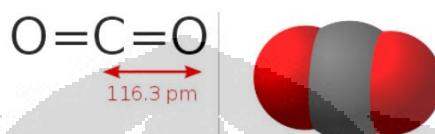
Bahaya gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan tergantung dari toksisitas (daya racun) masing-masing senyawa. Pada umumnya, istilah dari bahaya terhadap kesehatan yang digunakan adalah pengaruh bahan pencemar yang dapat menyebabkan meningkatnya risiko atau penyakit atau kondisi medik lainnya pada seseorang atau sekelompok orang. Pengaruh ini tidak dibatasi hanya pada pengaruhnya terhadap penyakit yang dapat dibuktikan secara klinik saja, tetapi juga pada pengaruh yang dapat dipengaruhi oleh umur seseorang.

Bahan bakar juga sangat penting dalam menentukan tingginya emisi suatu kendaraan. Contohnya, jika kendaraan berkompresi rendah diisi dengan bensin beroktan tinggi maka mesin akan lebih cepat terkena karat. Sehingga kerja mesin akan menjadi kurang optimal. Selain itu, kinerja mesin juga tidak meningkat dan mesin menjadi cepat panas dan juga boros. Dengan tidak efisiennya mesin, emisi pun meningkat sehingga polusi semakin bertambah. Sebaliknya, jika mesin berkompresi tinggi diisi dengan bensin dengan bilangan oktan rendah maka akan terjadi ledakan beruntun pada ruang pembakaran yang semestinya hanya boleh terjadi satu ledakan. Hal ini terjadi karena bensin beroktan rendah lebih cepat terbakar sehingga terjadi ledakan beruntun pada ruang pembakaran mesin kompresi tinggi. Dengan adanya ledakan tersebut, mesin menjadi rusak dan emisi menjadi naik mengakibatkan polusi bertambah.

2.2. Tinjauan Tentang Polutan Gas

2.2.1. Gas CO₂ (Karbon Dioksida)

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Gas karbon dioksida berada dalam atmosfer (sekitar 0,04 %) dan berada dalam nafas kita, dimana gas karbondioksida dihasilkan dari oksidasi biologi dari substansi makanan. Struktur kimia dan properties CO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.1, dan Tabel 2.1



Gambar 2. 1 Struktur Kimia Karbon Dioksida

(sumber: google.co.id)

Tabel 2. 1 Properties Karbon Dioksida

| Sifat | Keterangan |
|---------------------|----------------------------------|
| Rumus molekul | CO ₂ |
| Penampakan | Gas tidak berwarna |
| Berat molekul | 44,0095 gram/mol |
| Densitas | 1,980 gram/liter pada 25°C, 1atm |
| Titik beku | -161 °C |
| Titik didih | -78 °C |
| Kelarutan dalam air | 1,45 gram/liter (20 ° C) |

(Sumber : Taufiqqurokhman, 2007)

Menurut Otoritas Keselamatan Maritim Australia, "Paparan berkepanjangan terhadap konsentrasi karbon dioksida yang sedang dapat menyebabkan asidosis dan efek-efek merugikan pada metabolisme kalsium fosforus yang menyebabkan peningkatan endapan kalsium pada jaringan lunak. Karbon dioksida berbahaya pada jantung karena menyebabkan menurunnya gaya kontraktil. Pada konsentrasi tiga persen berdasarkan volume di udara, ia bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi, dan menyebabkan penurunan daya dengar. Pada konsentrasi sekitar lima persen berdasarkan volume, ia menyebabkan stimulasi pusat pernapasan, pusing-pusing, kebingungan, dan kesulitan pernapasan yang diikuti sakit kepala dan sesak napas. Pada konsentrasi delapan persen, ia menyebabkan sakit kepala, keringatan,

penglihatan buram, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama lima sampai sepuluh menit.

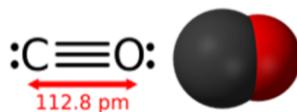
Oleh karena bahaya kesehatan yang diasosiasikan dengan paparan karbon dioksida, Administrasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Amerika Serikat menyatakan bahwa paparan rata-rata untuk orang dewasa yang sehat selama waktu kerja 8 jam sehari tidak boleh melebihi 5.000 ppm (0,5%). Batas aman maksimum untuk balita, anak-anak, orang tua, dan individu dengan masalah kesehatan kardiopulmonari (jatung dan paru-paru) secara signifikan lebih kecil. Untuk paparan dalam jangka waktu pendek (di bawah 10 menit), batasan dari Institut Nasional untuk Kesehatan dan Keamanan Kerja Amerika Serikat (NIOSH) adalah 30.000 ppm (3%). NIOSH juga menyatakan bahwa konsentrasi karbon dioksida yang melebihi 4% adalah langsung berbahaya bagi keselamatan jiwa dan kesehatan.

Keracunan gas Karbon Dioksida adalah keadaan darurat yang menyebabkan asfiksia dan asidosis sehingga mengakibatkan gangguan metabolisme sel. Karbon dioksida akan menyebabkan asfiksia karena berkurangnya jumlah oksigen di udara pernapasan dan proses ini pada tahap awal akan dipercepat dengan adanya efek langsung CO₂ pada pusat pernapasan sehingga akan menyebabkan makin cepat dan dalamnya pernapasan, sehingga tingkat keracunan perihalasi tadi makin berat.

Tanda dan gejala keracunan gas karbon dioksida adalah sakit kepala serta kepala terasa berat, lemah, telinga berbunyi (*tinnitus*), nausea, otot-otot menjadi lemah, somnolen, tekanan darah meningkat disertai dengan sianosis, pernapasan cepat dan nadi cepat.

2.2.2. Gas CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. CO memiliki densitas yang lebih rendah dari udara dan sulit larut dalam air. Karena sifat tersebut, gas ini sangat sulit dideteksi keberadaannya. Struktur kimia dan properties dari CO dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Tabel 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Kimia Karbon Monoksida

(sumber: Taufiqqurokhman, 2007)

Tabel 2. 2 Properties Karbon Monoksida

| Sifat | Keterangan |
|---------------------|----------------------------------|
| Rumus molekul | CO |
| Penampakan | Gas tidak berwarna |
| Berat molekul | 28,0101 gram/mol |
| Densitas | 1,145 gram/liter pada 25°C, 1atm |
| Titik beku | -205 °C |
| Titik didih | -192 °C |
| Kelarutan dalam air | 0,0026 gram/100 mL (20 ° C) |

(Sumber : Taufiqqurokhman, 2007)

Gas CO merupakan polutan yang sangat berbahaya bagi manusia sehingga kandungannya dalam udara perlu dikurangi. Pemaparan karbon monoksida dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf dan hati. Konsentrasi pada 35 ppm dapat menyebabkan sakit kepala dan konsentrasi sekitar 667 ppm dapat menyebabkan 50% hemoglobin terkonversi menjadi karboksihaemoglobin. Gas CO yang terhisap ke dalam paru-paru akan ikut dalam peredaran darah dan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Gas CO juga mudah bereaksi dengan haemoglobin darah, seperti oksigen. Ikatan CO dengan haemoglobin darah (karboksihaemoglobin-CO_{Hb}) lebih stabil dibandingkan ikatan O₂ dengan haemoglobin darah (oksihaemoglobin-O₂Hb). Kestabilan COHb sekitar 200 kali kestabilan O₂Hb (Verlina, 2014), Hal ini menyebabkan haemoglobin lebih mudah menangkap gas CO dibandingkan O₂. Reaksi antara CO dan O₂ dengan haemoglobin dapat dilihat pada reaksi berikut:

- O₂ + Hb → O₂Hb (oksihaemoglobin)
- CO + Hb → COHb (karboksihaemoglobin)

Terbentuknya karboksihaemoglobin ini menyebabkan darah tidak dapat mengantarkan O₂ dengan baik sehingga asupan O₂ bagi tubuh manusia menjadi terganggu. Pengaruh konsentrasi CO terhadap pembentukan COHb dan indikasi yang ditimbulkan disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Konsentrasi CO dan Waktu Pemaparan terhadap Pembentukan COHb

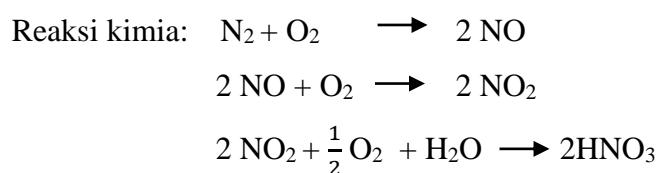
| Konsentrasi CO (ppm) | Tingkat COHb (%) | Indikasi |
|----------------------|------------------|---|
| 35 | <10 | Dalam 6 – 8 jam; sakit kepala dan pusing. |

| | | |
|-------|-----|---|
| 100 | >10 | Dalam 2 – 3 jam; sakit kepala. |
| 200 | 20 | Dalam 2 – 3 jam; sakit kepala dan hilang kesadaran. |
| 400 | 25 | Dalam 1 – 2 jam; sakit kepala hebat. |
| 800 | 30 | Dalam 45 menit; pusing, mual, hilang kesadaran. Dalam 2 jam; mati rasa. |
| 1600 | 40 | Dalam 20 menit; sakit kepala, kontraksi jantung cepat, pusing dan mual. Dalam 2 jam; meninggal. |
| 3200 | 50 | Dalam 5 - 10 menit; sakit kepala, pusing, dan mual. Dalam 30 menit; meninggal. |
| 6400 | 60 | Dalam 1 – 2 menit; sakit kepala, pusing, dan mual, Dalam 20 menit; hilang kesadaran, pernapasan terhenti, dan meninggal. |
| 12800 | >70 | < 3 menit; meninggal. |

(Sumber : Taufiqqurokhman, 2007)

2.2.3. Gas NO dan NO_x

Oksida nitrogen (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfir yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya NO₂ berwarna cokelat kemerahan dan berbau tajam. NO terdapat di udara dalam jumlah lebih besar daripada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂.



Emisi NO_x dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_x yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi, dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NOx buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas, dan bensin.

Sifat racun (toksisitas) gas Nitrogen Dioksida (NO₂) empat kali lebih kuat daripada toksitas gas NO. Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO₂ adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematian. Udara yang mengandung NO dalam batas normal relatif aman dan tidak berbahaya, kecuali bila gas NO berada dalam konsentrasi tinggi. Konsentrasi gas Nitrogen Monoksida (NO) yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem syaraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut akan mengakibatkan kelumpuhan. Gas Nitrogen Monoksida (NO) akan menjadi lebih berbahaya apabila gas itu teroksidasi oleh oksigen sehingga menjadi gas NO₂. Pencemaran udara oleh gas Nitrogen Dioksida (NO₂) juga dapat menyebabkan timbulnya Peroxy Acetil Nitrates yang disingkat PAN. Peroxy Acetil Nitrates ini menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair.

2.3. Masker Anti Partikulat

Masker anti-partikulat adalah masker yang berguna untuk mencegah terhisapnya partikulat-partikulat atau debu. Masker ini sering dipakai oleh orang-orang untuk menghalangi debu dari kendaraan bermotor saat sedang bepergian keluar rumah. Masker anti-partikulat ini pun digunakan untuk beberapa kejadian seperti peristiwa gunung meletus atau kebakaran hutan. Masker ini terdiri atas beberapa lapis. Lapisan paling luar baik depan maupun belakang terbuat dari *non-woven fabric* dan lapisan tengah (*filter layer*) terbuat dari fiberglass. Pori-pori dari masker tersebut berkisar antara 0.1-1.0 mikron. Dengan ukuran pori-pori tersebut, masker ini tidak dapat menyaring gas-gas berbahaya dari kendaraan bermotor karena ukuran dari gas polutan kendaraan bermotor lebih kecil dari pori-pori masker tersebut. Ukuran diameter dari CO₂, NOx, dan HC adalah 0.39 x 10⁻³ mikron, 0.22 x 10⁻³ mikron, dan 0.24 x 10⁻³ mikron. Bagian – bagian masker antipartikulat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



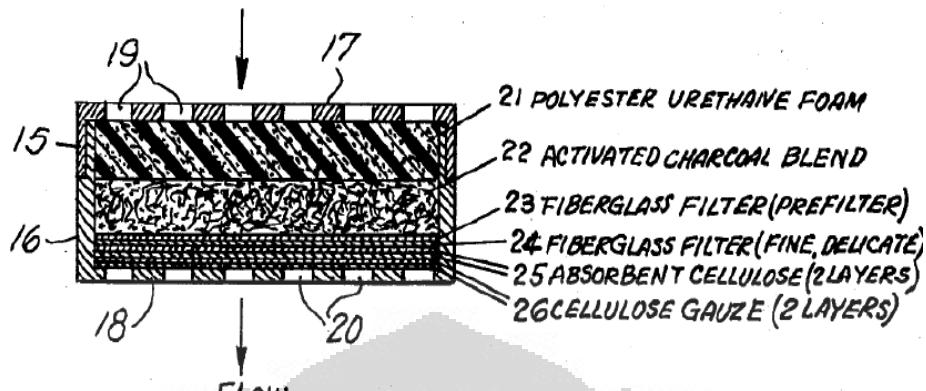
Gambar 2. 2 Masker Anti Partikulat

(Sumber : Rahmadhita, 2015)

2.4. Masker Karbon Aktif

Masker yang mampu untuk menyaring partikulat kecil dan zat-zat berbahaya tersebut merupakan masker karbon aktif. Masker karbon aktif adalah masker yang didalamnya disisipi oleh karbon aktif. Karbon aktif sendiri berguna sebagai adsorben gas-gas yang lolos dari lapisan luar masker. Lapisan luar masker hanya bisa menyaring partikulat-partikulat, sedangkan gas-gas yang berbahaya seperti CO, NO_x, dan Hidrokarbon (HC) tidak tersaring (Rahmita, 2015). Oleh karena itu, penggunaan karbon aktif sangat dibutuhkan untuk masker antipolutan. Karbon aktif berfungsi sebagai penyaring polutan gas melalui proses adsorpsi. Dengan proses adsorpsi tersebut, gas-gas polutan dari kendaraan bermotor dapat diadsorp sehingga dapat mengurangi jumlah polutan yang terhirup. Udara yang dihirup pengguna masker tersebut mengalir dari polyester urethane foam ke cellulose Gauze. Bagian Foam berfungsi sebagai penyaring debu dan partikulat. Selain itu, foam juga berfungsi sebagai penyangga karbon aktif. Setelah udara melewati foam, udara kemudian melewati karbon aktif. Karbon aktif berfungsi sebagai penjerap dan penyaring polutan gas melalui proses adsorpsi. Dengan proses adsorpsi tersebut, gas-gas polutan dari kendaraan bermotor dapat diadsorp sehingga dapat mengurangi jumlah polutan yang terhirup. Selain disangga oleh foam, karbon aktif tersebut disangga juga oleh fiberglass filter. Selain sebagai penyangga, filter tersebut juga berfungsi sebagai penyaring partikulat karbon aktif agar tidak terhirup. Gas kemudian melewati absorbent cellulose dan cellulose *gauze*. Kedua lapisan ini berfungsi melindungi masker dari kerusakan mekanik dan juga sebagai

perangkap uap yang keluar pada saat menghembuskan nafas. Bagian – bagian masker karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Desain Lapisan Masker

(Sumber : Rahmadhita, 2015)

2.5. Penggunaan Karbon Aktif Berbahan Baku Tempurung Kelapa

Menurut Food and Agriculture Organization (FAO) dalam Suhartana (2011), Asia Pasifik mampu menghasilkan 82% produk kelapa dunia, sedangkan sisanya diproduksi atau dihasilkan oleh negara di Afrika dan Amerika Selatan. Terdapat 12 negara yang tercatat sebagai penghasil kelapa terbesar, yaitu India (13,01%), Indonesia (33,94%), Malaysia (3,93%), Papua New Guinea (2,72%), Philipina (36,25%).

Material yang mengandung lignoselulosa merupakan sumber yang paling diminati karena ketersediannya yang banyak, murah, dan tidak berbahaya serta secara alamiah memiliki kandungan karbon tinggi dan jumlah material anorganik yang rendah. Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan yang memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Pemilihan tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif juga didasarkan pada kandungan selulosa sebesar 26,06%, kandungan hemiselulosa 27,07% dan kandungan lignin sebesar 29,40% pada keadaan kering (Suhardiyono, 1988). Selulosa dan Hemiselulosa merupakan senyawa polisakarida penyusun utama pada banyak tanaman, sedangkan kadar lignin berfungsi melindungi selulosa dimana pada lignin terdapat juga gugus karboksil. Kadar lignin dan selulosa pada tempurung kelapa lebih tinggi daripada bahan pembuat karbon aktif lainnya seperti bambu, sekam padi, dan bitumen. Selain itu penggunaan tempurung kelapa sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif memiliki keunggulan seperti harganya yang murah, ketersediaan yang banyak, dan

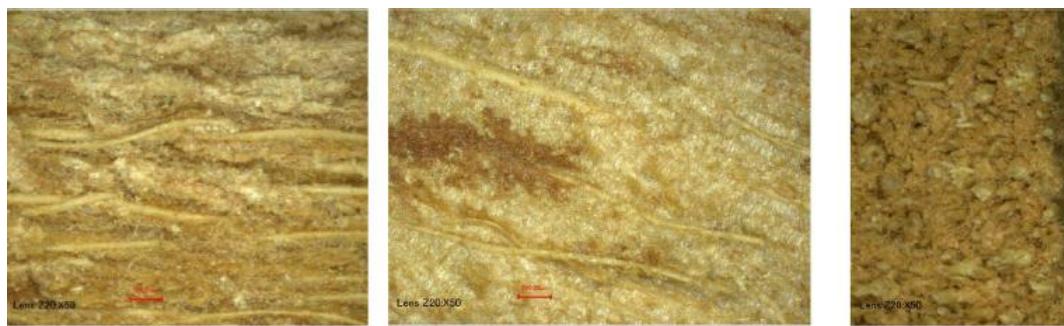
membantu mengurangi limbah. Terlebih tanaman kelapa terdapat pada lebih dari 80 negara, dengan total produksi 61 juta ton per tahun. Karena harga yang murah, dan kemudahan mendapatkannya kelapa telah digunakan pada banyak penelitian diberbagai bidang, antara lain, biologi, kimia, kesehatan, material, dan konstruksi. Tempurun kelapa mempunyai ketebalan antara 1 cm – 5 cm bergantung pada varietas. Tempurung kelapa terdiri dari tiga lapisan layer yaitu *exocarp*, *mesocarp*, dan *endocarp*. Struktur Buah Kelapa ditunjukan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Struktur Buah Kelapa

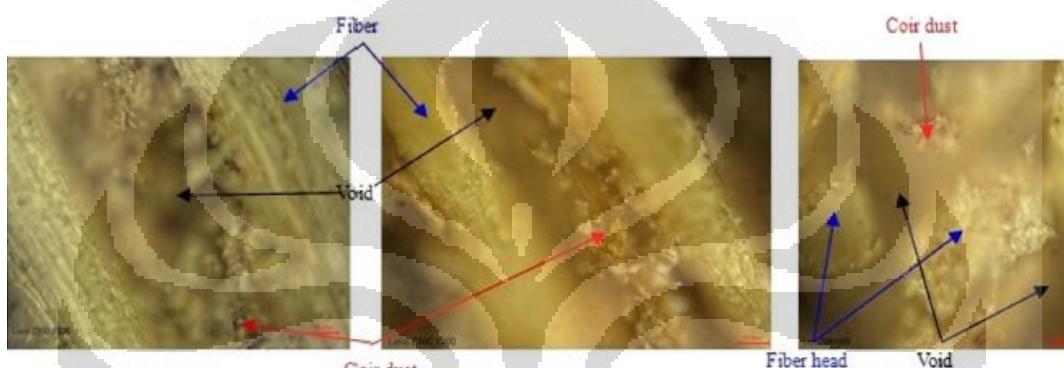
(Sumber : Truong X., Hou S., Liu T., dan Han X., 2016)

Bagian kelapa yang banyak digunakan untuk kepentingan absorpsi adalah lapisan tengah pada tempurung kelapa atau mesocrap. *Mesocrap* terdiri dari 30% serat (*coir*), 70% coir dust dan ruang kosong (*void*). Keberadaan *void* atau ruang kosong ini yang berguna sebagai media absorpsi. Struktur *mesocrap* ditunjukan oleh Gambar 2.5, sedangkan mikrostruktur *mesocrap* ditunjukan oleh Gambar 2.6.



(a) xz (radial-grain) section (b) yz (tangential-grain) section (c) xy (radial-tangential) section
Gambar 2. 5 Struktur dari *mesocrap* a) xz (radial-grain) section b) yz (tangential-grain) section c) xy (radial-tangential) section

(Sumber : Truong X., Hou S., Liu T., dan Han X., 2016)



Gambar 2. 6 Mikrostruktur *Mesocrap*

(Sumber : Truong X., Hou S., Liu T., dan Han X., 2016)

Berdasarkan Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa *coir dust* terdistribusi secara acak pada *mesocrap*. Serat terdistribusi dengan densitas yang berbeda, densitas serat semakin jauh dari *endocarp* akan semakin besar sebaliknya semakin dekat dengan *endocarp* akan semakin kecil. Serat ini biasanya memiliki densitas sebesar 100 µm. Densitas dari *mesocrap* bervariasi dari 90 – 220 kg/m³ bergantung pada umur, varietas, dan habitat kelapa.

2.6. Proses Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga tahapan yaitu proses persiapan, karbonisasi dan aktivasi. Proses tersebut bertujuan untuk menghasilkan pori-pori pada karbon aktif yang akan dihasilkan sehingga diperoleh karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi.

1. Proses Persiapan

Proses persiapan ini terdiri atas proses penghancuran bahan baku. Penghancuran ini perlu dilakukan sebelum proses-proses berikutnya. Tujuan dari

penghancuran ini ialah untuk menambah luas permukaan tempurung kelapa sehingga proses berikutnya dapat berjalan dengan efektif. Hal ini karena semakin besar luas permukaan maka proses aktivasi kimia menggunakan *activating agent* pun akan berlangsung semakin efektif.

Penghancuran yang dilakukan dapat dengan bermacam cara. Pemotongan sampai berbentuk kubus dengan volume 1 cm³, atau dengan bentuk memanjang seperti 20 mm dengan penampang lingkaran berdiameter 5 mm, atau dengan penghancuran yang tidak seragam. Setiap pemilihan macam ini dapat bervariasi namun tujuan dari proses ini tetaplah sama, yaitu untuk meningkatkan efektivitas proses pembuatan karbon aktif.

2. Proses Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah proses pemanasan bahan baku karbon aktif yang telah melalui proses dehidrasi. Proses karbonisasi ini berlangsung pada suhu 400 °C. Proses ini bertujuan untuk menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam bahan baku untuk membentuk tar, asam asetat dan karbon. Penguraian unsur non karbon tersebut akan menyebabkan struktur pori-pori bahan baku menjadi berubah dan mulai terbuka. Ketika proses karbonisasi berakhir, maka material yang terbentuk adalah karbon dalam bentuk arang dengan dengan pori-pori yang sempit (Rahmita, 2015). Hasil dari karbonisasi ini dapat dilihat atau diperhatikan dari adanya perbedaan berat sebelum dan sesudah.

Selama karbonisasi banyak elemen non karbon, hidrogen dan oksigen diubah menjadi gas oleh dekomposisi pirolisis dari bahan mula- mula, dan atom-atom karbon bebas mengelompok dalam formasi kristalografis yang dikenal sebagai kristal grafit. Susunan kristal ini tidak beraturan, sehingga celah-celah bebas tetap ada diantaranya. Selanjutnya, hasil dari penumpukan dan dekomposisi non karbon ini mengotori atau paling sedikit memblokir karbon yang tidak terorganisasi (amorph). Bahan karbon yang demikian kemudian dapat diaktifasi dengan memanaskannya dalam aliran gas inert, atau dengan mengekstraksinya menggunakan pelarut yang sesuai, atau dengan reaksi kimia (Rahmita, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi karbonisasi adalah kadar air, ketebalan bahan baku, kekerasan bahan baku, udara sekeliling dapur pembakaran (*furnace*), waktu pemanasan dan suhu pemanasan. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu

400 °C agar unsur non karbon dapat terurai. Namun suhu dari proses karbonisasi ini juga harus dibatasi karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya sejumlah abu yang dapat menutupi pori-pori karbon aktif sehingga akan mengurangi luas permukaan dari karbon aktif tersebut. Untuk meningkatkan daya serap karbon aktif yang terbentuk perlu dilakukan tahapan selanjutnya, yaitu proses aktivasi.

3. Proses Aktivasi

Proses aktivasi merupakan proses penghilangan zat-zat hasil proses karbonisasi yang menutupi pori-pori permukaan karbon aktif. Proses eleminasi zat-zat tersebut dilakukan dengan cara proses oksidasi menggunakan oksidator lemah (CO_2) agar atom karbon yang lain tidak turut teroksidasi. Selain itu, proses aktivasi juga dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa garam. Unsur mineral akan masuk di antara plat-plat heksagonal dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup, sehingga jumlah permukaan karbon aktif bertambah besar (Rahmita, 2015). Proses aktivasi dibedakan menjadi dua bagian, yaitu: proses aktivasi fisika dan proses aktivasi kimia.

Pada aktivasi secara fisika, karbon dipanaskan pada suhu sekitar 800 – 1000 °C dan dialirkan gas pengoksidasi, seperti uap air dan CO_2 . Proses oksidasi ini akan menghilangkan zat-zat pengotor dari proses karbonisasi dan memperbesar pori-pori karbon aktif. Namun, pada suhu aktivasi yang terlalu tinggi beresiko terjadinya oksidasi lebih lanjut pada karbon sehingga merusak ikatan C-C dalam bidang lempeng heksagonal karbon yang akan menurunkan luas permukaan internal.

Pada aktivasi kimia, karbon dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent*. Larutan kimia yang dipakai biasanya adalah garam dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam maupun basa, seperti KOH , K_2CO_3 , NaOH , ZnCl_2 , H_3PO_4 , dan H_2SO_4 . *Activating agent* akan memasuki pori-pori permukaan karbon aktif yang telah terbentuk dari proses karbonisasi dan selanjutnya mengikis permukaan bagian dalam karbon aktif. Hal ini menyebabkan zat-zat hasil proses karbonisasi akan mudah terlepas sehingga meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Tahapan karbonisasi ditunjukan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Tahapan Proses Karbonisasi

| Temperature (°C) | Tahapan |
|-------------------------|--|
| 100 – 150 | Penguapan molekul air |
| 150 | Mulai terbentuk CO dan CO ₂ dan sisa molekul air, ikut terbawa |
| 200 – 300 | Pembentukan destilat CO dan CO ₂ yang bertambah |
| | Mulai terbentuk destilat asam asetat, asam formiat, dan methanol |
| | Mulai terbentuk karbon |
| | Dekomposisi ligni, selulosa, dan hemiselulosa dengan lepasnya gugus karbonil serta logam |
| | Mulai terbentuk mikropori |
| | Reaksi endotermik |
| 300 – 400 | Tebentuk gas metana dan hydrogen |
| | Terbentuk senyawa aromatic dan fenol |
| | Pembentukan mikropori berkurang yang diiringi dengan pembentukan mesopori |
| | Reaksi eksotermik |
| 310 -500 | Menghasilkan tar dalam jumlah banyak |
| | Penguraian lignin |
| | Pembentukan mesopori yang makin banyak dan pembentukan karbon yang makin sempurna |
| 500 -600 | Pemurnian karbon |
| | Pencapaian kadar 90 % atom C |

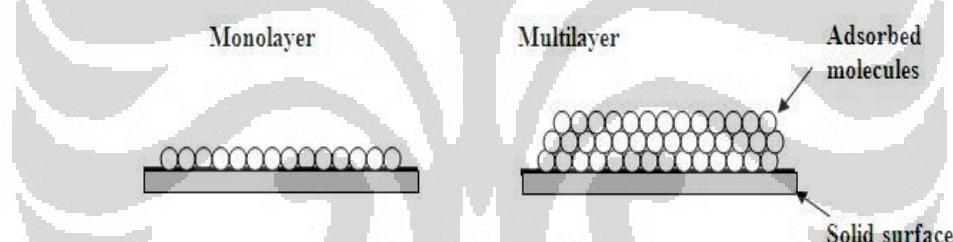
(Sumber : Rahmadhita, 2015)

2.7. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Metode BET

Salah satu karakteristik karbon aktif berkualitas ialah memiliki luas permukaan yang tinggi. Semakin besar luas permukaan karbon aktif, semakin besar pula daya adsorpsinya. Luas permukaan satu adsorben dapat diketahui dengan alat pengukur luas permukaan yang menggunakan prinsip metode BET.

Pengukuran luas permukaan dengan model BET ini biasanya menggunakan nitrogen sebagai adsorbat. Pengukuran ini didasarkan pada data adsorpsi isotermis nitrogen pada suhu 77 K. Adsorpsi isotermis dengan prinsip BET merupakan jenis adsorpsi fisis. Metode BET pertama kali ditemukan oleh Brenauer, Emmet dan Teller pada tahun 1938. Metode ini merupakan pengembangan dari teori Langmuir. Teori Langmuir digunakan untuk adsorpsi monolayer kemudian dikembangkan menjadi teori BET yang menyatakan bahwa adsorpsi dapat terjadi di atas lapisan adsorbat monolayer sehingga teori dan model BET ini dapat digunakan untuk adsorpsi multilayer.

Ilustrasi adsorpsi isotermis dengan prinsip BET dapat dilihat pada Gambar 2.7. Gambar 2.7 menggambarkan adsorpsi *multilayer*, yang pada awalnya terjadi penempelan molekul pada permukaan adsorben membentuk lapisan *monolayer* kemudian terjadi penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*.



Gambar 2.7 Ilustrasi Adsorpsi Isotermal Prinsip BET

(Sumber: Google.co.id)

Metode BET didasarkan pada penentuan volume molekul teradsorpsi secara fisika setebal satu lapis molekul monolayer pada permukaan adsorben. Persamaan BET dapat dilihat seperti berikut:

$$\frac{P}{V \left(\left(\frac{P_o}{P} \right) - 1 \right)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C - 1)P}{V_m C P_o}$$

Dimana:

C = Konstanta BET

P_o = Tekanan uap jenuh gas yang diadsorpsi pada T eksperimen (kPa)

P = Tekanan total gas saat adsorpsi (kPa)

V_m = Volume gas yang diadsorpsi untuk monolayer (cm^3)

V = Volume gas yang diadsorpsi pada tekanan P (cm^3)

Persamaan diatas hanya dapat digunakan untuk nilai P/Po antara 0,05 – 0,35 dan V_m dapat ditentukan. Persamaan ini dapat diplot secara linear, yaitu antara $1/(V(P/Po)-1)$ dengan P/Po , sehingga didapatkan persamaan dengan slope $(C-1)/VmC$ dan intersep $1/VmC$. Dari sinilah didapatkan nilai V_m . Untuk mendapatkan luas permukaan adsorben, digunakan persamaan berikut

$$S_g = \frac{V_m N A_{CS}}{2240 W}$$

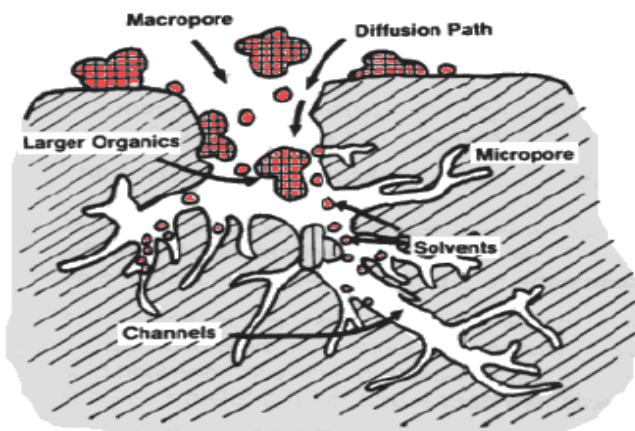
Dimana

| | |
|----------|--|
| N | = Bilangan Avogadro = $6,022 \times 10^{23}$ |
| A_{CS} | = Luas penampang satu molekul adsorbat (m^2) |
| W | = Berat sampel (gram) |
| S_g | = Luas permukaan adsorben/berat adsorben (m^2/gram) |

2.8. Proses Adsorpsi Masker Karbon Aktif

Proses adsorpsi adalah peristiwa tertariknya suatu molekul tertentu dari fluida (cairan atau gas) pada permukaan zat padat, yaitu adsorben. Gas molekul berdifusi kedalam karbon aktif melalui film permukaan menuju struktur makropori. Akibat gaya Van Der Wall, terjadi ketidakseimbangan gaya dan menyebabkan molekul gas berpindah menuju struktur mikropori. Gaya Van Der Walls sendiri adalah jumlah dari gaya tarik dan dorong diantara molekul selain ikatan kovalen dan hidrogen. Selama perpindahan tersebut, molekul gas beberapa ada yang terkondensasi dan akhirnya berhenti berpindah pada saat gaya sudah setimbang atau secara fisika terhalangi jalannya.

Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip Le Chatelier. Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisika umumnya rendah (5-10 kkal/gr-mol gas) dan terjadi pada suhu rendah, yaitu dibawah suhu didih adsorbat. Proses adsorpsi ini terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk antara gas dengan permukaan karbon aktif dapat diputuskan dengan cara pemanasan pada suhu 150-200 °C selama 2 – 3 jam. Proses adsorpsi gas polutan pada karbon aktif secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Proses Adsorpsi Polutan Gas

(Sumber : Rahmadhita, 2015)

Molekul-molekul yang terdapat pada adsorben umumnya mempunyai gaya dalam keadaan tidak seimbang dimana gaya kohesi cenderung lebih besar dibandingkan dengan gaya adhesi. Gaya kohesi adalah gaya tarik-menarik antar molekul yang sama jenisnya, gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan lainnya tidak dapat terikat dengan kuat karena molekulnya saling tolak-menolak. Gaya adhesi adalah gaya tarik-menarik antara molekul yang berbeda jenisnya, gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan zat lainnya bersentuhan pada permukaan. Pada dasarnya, proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben berlangsung pada tiga tahap, yaitu:

1. Perpindahan makro, pergerakan molekul adsorbat melalui sistem makropori adsorben.
2. Perpindahan mikro, pergerakan molekul adsorbat melalui sistem mesopori adsorben.
3. *Sorption*, terikatnya molekul adsorbat pada permukaan adsorben dinding pori mesopori dan mikropori.

2.9. Teknologi Dip Coating

Dip coating adalah suatu proses yang digunakan untuk pelapisan karbon aktif pada masker. Pada proses pelapisan ini, dibagi menjadi beberapa langkah. Perendaman (*immersion*), dimana substrat ini direndam dalam larutan bahan lapisan pada kecepatan konstan. Kemudian *Start-up*, dimana substrat telah berada di dalam larutan untuk sementara waktu dan mulai ditarik ke atas. Kecepatan menentukan ketebalan lapisan (penarikan lebih cepat memberikan bahan pelapis

yang lebih tebal). Pengeringan, dimana kelebihan cairan akan mengalir dari permukaan. Penguapan (*evaporation*), dimana pelarut yang menguap dari cair, membentuk lapisan tipis. Pada proses *dip coating* ini, kecepatan alat sangat berpengaruh pada tiap langkah yang dilalui. Dalam proses pelapisan ini akan digunakan lem *Tetraetil Ortosilikat* (TEOS) yang berfungsi sebagai perekat karbon aktif dengan kain. Lem ini selain berfungsi untuk merekatkan juga mampu untuk menyerap polutan berbahaya. Sehingga hal mendukung kinerja dari masker karbon aktif ini. Selain TEOS, penelitian ini juga akan menggunakan perekat *Sodium Silicate* yang memiliki kelebihan harganya yang murah.

2.10. State of The Art

Pada Tabel 2.5 dibawah ini terdapat beberapa penilitian terdahulu tentang pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa dan pemanfaatanya untuk adsorpsi polutan, terlebih khusus polutan CO₂. Sehingga tidak perlu dilakukan pengujian secara exsitu tentang kemampuan karbon aktif mengadsorpsi CO₂. Dari kebanyakan penelitian yang telah dilakukan adalah sebatas pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa tetapi belum menunjukkan penggunaanya sebagai adsorben yang ditempelkan pada masker.

Tabel 2. 5 State of The Art Penelitian

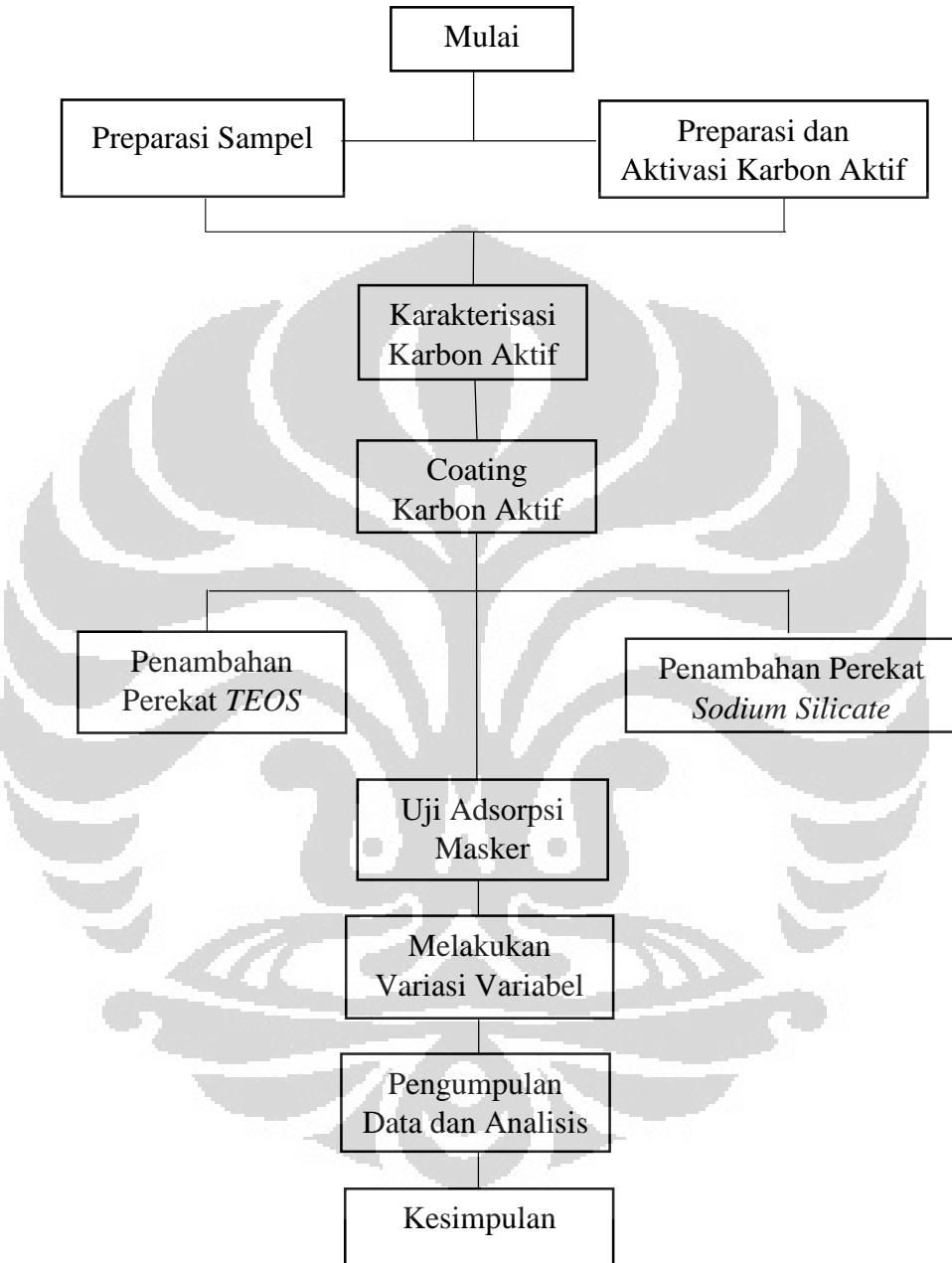
| No | Penulis | Tahun | Judul | Hasil |
|----|---|-------|---|--|
| 1 | Atmayudha, Ardhana | 2007 | Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya | Aktivasi karbon aktif pada suhu 600 °C menghasilkan daya adsorpsi yang lebih tinggi daripada aktivasi pada suhu 500 °C |
| 2 | Sudibandriyo, Mahmud | 2011 | <i>High Pressure Adsorption of Methane and Hydrogen at 25 °C on Activated Carbon Prepared from Coal and Coconut Shell</i> | Adsorpsi optimum CH ₄ dan H ₂ murni pada 6MPa tercapai pada karbon aktif 4:1 pada suhu 900 °C, dengan 7 mmol g untuk CH ₄ dan 1,4 mmol g untuk H ₂ |
| 3 | Verlina, Veby Wa Ode | 2014 | Potensi Arang Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Emisi Gas CO, NO, dan NO _x Pada Kendaraan Bermotor | Arang Aktif Tempurung Kelapa Teraktivasi ZnCl ₂ 10% memberikan kemampuan adsorpsi gas buang paling besar |
| 4 | Diansari, Rahmita | 2015 | Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif dari Bambu Betung | Masker karbon aktif hasil aktivasi kimia dan berbahan perekat TEOS memiliki kinerja adsorpsi yang terbaik dengan presentase eliminasi 91,93% |
| 5 | A.R, Hidayu dan N.Muda | 2016 | <i>Preparation And Characterization Of Impregnated Activated Carbon From Palm Kernel Shell And Coconut Shell For CO₂ Capture</i> | Karbon aktif tempurung kelapa menghasilkan luas permukaan 1011 m ² /g dengan aktivasi fisika dan karbon aktif tempurung kelapa sawit menghasilkan luas permukaan 1223 m ² /g dengan aktivasi kimia |
| 6 | Truong Xuan, Hou Shujuan, Liu Taiqu, dan Han Xu | 2016 | <i>A Potential natural energy absorption material – coconut mesocarp</i> | Pembuatan karbon aktif dengan memanfaatkan bagian <i>mesocarp</i> dari buah kelapa karena memiliki kemampuan absorpsi energi dibandingkan bagian lain |

| | | | | |
|----|--|------|---|---|
| 7 | Jamilatun, Siti dan Setyawan, Martono | 2014 | Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair | Suhu aktivasi mempengaruhi kualitas karbon aktif yang terbentuk. Kualitas karbon aktif yang terbaik diperoleh pada suhu 800 °C dengan memiliki daya serap terhadap kadar iod sebesar 580,0 mg/g |
| 8 | Arena Naomi , Lee Jacquette, dan Clift Roland | 2016 | <i>Life Cycle Assesment of Activated Carbon Production from Coconut Shell</i> | Penggunaan karbon aktif dari tempurung kelapa dapat membantu mereduksi pencemaran udara sebanyak 60% dan global warming sebanyak 80% |
| 9 | Yang, Kunbin, dkk | 2009 | <i>Preparation of High Surface Area Activated Carbon from Coconut Shell Using Microwave Heating</i> | Proses karbonisasi pada 1000 °C dan dilanjutkan dengan pemanasan pada 900 °C menggunakan microwave memberikan luas permukaan lebih dari 2000 m ² /g |
| 10 | Ello S.A., de Souza L.K.C., Trokourey A., dan Jaroniec M | 2013 | <i>Coconut Shell Based Microporous Carbons for CO₂ Capture</i> | Tempurung kelapa yang telah di pre – karbonisasi dengan CO ₂ dapat menghasilkan adsorben yang lebih efisien |

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar, proses penelitian tergambar dalam **Gambar 3.1**



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.1. Preparasi Sampel

Menyiapkan sumber gas karbon dioksida tabung dan melakukan variasi tekanan inlet gas CO₂.

3.2. Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif

Preparasi dengan Aktivasi Kimia

- a. Menghaluskan karbon tempurung kelapa dan mengayaknya dengan penyaring ukuran 80, 100, dan 150 mesh.
- b. Mengarbonisasi dengan suhu 400 °C dalam furnace selama 2 jam untuk memperbesar luas permukaan sehingga semakin banyak pori-pori yang teraktivasi
- c. Mengaktifkan hasil karbonisasi dimasukan ke dalam larutan zinc diklorida (ZnCl₂) dengan rasio 1:3 sambil diaduk pada suhu 80 °C.
- d. Mengaktifkan secara thermal sampai suhu maksimum 650 °C selama 1 jam dengan laju pemanasan bertahap 10 °C/ menit menggunakan gas inert N₂ dengan laju alir 200 ml/menit.
- e. Mengambil sampel dan mencuci dengan air distilasi sehingga zat-zat pengotor yang masih menempel pada sampel akan hilang.
- f. Pengeringan sampel di dalam oven pada suhu 120 °C.
- g. Sampel yang sudah siap disimpan dalam desikantor untuk menjaga kekeringannya.
- h. Menimbang sampel sebanyak satu gram untuk pengukuran luas permukaan.

Preparasi Aktivasi Fisika

- a. Melakukan langkah 1-2 preparasi aktivasi kimia
- b. Melakukan aktivasi dalam reactor sampai suhu maksimum 850 °C dalam waktu 2 jam dengan laju pemanasan bertahap 10 °C / menit menggunakan gas CO₂ dengan laju alir 200 ml/menit.
- c. Mengambil sampel dan mencuci dengan air distilasi sehingga zat-zat pengotor yang masih menempel pada sampel akan hilang.
- d. Pengeringan sampel di dalam oven pada suhu 120 °C.

- e. Sampel yang sudah siap disimpan dalam desikantor untuk menjaga kekeringannya.
- f. Menimbang sampel sebanyak satu gram untuk pengukuran luas permukaan

3.3. Karakterisasi Karbon Aktif

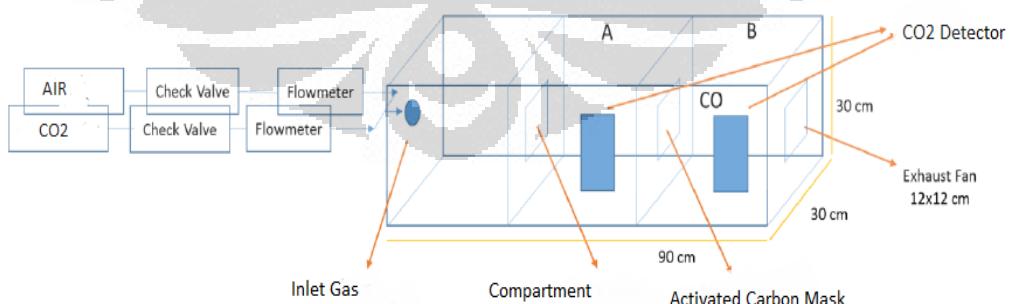
Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari material yang telah dipreparasi. Menggunakan metode BET yang berfungsi untuk mengetahui luas permukaan aktif dari karbon aktif serta mengetahui struktur pori dan distribusi ukuran pori.

3.4. Coating Karbon Aktif dalam Masker

1. Mengencerkan adsorben sampai volume slurry mencapai 300 mL
2. Mencelupkan bagian masker yang ingin *dicoating* kedalam slurry selama 5 menit dengan kecepatan penurunan 2 mm/s
3. Mengangkat masker dengan kecepatan penaikan sebesar 2 mm/s, lalu mengeringkan masker dengan dryer selama 5 menit
4. Mengeringkan masker di dalam furnace selama 4 jam pada suhu 120 °C

3.5. Uji Adsorpsi Masker

Pengujian dilakukan selama 1 jam secara bergantian pada setiap sampel dalam ruang uji. Pengambilan data dilakukan setiap selang waktu 10 menit. Skema ruang uji adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Gambar Ruang Uji

Pada Gambar 3.2. terdapat gambaran ruang uji yang akan digunakan. Pada Kompartemen A sumber polutan yang merupakan gas CO₂ yang akan divariasikan jumlahnya. Kemudian *exhaust fan* akan menyerap udara yang ada sehingga udara

mengalir dari kompartemen A ke kompartemen B dan akan melewati sekat berupa masker karbon aktif yang ada pada penelitian ini. Kemudian, perbedaan konsentrasi antara kompartemen akan diukur sehingga diketahui kemampuan dari masker karbon aktif yang sudah kita buat. Uji adsorpsi ini akan dilakukan pada sampel masker hasil aktivasi kimia dan fisika serta pada gas polutan variasi yang dibuat.

Pemasangan detector akan diletakan pertama pada kompartemen A untuk mengetahui nilai konsentrasi awal. Kemudian, akan dipasang detector kedua pada kompartemen B sehingga kita dapat mengetahui perbedaan konsentrasi di kedua bagian dengan data yang *real time*.

3.6. Variabel Penelitian

- a. Variabel tetap : Luas permukaan masker, jenis reaktor, tekanan, waktu, laju alir gas.
- b. Variabel bebas: Jenis aktivasi, jenis perekat, konsentrasi polutan, jumlah karbon aktif
- c. Variabel terikat : Luas Permukaan Karbon aktif, struktur karbon aktif, dan kapasitas adsorpsi.

3.7 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Data saat awal ialah data luas permukaan pada masing-masing cara aktivasi dengan menggunakan persamaan pada metode BET. Analisis akan dilakukan terhadap hasil luas permukaan yang akan didapatkan.

Pengambilan data lainnya akan dilakukan saat pengukuran konsentrasi keluaran dalam ruang uji yang akan diambil setiap 10 menit pada setiap sampel gas. % jumlah polutan yang diserap dapat dihitung dengan persamaan (Rahmita, 2015):

$$\%adsorpsi = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana C_{in} adalah jumlah polutan awal yang masuk ruang uji dan C_{out} adalah jumlah polutan yang terukur gas analyzer setelah 1 jam. Data yang didapat yaitu jumlah polutan yang diadsorp per satuan waktu. Persamaan di atas dapat digunakan jika memang kondisi pada kedua kompartemen memiliki laju alir volume yang sama sehingga penurunan rumusnya berdasarkan neraca mol ialah sebagai berikut:

$$n_{in} = n_{teradsorp} + n_{out}$$

$$C_{in} v_{in} = C_{teradsorp} v_{teradsorp} + C_{out} v_{out} \quad (3.3)$$

$$n_{teradsorps} = C_{in} v_{in} - C_{out} v_{out} \quad (3.4)$$

$$\%adsorpsi = \frac{C_{in} v_{in} - C_{out} v_{out}}{C_{in} v_{in}} \times 100\% \quad (3.5)$$

Jika, $v_{in} = v_{out}$ maka

$$\%adsorpsi = \frac{C_{in} v_{in} - C_{out} v_{out}}{C_{in} v_{in}} \times 100\% \quad (3.6)$$

3.8 Penafsiran dan Penyimpulan Data

Data yang kita dapatkan kemudian akan kita tafsirkan untuk membuktikan penelitian yang kita lakukan berhasil. Semakin tinggi luas permukaan hasil metode BET maka semakin baik kinerja katalis yang kita miliki. Selain itu, semakin micro struktur pori yang kita miliki maka akan semakin baik juga karbon aktif yang kita miliki. Pengolahan data konsentrasi dilakukan dengan membuat grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu dan dari grafik ini diperoleh masker dengan karbon aktif bagaimana yang memiliki penyerapan terbaik. Semakin kecil C (konsentrasi keluaran) maka akan semakin baik suatu masker.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dan analisis data yang telah didapat dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Pembahasan meliputi proses pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa, karakterisasi hasil karbon aktif, pembuatan masker karbon aktif, serta uji adsorpsi masker karbon aktif.

4.1. Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa

Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif pada penelitian ini adalah limbah tempurung kelapa. Limbah tempurung kelapa yang digunakan berasal dari limbah pedagang pasar tradisional di daerah Depok. Sebelum digunakan untuk pembuatan karbon aktif terlebih dahulu dilakukan tahap *pretreatment* pada limbah tempurung kelapa yaitu dengan melakukan proses pencucian dan penghancuran. Pada proses pencucian, kotoran dan serabut yang menempel pada tempurung kelapa dibersihkan. Selanjutnya dilakukan proses penghancuran tempurung kelapa menjadi ukuran 3×3 cm untuk memudahkan proses pada tahap – tahap berikutnya. Gambar 4.1 menunjukkan tempurung kelapa yang sudah dicuci, dan Gambar 4.2 menunjukkan tempurung kelapa yang sudah dihancurkan.



Gambar 4. 1 Tempurung Kelapa yang Sudah dibersihkan



Gambar 4. 2 Tempurung Kelapa yang Sudah dihancurkan

4.1.1. Proses Karbonisasi Limbah Tempurung Kelapa

Proses karbonisasi ini bertujuan untuk mendapatkan karbon yang terkandung pada tempurung kelapa dengan cara memanaskannya pada furnace listrik. Pada tahap *pretreatment* telah dilakukan proses penghancuran tempurung kelapa yang bertujuan mereduksi ukuran tempurung kelapa sehingga permukaan tempurung kelapa yang terkena panas semakin banyak. Proses karbonisasi ini berlangsung pada suhu 400°C selama 2 jam. Pemilihan suhu karbonisasi berdasarkan senyawa – senyawa yang terkandung pada tempurung kelapa, seperti air, hemiselulosa ,selulosa, dan lignin. Pada suhu $120 - 150^{\circ}\text{C}$ terjadi penghilangan senyawa volatil uap air, kemudian pada suhu $200 - 250^{\circ}\text{C}$ terjadi karbonisasi hemiselulosam, selanjutnya pada suhu $280 - 320^{\circ}\text{C}$ terjadi karbonisasi selulosa, dan pada suhu 400°C terjadi karbonisasi lignin (Girrard, 1992). Sehingga dengan pemanasan sampai suhu 400°C senyawa – senyawa yang terkandung pada tempurung kelapa yang mengisi pori – pori telah hilang sehingga terbentuk karbon yang berpori. Hal ini dapat dilihat juga dari perubahan warna tempurung kelapa yang sebelumnya berwarna cokelat menjadi hitam yang menunjukkan bahwa karbon telah terbentuk. Hasil dari proses karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4. 3 Tempurung Kelapa Sebelum Proses Karbonisasi



Gambar 4. 4 Tempurung Kelapa Setelah Proses Karbonisasi

Selain itu juga dilakukan perhitungan neraca massa dari tempurung kelapa untuk mengetahui *yield* karbon dalam tempurung kelapa. Hasil dari *yield* karbon dalam tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Neraca Massa Karbonisasi

| No | Massa Temprung Kelapa (gram) | Massa yang Hilang (gram) | Massa Karbon (gram) | Yield (%) |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 200.5 | 142.1 | 58.4 | 29.1 |
| 2 | 124.6 | 88.5 | 36.1 | 29.0 |
| 3 | 100.4 | 71.1 | 29.3 | 29.2 |
| Yield Rata - Rata | | | | 29.1 |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil *yield* karbon rata – rata dari tempurung kelapa sebesar 29,1 %. Menurut Ginard (1992) produk dekomposisi termal yang dihasilkan melalui pirolisis komponen – komponen kayu sebanding dengan jumlah komponen – komponen tersebut dalam kayu. Sehingga *yield* yang dihasilkan dalam percobaan ini dapat dikatakan maksimum karena sudah sebanding dengan kandungan lignin pada tempurung kelapa sebesar 29,4 %.

4.1.2. Proses Penghancuran Karbon

Setelah selesai proses karbonisasi selanjutnya karbon dihancurkan dengan menggunakan waring blender yang memiliki kekuatan dan kemampuan penghancuran yang lebih baik dari blender biasa. Setelah dihancurkan lalu karbon disaring menggunakan mesh filter. Pada proses ini digunakan tiga mesh filter yang berbeda ukuran yaitu 80, 100, dan 150 mesh. Hal ini bertujuan agar penyaringan lebih maksimal. Produk akhir karbon yang diambil ialah yang berada diantara mesh filter ukuran 100 dan 150 mesh. Ukuran yang kecil ini akan memperluas luas kontak dengan agen aktifasi pada proses aktivasi yang nantinya dapat menghasilkan pori – pori yang lebih banyak. Selain itu ukuran ini juga sesuai dengan pori – pori kain masker sehingga karbon tidak akan keluar masker. Gambar 4.5 menunjukan karbon tempurung kelapa yang sudah dihancurkan.



Gambar 4. 5 Karbon Tempurung Kelapa yang Sudah Dihaluskan

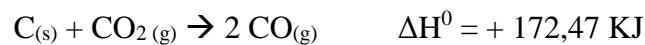
4.1.3. Proses Aktivasi Karbon

Setelah melewati proses karbonisasi dan penghancuran, selanjutnya karbon di aktivasi untuk membuka lebih banyak pori – pori dalam karbon. Proses aktivasi menggunakan dua jenis yaitu aktivasi fisika, dan aktivasi kimia. Perbedaan jenis aktivasi dimaksudkan untuk mengetahui kinerja yang lebih baik dari dua jenis aktivasi tersebut. Aktivasi fisika menggunakan gas karbondioksida (CO_2), dan aktivasi kimia menggunakan ZnCl_2 sebagai *activating agent*.

a. Proses Aktivasi Fisika

Proses aktivasi fisika dilakukan dengan pemanasan tanpa oksigen. Hal ini dilakukan untuk mencegah reaksi pembakaran antara oksigen dengan karbon yang

dapat merusak struktur pori. Pada penelitian ini aktivasi pemanasan dilakukan dengan mengalirkan gas karbon dioksida (CO_2) dengan laju 200 ml/menit. Proses pemanasan dengan menggunakan gas karbon dioksida (CO_2) terjadi reaksi yang bersifat endotermis antara karbon dengan gas karbon dioksida (CO_2), sebagai berikut (Rahmita, 2015) :



Proses ini berlangsung dengan menaikkan suhu secara bertahap sampai pada suhu $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Penentuan suhu ini berdasarkan dari bahan baku yang digunakan karena, tempurung kelapa merupakan golongan kayu keras dengan kadar lignin lebih besar dari selulosa (Suhardiyono, 1988). Selain itu penentuan suhu juga mempengaruhi jumlah dan struktur pori yang terbentuk. Suhu yang terlalu rendah mengakibatkan reaksi berjalan lama, sehingga pori yang terbentuk belum maksimal. Sebaliknya suhu yang terlalu tinggi akan mengakibatkan rusaknya pori – pori karbon. Sejalan dengan suhu, waktu aktivasi juga harus diperhatikan. Pada penelitian ini aktivasi berlangsung selama satu jam setelah reaktor mencapai suhu $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Waktu aktivasi yang terlalu singkat akan mengakibatkan reaksi yang berjalan belum sempurna sehingga pori yang terbentuk pun tidak maksimal. Waktu aktivasi yang terlalu lama akan mengakibatkan hilangnya bahan baku karena seluruh karbon habis bereaksi. Waktu aktivasi umumnya berkisar antara 30 menit – 120 menit. Gambar 4.6 menunjukkan proses aktivasi karbon secara fisika.



Gambar 4. 6 Proses Aktivasi Fisika

Setelah proses aktivasi karbon dikeluarkan lalu ditimbang untuk mengetahui perubahan massa nya. Neraca massa karbon aktivasi fisika dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Neraca Massa Aktivasi Fisika

| N o | Massa Sebelum Aktivasi (gram) | Massa yang Hilang (gram) | Massa Sesudah Aktivasi (gram) | Yield (%) |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------|
| 1 | 20 | 4.22 | 15.78 | 78.9 |
| 2 | 20 | 3.56 | 16.44 | 82.2 |
| 3 | 20 | 3.79 | 16.21 | 81.1 |
| Yield Rata - Rata | | | | 80.7 |

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan massa karbon sebesar 19,3 %. Hal ini terjadi karena karbon bereaksi dengan gas CO₂. Pengurangan massa ini juga menandakan bahwa komponen – komponen yang menutupi pori – pori karbon telah hilang. Bila dibandingkan dengan penelitian Rahmita (2015) yield yang dihasilkan sebesar 78,3% , penelitian ini menghasilkan yield yang lebih besar.

b. Proses Aktivasi Kimia

Pada proses aktivasi kimia karbon diaktivasi menggunakan ZnCl₂ sebagai *activating agent*. Perbandingan massa ZnCl₂ yang digunakan dengan massa karbon adalah 3:1. Perbandingan ini dipilih karena jika menggunakan perbandingan massa 1:1 dan 1:2, ZnCl₂ tidak dapat merendam seluruh karbon sehingga proses aktivasi tidak akan berjalan maksimum. Setelah itu karbon yang telah terendam diaduk dengan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* pada suhu 80 °C selama satu jam. Kondisi ini dimaksudkan agar terjadi proses dehidrasi dan eliminasi oleh senyawa ZnCl₂ terhadap kandungan debu, air, dan komponen sisa karbonisasi pada pori – pori karbon. Gambar 4.7 menunjukan proses aktivasi karbon secara kimia.



Gambar 4. 7 Proses Aktivasi Kimia

Setelah diaktifasi dengan menggunakan $ZnCl_2$ selanjutnya karbon aktif dicuci terlebih dahulu dengan menggunakan akuades sampai mencapai pH 7.0 (netral) lalu dikeringkan dalam oven pada suhu $120^{\circ}C$ selama 1 – 2 jam. Tahap selanjutnya karbon dipirolysis pada reaktor aktivasi dengan suhu $650^{\circ}C$ dengan menggunakan gas inert N_2 . Hal ini dimaksudkan agar membuka pori – pori karbon lebih besar dengan menghilangkan pengotor yang masih menutup pori – pori karbon. Neraca massa selama proses aktivasi kimia dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Neraca Massa Aktivasi Kimia

| No | Massa Sebelum Aktivasi (gram) | Massa Sesudah Aktivasi (gram) | Massa Masuk Reaktor (gram) | Massa Keluar Reaktor (gram) | Yield (%) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | 20 | 18.44 | 18.44 | 16.93 | 84.7 |
| 2 | 20 | 18.22 | 18.22 | 17.02 | 85.1 |
| 3 | 20 | 18.32 | 18.32 | 17.12 | 85.6 |
| Yield Rata - Rata | | | | | 85.1 |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan massa karbon sebesar 14,9%. Hal ini terjadi karena $ZnCl_2$ sebagai *activating agent* telah mendegradasi komponen – komponen yang menutup pori – pori karbon. Bila dibandingkan dengan penelitian A.R Hidayu dan N. Muda (2016) yield yang dihasilkan sebesar 45%, penelitian ini menghasilkan yield yang lebih besar.

4.1.4. Proses Pencucian dan Pengeringan

Setelah proses aktivasi karbon aktif dicuci untuk menghilangkan pengotor padat yang dapat menutupi pori – pori dan menetralkan pH. Proses pencucian dilakukan dengan akuades dan dibantu *vacuum pump* untuk mempercepat proses. Proses ini dilakukan berulangkali selama 8 – 10 kali untuk mencapai pH 7.0 (netral). Pengukuran pH dilakukan pada tetesan air setelah melewati kertas saring dengan menggunakan pH meter sampai didapatkan nilai yg stabil. Gambar 4.8 menunjukan proses pencucia karbon aktif.



Gambar 4. 8 Proses Pencucian Karbon Aktif

Setelah proses pencucian selanjutnya karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 1 – 2 jam. Tabel 4.4 menunjukan neraca massa selama proses pencucian dan pengeringan.

Tabel 4. 4 Neraca Massa Proses Pencucian dan Pengeringan

| No | Aktivasi Fisika | | | Aktivasi Kimia | | |
|--------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------------------|-------------|
| | Massa Awal (gram) | Massa Setelah Pengeringan (gram) | Yield (%) | Massa Awal (gram) | Massa Setelah Pengeringan (gram) | Yield (%) |
| 1 | 15.78 | 13.66 | 86.6 | 16.93 | 15.32 | 90.5 |
| 2 | 16.44 | 14.35 | 87.3 | 17.02 | 14.78 | 86.8 |
| 3 | 16.21 | 13.45 | 83.0 | 17.12 | 15.12 | 88.3 |
| Yield Rata - Rata | | | 85.6 | Yield Rata - Rata | | 88.5 |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan massa karbon aktif sebesar 11 – 14 % dari massa awal. Hal ini menandakan bahwa kadar air, dan pengotor yang ada telah hilang.

4.2. Karakterisasi Karbon Aktif

4.2.1. Luas Permukaan Karbon Aktif

Sebelum menggunakan karbon aktif yang telah dibuat terlebih dahulu dilakukan karakterisasi karbon aktif. Karakterisasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui luas permukaan dari karbon aktif. Karakterisasi yang dilakukan adalah uji bilangan iodin dan uji Braunner Emmet Teller (BET). Uji bilangan iodin dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses DTK. Uji bilangan iodin dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap iodin. Persamaan yang digunakan dalam uji bilangan iod adalah sebagai berikut (Farandy, 2016) :

$$\text{Bilangan iod} = \frac{5 - \frac{V \times N}{0,1}}{W} \times 12,69 \times f \quad (4.1)$$

Dimana :

V = Larutan Na_2SO_3 yang digunakan (ml)

N = Normalitas larutan Natrium Tio – Sulfat

12.69 = Jumlah Iod sesuai dengan 1 ml larutan Na_2SO_3 0,1 N

W = Massa sampel karbon aktif (gram)

f = Jumlah titran yang digunakan per total volume titran yang dibutuhkan

Hasil uji bilangan iod dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Uji Bilangan Iod Karbon Aktif

| Sampel | Bilangan Iod (mg/g) |
|-----------------|---------------------|
| Aktivasi Fisika | 379.36 |
| Aktivasi Kimia | 449.52 |

Uji BET dilakukan pada Laboratorium Kimia UNJ. Uji BET dilakukan dengan menggunakan nitrogen cair lalu melakukan plot grafik hubungan antara tekanan relatif (P/P_0) dengan volum yang teradsorbsi (cm^3/g STP). Dari hasil plot

grafik selanjutnya data diolah dengan metode Harkins and Jura sehingga didapatkan nilai luas permukaan BET. Hasil dari uji BET dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji BET Karbon Aktif

| No | Jenis Karbon Aktif | Luas Permukaan BET (m ² /g) | Volume Pori (cm ³ /g) | Diameter Pori (nm) |
|----|--------------------|--|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Aktivasi Fisika | 323.57 | 0.15 | 2.01 |
| 2 | Aktivasi Kimia | 432.26 | 0.18 | 2.39 |

Dari hasil uji BET dapat dilihat bahwa luas permukaan yang dihasilkan dari karbon aktivasi kimia lebih besar daripada karbon aktivasi fisika. Hal ini terjadi karena penggunaan ZnCl₂ sebagai *activating agent* dapat membentuk pori – pori baru dan memperbesar pori – pori yang sebelumnya telah ada. Semakin besar luas permukaan yang dihasilkan akan memperbesar kapasitas adsorpsi dari karbon aktif. Sedangkan untuk volume pori akan semakin besar jika diameter pori makin besar, begitupula sebaliknya. Dari hasil uji diatas disimpulkan bahwa karbon aktif yang dibuat pada penelitian ini telah memenuhi syarat minimum bilangan iod 200 mg/g sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII) No. 0258 – 79 Departemen Perindustrian Republik Indonesia.

4.3. Pembuatan Masker Karbon Aktif

Proses pembuatan masker karbon aktif menggunakan masker anti partikulat komersil yang didalamnya disisipkan karbon aktif. Karbon aktif terlebih dahulu *dicoating* pada kain flannel berukuran 6 x 6 cm sebelum disisipkan kedalam masker anti partikulat. Proses *coating* dilakukan dengan mencelupkan kain flannel ke dalam larutan *slurry* yang berisi karbon aktif, perekat, dan akuades selama lima menit. Komposisi larutan *slurry* pada percobaan ini pun berbeda – beda bergantung pada variasi perekat dan variasi jumlah karbon aktif. Komposisi larutan *slurry* dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Komposisi Larutan Slurry Perekat Natrium Silikat

| No | Perekat Natrium Silikat | | |
|----|-------------------------|----------|----------------------|
| | Karbon Aktif (gram) | Air (ml) | Natrium Silikat (ml) |
| 1 | 2 | 80 | 0,5 |
| 2 | 4 | 100 | 0,5 |
| 3 | 6 | 120 | 0,5 |

Tabel 4. 8 Komposisi Larutan Slurry Perekat TEOS

| No | Perekat TEOS | | |
|----|---------------------|----------|-----------|
| | Karbon Aktif (gram) | Air (ml) | TEOS (ml) |
| 1 | 2 | 60 | 1 |
| 2 | 4 | 80 | 1 |
| 3 | 6 | 100 | 1 |

Hasil dari tabel diatas menunjukan bahwa semakin banyak jumlah karbon aktif yang maka semakin banyak jumlah air yang digunakan untuk melarutkan. Jumlah air yang dibutuhkan pun berbeda walau variasi jumlah karbon aktif yang digunakan sama, hal ini dikarenakan perbedaan jenis perekat. Perekat Natrium Silikat bersifat lebih *viscous* daripada perekat TEOS sehingga dalam melarutkannya membutuhkan air dengan jumlah yang lebih banyak agar konsentrasi larutan yang dihasilkan tidak terlalu pekat. Jumlah perekat Natrium Silikat yang digunakan lebih sedikit daripada perekat TEOS hal ini karena Natrium Silikat memiliki viskositas yang lebih besar daripada TEOS dan memberikan daya rekat yang lebih kuat daripada TEOS. Jumlah perekat yang digunakan untuk tiap variasi jumlah karbon aktif, tetap konstan. Jumlah ini didapatkan dari hasil *trial error* yang menunjukan bahwa jika menggunakan perekat dengan jumlah lebih besar dari 0,5 ml untuk Natrium Silikat dan 1ml untuk TEOS akan menghasilkan *coating* kain yang keras dan kaku hal ini menandakan bahwa pori – pori karbon aktif dan kainflannel tertutup oleh perekat. Perekat yang menutupi pori – pori akan menghambat proses adsorbsi. Begitupula sebaliknya jika menggunakan perekat dengan jumlah kurang dari 0,5 ml untuk Natrium Silikat dan 1ml untuk TEOS akan menyebabkan karbon aktif tidak merekat sempurna pada kain flannel dan karbon aktif akan luruh setelah proses *coating* selesai.

Selanjutnya karbon aktif, air, dan perekat diaduk menggunakan *hot plate stirrer* dengan suhu 85 °C untuk mempercepat pencampuran, menghasilkan

campuran yang lebih merata sehingga diperoleh konsetrasi yang homogen. Proses *coating* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Proses *Coating* Masker Karbon Aktif

Setelah proses *coating* selesai selanjutnya masker didiamkan selama lima menit pada suhu ruang dan dilakukan perataan karbon aktif pada permukaan kain flannel secara manual. Pengeringan lebih lanjut dilakukan menggunakan *vacuum oven* pada suhu 120 °C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air pada kain flannel. Gambar 4.10 menunjukkan hasil pembuatan masker karbon aktif.



Gambar 4. 10 Hasil Pembuatan Masker Karbon Aktif

Neraca massa untuk berbagai variasi masker, yaitu masker dengan aktivasi fisika berperekat Natrium Silikat (FS), masker dengan aktivasi kimia berperekat TEOS (FT), masker dengan aktivasi kimia berperekat Natrium Silikat (KS), dan masker dengan aktivasi kimia berperekat TEOS (KT) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Neraca Massa Proses *Coating*

| No | Jenis | Berat Flannel Sebelum Coating (gram) | Berat Flannel Setelah Coating (gram) | Berat Karbon dan Perekat yang Menempel (gram) |
|----|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | 2 gram FS | 0.62 | 1.31 | 0.69 |
| 2 | 4 gram FS | 0.63 | 1.42 | 0.79 |
| 3 | 6 gram FS | 0.60 | 1.54 | 0.94 |
| 4 | 2 gram KS | 0.63 | 1.34 | 0.71 |
| 5 | 4 gram KS | 0.61 | 1.43 | 0.82 |
| 6 | 6 gram KS | 0.60 | 1.56 | 0.96 |
| 7 | 2 gram FT | 0.62 | 1.31 | 0.69 |
| 8 | 4 gram FT | 0.64 | 1.45 | 0.81 |
| 9 | 6 gram FT | 0.61 | 1.57 | 0.96 |
| 10 | 2 gram KT | 0.62 | 1.32 | 0.70 |
| 11 | 4 gram KT | 0.64 | 1.48 | 0.84 |
| 12 | 6 gram KT | 0.61 | 1.60 | 0.99 |

4.4. Uji Adsorpsi Masker Karbon Aktif

Uji adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kinerja masker karbon aktif dalam adsorpsi polutan. Uji ini dilakukan didalam ruang uji tertutup yang dibuat khusus sesuai dengan spesifikasi masker karbon aktif. Ruang uji ini terbuat dari bahan akrilik berukuran 90cm x 30 cm x 30 cm. Ruang uji ini memiliki tiga kompartemen. Kompartemen pertama merupakan ruang masuknya campuran gas CO₂ dan udara tekan. Pada kompartemen ini, gas CO₂ dan udara tekan akan menghasilkan campuran yang lebih stabil sebelum memasuki kompartemen berikutnya. Kompartemen kedua, merupakan ruang yang akan dilewati oleh gas serta dilakukan pembacaan konsentrasi CO₂ menggunakan CO₂ analyzer. Kompartemen terakhir merupakan ruang keluaran gas setelah melewati penyangga filter masker karbon aktif yang berada di antara kompartemen kedua dan ketiga. Setelah kompartemen ketiga terdapat exhaust fan yang berfungsi untuk mengalirkan gas campuran CO₂ dan udara tekan dari sumber masukan menuju ke kompartemen terakhir. *Exhaust fan* yang digunakan juga tidak memiliki spesifikasi 300 rpm yang tergolong kecil sehingga tidak akan mengganggu konsentrasi didalam ruang uji. Pada bagian atas kompartemen terdapat pintu yang digunakan untuk memasukkan CO₂ analyzer ke dalam ruang uji. Aliran campuran gas CO₂ dan udara tekan dibagian masukan diatur

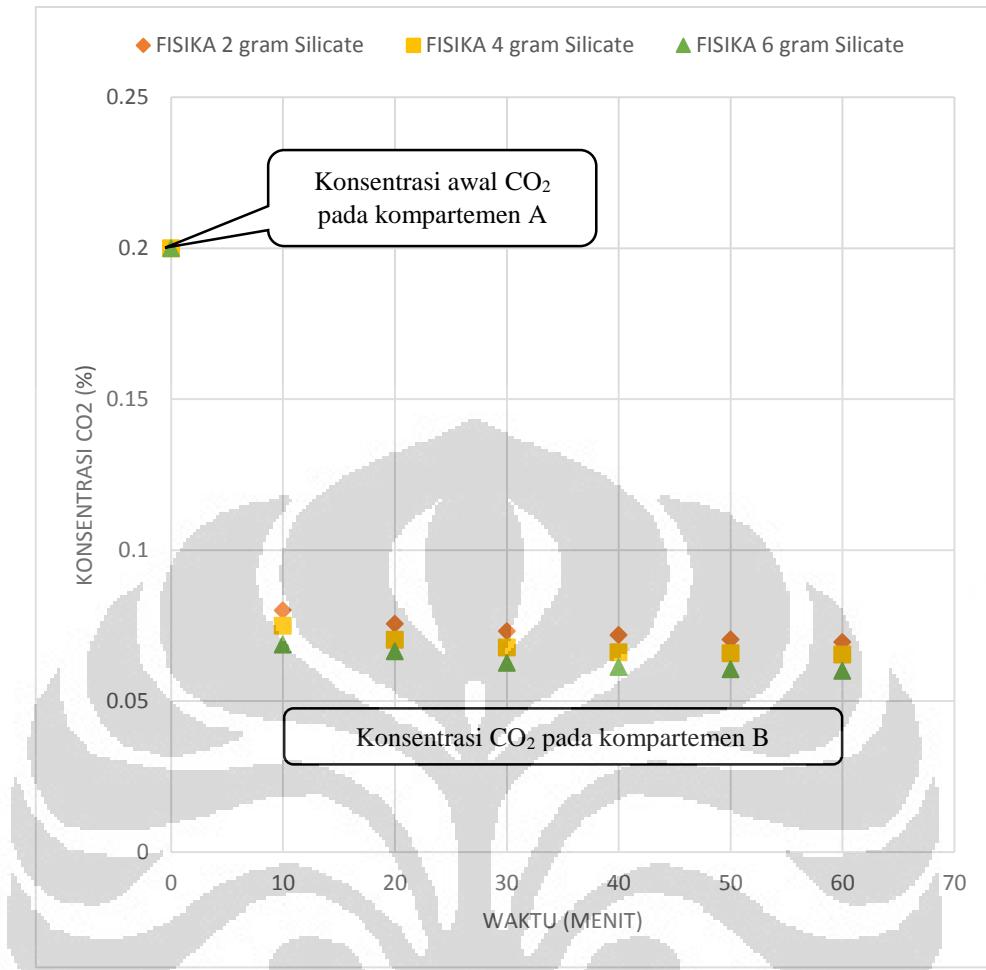
dengan *flowmeter* dan juga dipasang *check valve* yang berguna untuk menjaga kestabilan dari dua aliran gas tersebut, dan juga mencegah terjadinya *back flow*. Konsentrasi awal CO₂ yang digunakan pada uji adsorpsi adalah 2000 ppm. Konsentrasi CO₂ 2000 ppm didapatkan dengan mengatur *flowmeter* CO₂ pada kondisi 50 ml/menit dan *flowmeter* udara pada kondisi 300 ml/menit. Konsentrasi ini merupakan yang paling stabil yang bisa didapatkan, karena jika menggunakan konsentrasi dibawah 2000 ppm maka laju masukan dari campuran gas CO₂ dan udara tekan akan sangat pelan. Laju masukan yang pelan ini tidak dapat mengimbangi kerja dari *exhaust fan* yang menyebabkan konsentrasi CO₂ didalam ruang uji akan terus berkurang sehingga data yang didapatkan akan tidak valid karena besarnya pengaruh dari *exhaust fan*. Setelah didapatkan variasi yang terbaik dari masker karbon aktif selanjutnya dilakukan analisis terhadap kemampuan adsorpsi CO₂ per gram karbon aktif yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan kapasitas adsorpsi pada kondisi *real CO₂* di atmosfer yaitu pada konsentrasi sebesar 400 ppm. Gambar 4.11 menunjukkan proses uji adsorpsi pada penelitian ini.



Gambar 4. 11 Proses Uji Adsorpsi Masker Karbon Aktif

4.4.1. Pengaruh Perbedaan Massa Karbon Aktif

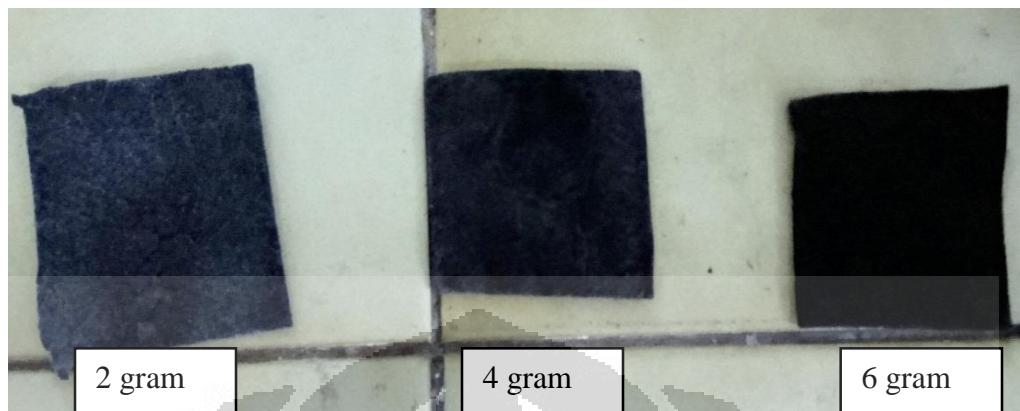
Uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa karbon aktif yang *dicoating* ke dalam masker karbon aktif terhadap kemampuan adsorbsi CO₂. Pengujian dilakukan selama 60 menit untuk setiap variasi massa karbon aktif. Pengaruh massa karbon aktif terhadap kemampuan adsorbsi ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Pengaruh Massa Karbon Aktif Terhadap Konsentrasi Akhir CO₂

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.12 terlihat bahwa masker karbon aktif dengan variasi massa 6 gram memberikan kemampuan adsorpsi yang paling baik, diikuti dengan variasi massa 4 gram, lalu yang terakhir variasi massa 2 gram. Masker karbon aktif variasi massa 6 gram mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 70,00% dari konsentrasi 2000 ppm hingga menjadi 600 ppm. Masker karbon aktif variasi massa 4 gram mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 67,30% dari konsentrasi 2000 ppm hingga menjadi 654 ppm. Masker karbon aktif variasi massa 2 gram mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 65,25% dari konsentrasi 2000 ppm hingga menjadi 695 ppm. Hal tersebut menandakan bahwa semakin besar massa karbon aktif yang dicoating kedalam masker akan meningkatkan kemampuan adsorbsi CO₂ hal ini dikarenakan semakin banyak molekul adsorben yang dapat menyerap adsorbat pada satuan waktu dan volume ruang yang sama. Selain secara kuantitatif pengaruh perbedaan massa karbon aktif juga dapat dilihat secara kualitatif dari

hasil *coating*. Gambar 4.13 menunjukkan hasil *coating* untuk ketiga variasi massa karbon aktif.

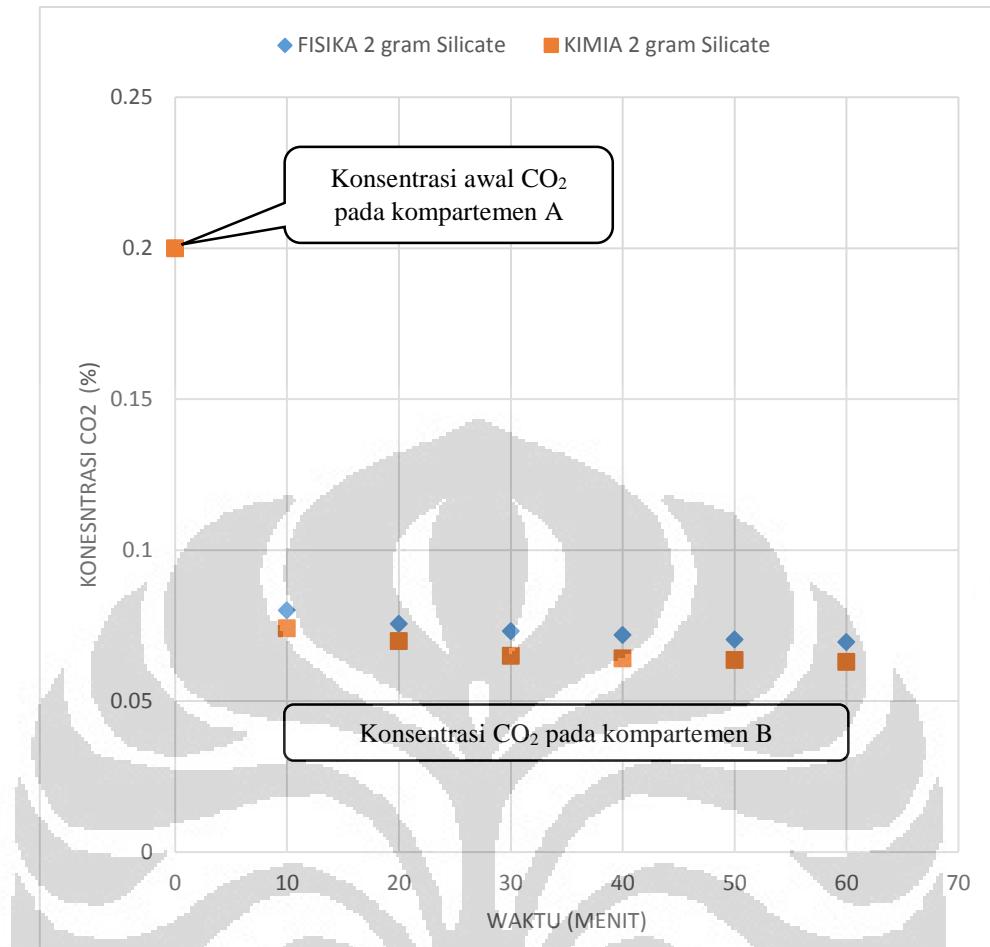


Gambar 4. 13 Hasil *Coating* Massa Karbon Aktif 2, 4, dan 6 gram

Berdasarkan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa massa karbon aktif yang akan mempengaruhi persebaran serta ketebalan pada kain flannel. Semakin besar massa karbon aktif yang *dicoating* maka kain flannel akan memiliki warna hitam yang lebih pekat dan persebaranya pun semakin rapat.

4.4.2. Pengaruh Jenis Aktivasi Karbon Aktif

Uji ini untuk mengetahui pengaruh jenis aktivasi karbon aktif terhadap kemampuan adsorpsi CO₂. Sebagaimana tujuan dari percobaan ini yaitu untuk mendapatkan jenis aktivasi terbaik dari karbon aktif untuk digunakan sebagai masker karbon aktif. Uji ini membandingkan kemampuan adsorpsi CO₂ antara masker karbon aktif bermassa 2 gram, aktivasi fisika dengan perekat Natrium Silikat dengan masker karbon aktif bermassa 2 gram, aktivasi kimia dengan perekat Natrium Silikat. Uji dilakukan dengan konsentrasi awal CO₂ sebesar 2000 ppm, selama 60 menit untuk setiap variasi. Pengaruh jenis aktivasi karbon aktif terhadap kemampuan adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.14.



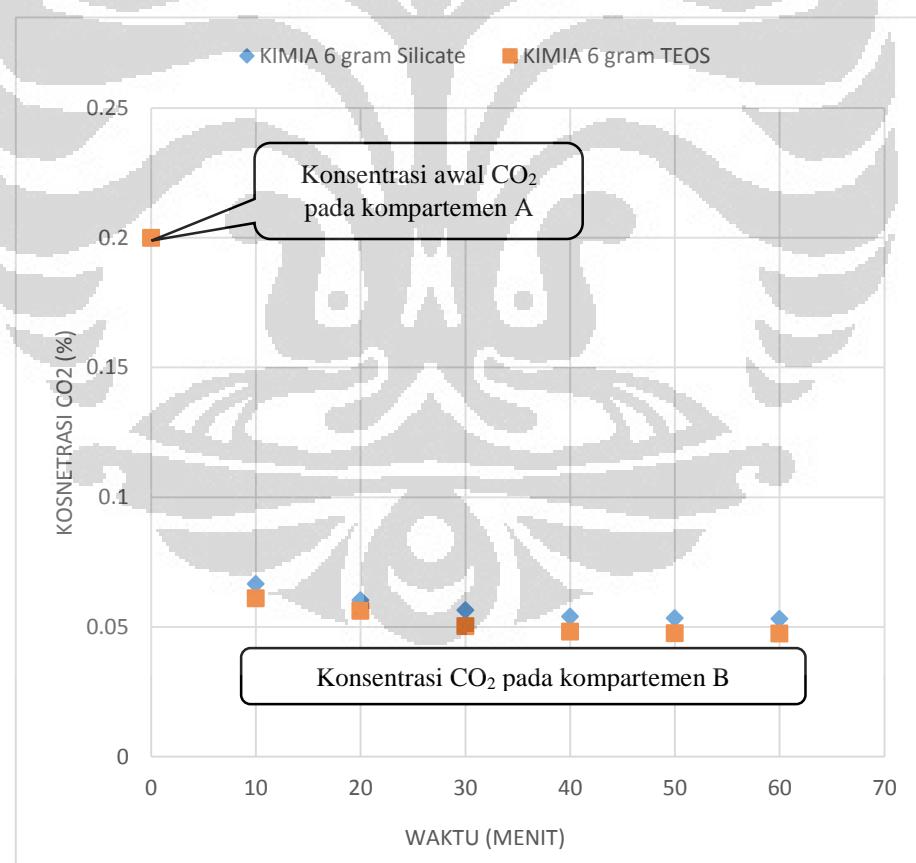
Gambar 4. 14 Pengaruh Jenis Aktivasi Terhadap Konsentrasi Akhir CO₂

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.14 terlihat bahwa karbon aktif dengan aktivasi kimia memberikan kemampuan adsorpsi terhadap CO₂ lebih baik daripada karbon aktif dengan aktivasi fisika. Masker karbon aktif dengan aktivasi kimia mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 68,50% dari konsentrasi 2000 ppm hingga menjadi 630 ppm. Masker karbon aktif dengan aktivasi fisika mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 65,25% dari konsentrasi 2000 ppm hingga menjadi 695 ppm. Hasil tersebut menunjukan bahwa aktivasi kimia menghasilkan karbon aktif dengan kemampuan adsorpsi lebih baik daripada aktivasi fisika. Hal ini karena pada aktivasi kimia, senyawa ZnCl₂ mendgradiasi komponen pengotor yang menutupi pori – pori dan dilanjutkan pirolisis menggunakan gas N₂ yang akan membuka pori – pori lebih banyak daripada dengan aktivasi fisika. Selain itu hasil uji BET juga menunjukan bahwa karbon aktif dengan aktivasi kimia memiliki luas permukaan 432,26 m²/g, yang nilainya lebih besar daripada karbon aktif dengan aktivasi fisika

dengan luas permukaan $323,57 \text{ m}^2/\text{g}$. Luas permukaan karbon aktif yang semakin besar akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif tersebut.

4.4.3. Pengaruh Perbedaan Jenis Perekat

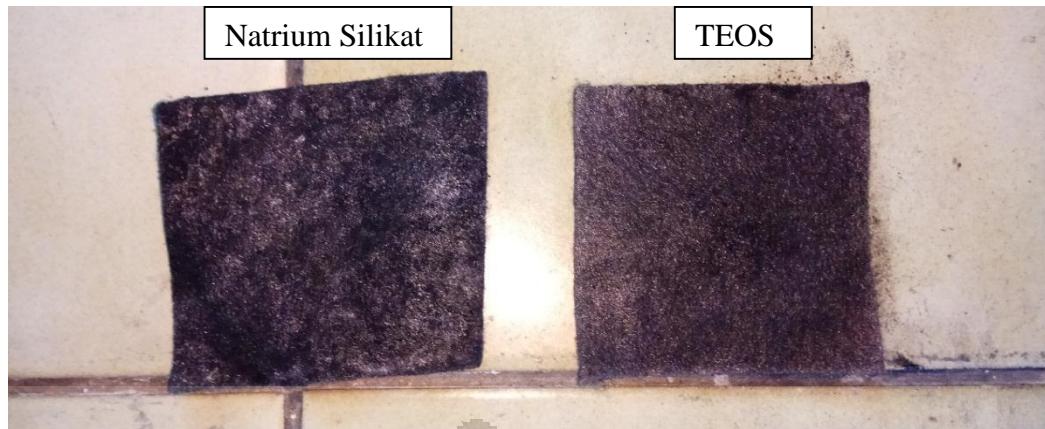
Uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis perekat yang digunakan dalam proses *coating* terhadap kemampuan adsorpsi CO_2 . Uji ini menggunakan masker karbon aktif bermassa 6 gram, aktivasi kimia dengan perekat Natrium Silikat dan masker karbon aktif bermassa aktif 6 gram, aktivasi kimia dengan perekat TEOS. Dipilih karbon aktif bermassa 6 gram dengan aktivasi kimia karena dari dua uji sebelumnya terlihat bahwa massa 6 gram dan aktivasi kimia memberikan hasil yang paling baik dalam uji adsorpsi. Uji dilakukan dengan konsentrasi awal CO_2 sebesar 2000 ppm, selama 60 menit untuk setiap variasi. Pengaruh perbedaan jenis perekat terhadap kemampuan adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Konsentrasi Akhir CO_2

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15 terlihat bahwa masker dengan perekat TEOS memberikan kemampuan adsorpsi CO₂ yang lebih baik daripada masker dengan perekat Natrium Silicate. Masker karbon aktif berperekat TEOS mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 76,25% dari 2000 ppm hingga menjadi 475 ppm. Masker karbon aktif berperekat Natrium Silikat mampu mengadsorpsi CO₂ sebesar 73,40% dari 2000 ppm hingga menjadi 532 ppm. Hasil tersebut menunjukan bahwa TEOS lebih cocok digunakan sebagai bahan perekat dalam process *coating* karbon aktif daripada menggunakan Natrium Silikat. Hal ini dikarenakan Natrium Silikat memiliki viskositas yang lebih besar daripada TEOS, sehingga penambahan Natrium Silikat akan berpotensi menutup pori – pori dari karbon aktif yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan adsorpsi. Natrium Silikat sebenarnya mempunyai daya rekat yang lebih kuat tetapi daya rekat ini lebih cocok jika diaplikasikan pada material yang lebih keras, lebih besar dan tidak memiliki banyak mikropori. Pada percobaan ini karbon aktif yang digunakan berjenis bubuk yang memiliki banyak mikropori sehingga penggunaan Natrium Silikat kurang tepat. Berdasarkan penelitian Kobayahsi (2011), penggunaan TEOS pada partikel berukuran nano dapat meningkatkan luas permukaan. Sehingga penggunaan TEOS pada penilitian ini sudah tepat karena TEOS selain memiliki kemampuan sebagai perekat juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan luas permukaan.

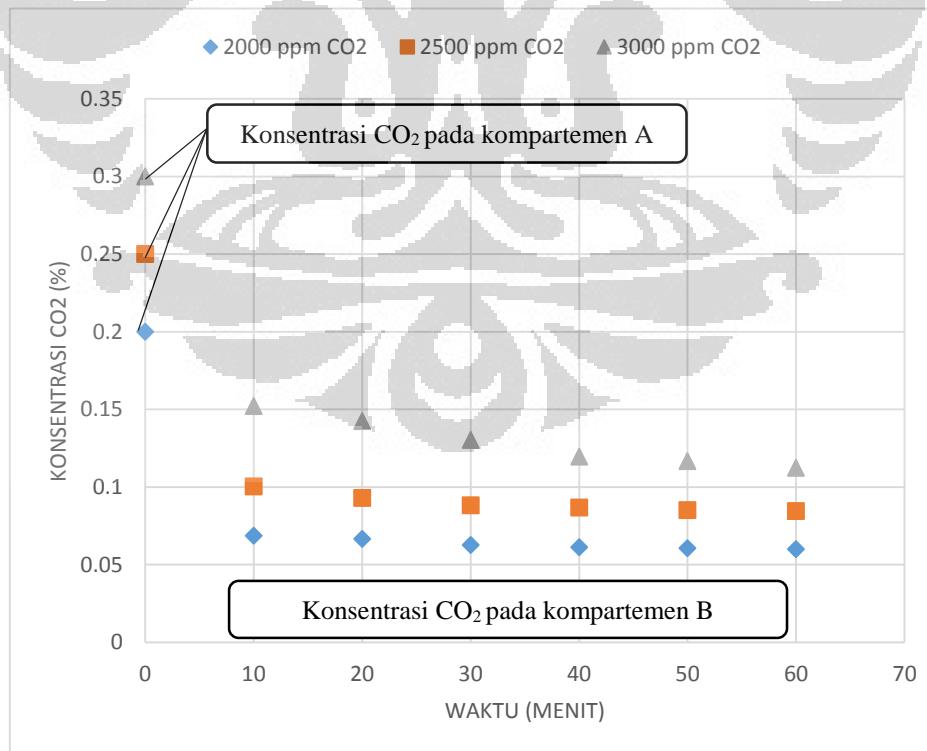
Selain secara kuantitatif perbedaan penggunaan jenis perekat juga dapat dilihat secara kualitatif dari hasil *coating*. Hasil *coating* dengan TEOS menghasilkan kain dengan permukaan karbon aktif yang lebih merata dan permukaannya tidak sekeras permukaan hasil *coating* dengan Natirum Silikat. Hasil coating menggunakan perekat Natrium Silikat dan TEOS dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Hasil Coating Perekat Silikat dan TEOS

4.4.4. Pengaruh Konsentrasi Awal CO₂

Uji ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal CO₂ terhadap kemampuan adsorpsi CO₂. Selain itu uji ini untuk mengetahui fleksibilitas dari masker karbon aktif apakah tetap mampu mengadsorpsi CO₂ bila terjadi perubahan konsentrasi awal. Uji dilakukan dengan menggunakan variasi masker karbon aktif bermassa 6 gram, aktivasi fisika dengan perekat Natrium Silikat. Uji dilakukan selama 60 menit untuk setiap variasi. Pengaruh konsentrasi awal CO₂ terhadap kemampuan adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.17.

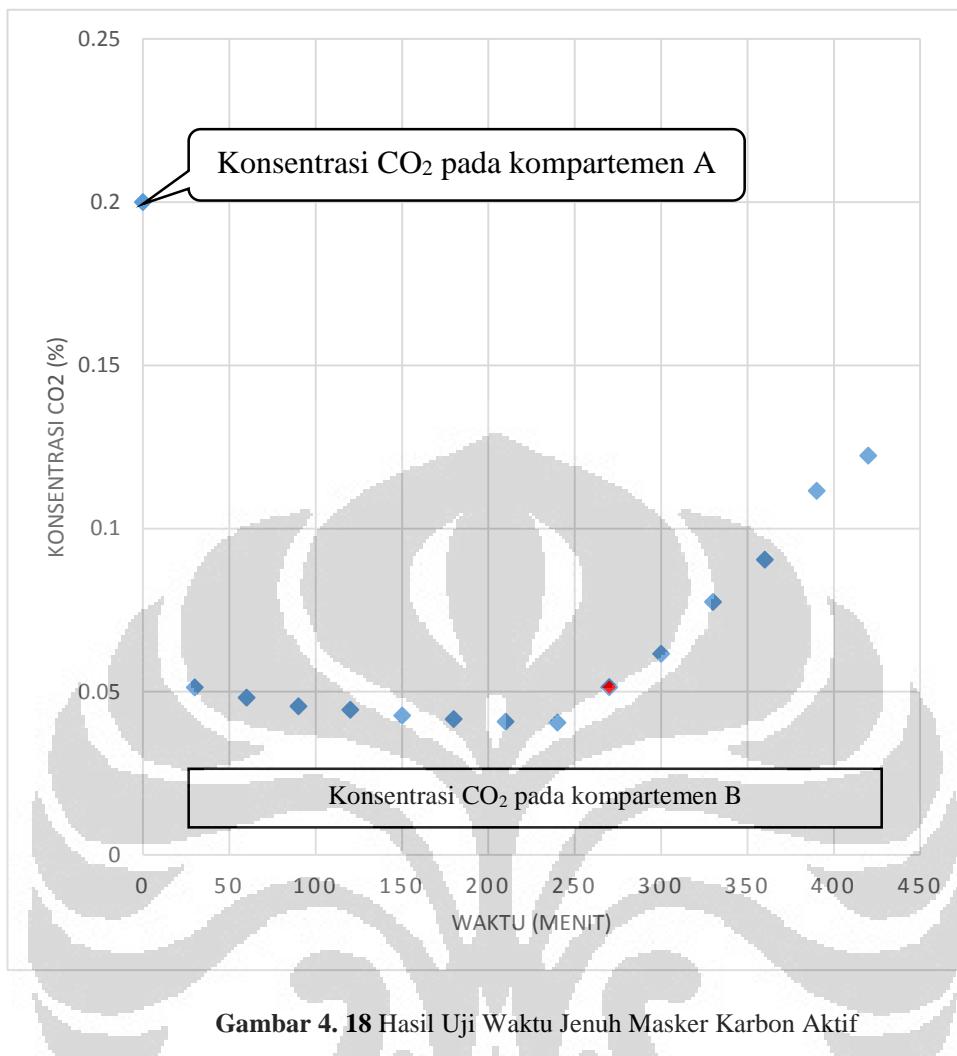


Gambar 4. 17 Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsentrasi Akhir CO₂

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.17 terlihat bahwa masker karbon aktif tetap mampu menyerap CO₂ walaupun terjadi kenaikan pada konsentrasi awal CO₂. Pada konsentrasi awal sebesar 2000 ppm masker karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi sebesar 70,00% dengan konsentrasi akhir sebesar 600 ppm. Pada konsentrasi awal sebesar 2500 ppm masker karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi sebesar 66,20% dengan konsentrasi akhir sebesar 845 ppm. Pada konsentrasi awal sebesar 3000 ppm masker karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi sebesar 62,53% dengan konsentrasi akhir sebesar 1124 ppm. Dari hasil ini terlihat bahwa konsentrasi akhir CO₂ meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal CO₂. Hal ini karena masker karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang sama sehingga semakin banyak CO₂ yang diserap pada satu waktu akan memiliki batasan tertentu. Selain itu peningkatan konsentrasi awal CO₂ menurunkan kemampuan adsorpsi karena peningkatan konsentrasi awal CO₂ membutuhkan laju alir yang lebih besar pula. Berdasarkan penelitian Mistar *et.al.* (2017), semakin besar laju alir pada proses adsorpsi maka semakin sebentar waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben, sehingga proses adsorpsi yang terjadi kurang maksimal. Hal itu terbukti pada penilitian ini dimana pada konsentrasi CO₂ awal sebesar 2000 ppm kemampuan adsorpsi masker karbon aktif sebesar 70,00% sedangkan pada konsentrasi CO₂ awal sebesar 3000 ppm kemampuan adsorpsi menurun menjadi 62,53%.

4.4.5. Uji Waktu Jenuh Masker Karbon Aktif

Uji ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama masa jenuh dari masker karbon aktif dalam mengadsorpsi CO₂. Uji ini dilakukan menggunakan masker karbon bermassa 6 gram, aktivasi kimia berperekat TEOS. Variasi masker ini dipilih karena memberikan hasil terbaik dalam uji adsorpsi CO₂ dibandingkan dengan variasi lainnya. Uji menggunakan konsentrasi awal CO₂ sebesar 2000 ppm, lalu mengambil data konsentrasi CO₂ yang terbaca pada CO₂ *analyzer* tiap selang waktu 30 menit. Uji dilakukan hingga tercapai kondisi masker karbon aktif jenuh, yaitu kondisi tidak dapat mengadsorp CO₂ lagi sehingga terjadi kenaikan konsentrasi CO₂ dari waktu sebelumnya. Setelah tercapai titik dimana konsentrasi CO₂ mengalami kenaikan maka titik inilah yang diambil sebagai waktu jenuh masker. Hasil uji waktu jenuh masker karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Hasil Uji Waktu Jenuh Masker Karbon Aktif

Dari grafik pada Gambar 4.18 terlihat bahwa masker karbon aktif menjadi jenuh pada rentang waktu antara 240 menit – 270 menit. Hal ini berarti waktu jenuh karbon aktif kurang lebih berkisar 4 jam. Hal ini akibatkan uji berlangsung pada konsentrasi CO₂ yang cukup besar yaitu 2000 ppm. Konsentrasi yang besar akan mempercepat proses jenuh dari karbon aktif karena semakin banyak pori – pori karbon aktif menyerap CO₂. Selain itu jumlah karbon aktif yang dicoating juga mempengaruhi waktu jenuh. Jumlah karbon aktif dan TEOS yang menempel pada masker karbon aktif ini sebesar 0,99 gram, jumlah yang tergolong sedikit sehingga mempercepat proses jenuh dari karbon aktif. Selama pengujian waktu jenuh masker dapat dihitung jumlah total CO₂ yang teradsorp dari kondisi awal hingga mencapai kondisi jenuh dengan menggunakan data pada Lampiran G dan persamaan :

$$\text{Jumlah } CO_2 \text{ yang teradsorp (ppm)} = C_{in} - C_{sat} \quad (4.2)$$

Dimana :

C_{in} = Konsentrasi awal CO₂ pada kompartemen A (ppm)

C_{sat} = Konsentrasi CO₂ ketika masker mencapai waktu jenuh (ppm)

$$\text{Jumlah CO}_2 \text{ yang teradsorp (ppm)} = 2000 \text{ ppm} - 513 \text{ ppm} = 1487 \text{ ppm}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari kondisi awal sampai mencapai kondisi jenuh, masker karbon aktif dengan variasi massa 6 gram, teraktifasi kimia, dan menggunakan perekat TEOS telah mengadopsi CO₂ sebanyak 1487 ppm dalam kurun waktu empat jam.

4.4.6. Perhitungan Adsorpsi CO₂ pada Kondisi *Real*

Perhitungan adsorpsi CO₂ pada kondisi *real* perlu dilakukan mengingat konsentrasi CO₂ pada atmosfer (400 ppm) tidak sebesar dengan yang dilakukan pada penelitian ini (2000 ppm). Perhitungan ini menggunakan data adsorpsi dari variasi masker terbaik yaitu massa 6 gram, teraktifasi kimia, dan menggunakan TEOS sebagai perekat. Dari data adsorpsi tersebut dihitung kapasitas adsorpsi polutan per massa karbon aktif yang *tercoating* selama satu jam. Data adsorpsi dapat dilihat pada Lampiran E, dan data massa karbon aktif yang *tercoating* pada masker dapat dilihat pada Tabel 4.9. Perhitungan kapasitas adsorpsi per massa karbon aktif dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{\text{Kapasitas adsorpsi}}{\text{massa karbon aktif}} = \left(\frac{C_{in} - C_{out}}{M} \right) \times \frac{1}{C_{in}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Dimana :

C_{in} = Konsentrasi awal CO₂ pada kompartemen A (ppm)

C_{sat} = Konsentrasi CO₂ ketika masker mencapai waktu jenuh (ppm)

M = Massa karbon aktif yang *tercoating* pada masker (gram)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas adsorpsi} &= \frac{2000 \text{ ppm} - 475 \text{ ppm}}{0,99 \text{ gram}} \\ &= 1540,40 \frac{\text{ppm}}{\text{gram}} \times \frac{1}{2000 \text{ ppm}} \times 100\% = 77,02 \% \text{ per gram} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa selama satu jam masker dengan variasi terbaik dapat mengadsorpsi polutan sebesar 1540,40 ppm untuk tiap gram karbon aktif yang *tercoating* pada masker atau sebesar 77,02 % polutan yang dapat teradsorp. Jika dihubungkan dengan kondisi *real* CO₂ diatmosfer (400 ppm) maka dapat digunakan persamaan :

$$\frac{C_{out\ real}}{C_{in\ real}} \times 100\% = \% \text{ adsorpsi per gram} \quad (4.3)$$

Dimana :

$C_{in\ real}$ = Konsentrasi awal CO₂ pada kondisi real (ppm)

$C_{out\ real}$ = Konsentrasi akhir CO₂ ketika masker mencapai waktu jenuh (ppm)

% adsorpsi per gram = 77,02 %

$$\frac{C_{out\ real}}{400\ ppm} \times 100\% = 77,02\%$$

$$C_{out\ real} = 309\ ppm$$

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kondisi *real* CO₂ karbon aktif dapat menurunkan konsentrasi CO₂ dari 400 ppm hingga mencapai 309 ppm, bahkan bisa lebih kecil dari 309 ppm. Sebagaimana telah disebutkan pada Sub Bab 4.4.4 bahwa semakin besar konsentrasi awal CO₂ maka semakin besar pula laju alir yang digunakan, pada kondisi *real* ini yang terjadi adalah sebaliknya karena konsentrasi awal CO₂ semakin kecil sehingga laju alir yang digunakan pun juga kecil yang mengakibatkan waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben akan lebih lama, sehingga proses adsorpsi yang terjadi pun menjadi lebih maksimal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan :

1. Karbon aktif dari tempurung kelapa yang dihasilkan memiliki luas permukaan sebesar $432,26 \text{ m}^2/\text{g}$ untuk aktivasi kimia, dan $323,57 \text{ m}^2/\text{g}$ untuk aktivasi fisika.
2. Masker karbon aktif dengan massa karbon aktif 6 gram, menggunakan aktivasi kimia, dan berperekat TEOS memiliki kinerja adsorpsi terbaik dengan presentase eliminasi sebesar 76,25%.
3. Masker karbon aktif yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki waktu jenuh sekitar 4 jam.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian pembuatan masker antipolutan berbasis karbon aktif dari limbah tempurung kelapa, maka terdapat saran – saran sebagai berikut untuk penelitian selanjutnya :

1. Melakukan modifikasi pada proses aktivasi karbon aktif.
2. Melakukan pembuatan masker karbon aktif dengan variasi bentuk .
3. Melakukan modifikasi terhadap ruang uji adsorpsi agar lebih vacuum dan mudah dalam pengoperasianya.
4. Melakukan perhitungan keekonomian pada proses pembuatan masker karbon aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- A.R., Hidayu, and N. Muda . 2016. *Preparation And Characterization Of Impregnated Activated Carbon From Palm Kernel Shell And Coconut Shell For CO₂ Capture*. Science Direct 148: 106 – 113.
- Arena N., Lee J., dan Clift Roland. 2016. *Life Cycle Assesment of Activated Carbon Production from Coconut Shell*. Journal of Cleaner Production 125: 68 – 77
- Diansari, Rahmita. 2015. *Pembuatan Masker Antipolutan Berbasis Karbon Aktif Dari Bambu Betung*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok
- Ello S.A., de Souza L.K.C., Trokourey A., dan Jaroniec M. 2013. *Coconut Shell Based Microporous Carbons for CO₂ Capture*. Microporous and Mesoporous Materials 180: 280 – 283.
- Ferial. 2015. *CO₂ Capai Rekor Tertinggi Selama 30 Tahun*. www. Ebtke.esdm.go.id. 20 Desember 2016 (online)
- Girrard, J.P. 1992. *Technology of Meat and Meat Production*. Elis Horwood: New York
- Harris, Farandy. 2016. *Pemanfaatan Limbah Bubuk Kopi Menjadi Karbon Aktif Sebagai Makser Antipolutan Berteknologi Absorbsi*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok
- Jamilatun, Siti dan Setyawan, Martono. 2014. *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair*. ISSN : 1963 – 6590.
- Kobayashi, A., Yoshida, M., Iizuka, K., dan Kamiya, H. 2011. *Effect of Surface Treatment by Using TEOS on Adhesive Force for Spherical Fused Silica*. J. Soc. Powder Technology : Japan
- Mistar, E.M., Sara T., dan Alfatah T. 2017. *Pengaruh Laju Alir Terhadap Kinetika Adsorpsi Methylene Blue dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Teraktivasi NAOH*. Fakultas Teknik .Universitas Serambi Mekkah
- Samiaji, Toni. 2011. *Gas CO₂ di Wilayah Indonesia*. Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer LAPAN

- Sudibandriyo, Mahmud. 2011. *High Pressure Adsorption of Methane and Hydrogen at 25 °C on Activated Carbon Prepared from Coal and Coconut Shell*. International Journal of Engineering & Technology. IJET-IJENS 11(2), 85 – 90.
- Suhardiyono, L. 1988. *Tanaman Kelapa, Budidaya, dan Pemanfaatanya*. Kanisius. Yogyakarta
- Taufiqqurokhman. 2015. *Uji Adsorpsi Co dan Penjernihan Asap pada Asap Kebakaran Menggunakan Karbon Aktif Teraktivasi Berbahan Dasar Tempurung Kelapa*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok
- Truong X., Hou S., Liu T., dan Han X. 2016. *A Potential natural energy absorption material – coconut mesocarp*. International Journal of Mechanical Science 115 – 116: 564 -573
- Verlina, Veby, O.W. 2014. *Potensi Arang Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Emisi Gas Co, No_x dan NO_x pada Kendaraan Bermotor*. Skripsi. Universitas Hassanudin. Makassar
- Winarno, Joko. 2015. *Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan dan Tahun Pembuatan*. Fakultas Teknik Mesin. Universitas Janabadra
- Yang, Kunbin, et al. 2010. *Preparation of high surface area activated carbon from coconut shell using microwave heating*. Bioresource Technology 101: 6163 – 6169.

LAMPIRAN

A. Hasil Pengujian BET Karbon Aktif Teraktivasi Kimia

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E) Unit 1 Serial #: 2041 Page 1

Sample: Karbon
Operator: Lab Kimia
Submitter: UNJ
File: C:\2020\DATA\000-115.SMP

Started: 3/2/2017 11:50:25AM
Completed: 3/2/2017 3:55:32PM
Report Time: 3/2/2017 3:55:36PM
Sample Mass: 0.2400 g
Cold Free Space: 83.8181 cm³
Ambient Temperature: 22.00 °C
Automatic Degas: Yes

Analysis Adsorptive: N₂
Analysis Bath Temp.: -195.837 °C
Thermal Correction: No
Warm Free Space: 27.3011 cm³ Measured
Equilibration Interval: 5 s
Low Pressure Dose: None

Summary Report

Surface Area
Single point surface area at P/P₀ = 0.274398018: 445.3597 m²/g

BET Surface Area: 432.2626 m²/g

Langmuir Surface Area: 679.0978 m²/g

t-Plot Micropore Area: 350.3502 m²/g

t-Plot External Surface Area: 81.9124 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 58.772 m²/g

Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores
less than 211.6994 nm diameter at P/P₀ = 0.990872326: 0.258053 cm³/g

t-Plot micropore volume: 0.176808 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores
between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.067193 cm³/g

Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A by BET): 2.38793 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 4.5732 nm

Freundlich

Qm-C: 100.1194 ± 1.3120 cm³/g STP

n: 15.7802 ± 1.3185

Temkin

q_alpha/Qm: 0.075525 ± 0.007258 kJ/mol-(cm³/g STP)

A: 74402.0132 ± 89959.9990 mmHg

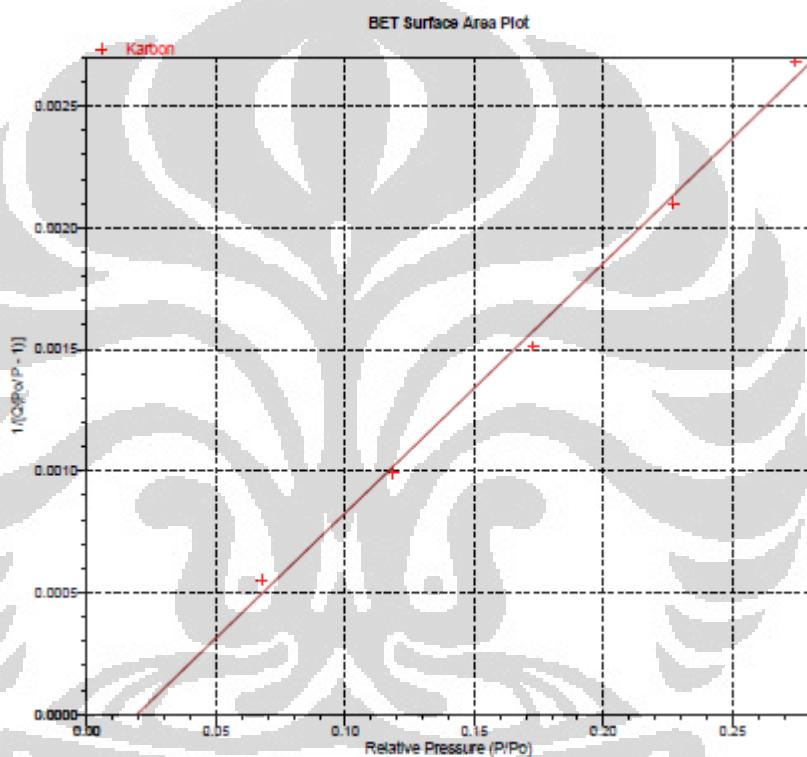
Nanoparticle Size
Average Particle Size: 13.8805 nm

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E) Unit 1 Serial #: 2041 Page 10

Sample: Karbon
Operator: Lab Kimia
Submitter: UNJ
File: C:\2020\DATA\000-115.SMP

Started: 3/2/2017 11:50:25AM
Completed: 3/2/2017 3:55:32PM
Report Time: 3/2/2017 3:55:36PM
Sample Mass: 0.2400 g
Cold Free Space: 63.8181 cm³
Ambient Temperature: 22.00 °C
Automatic Degas: Yes

Analysis Adsorptive: N2
Analysis Bath Temp.: -195.837 °C
Thermal Correction: No
Warm Free Space: 27.3011 cm³ Measured
Equilibration Interval: 5 s
Low Pressure Dose: None



B. Hasil Pengujian BET Karbon Aktif Teraktivasi Fisika

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E) Unit 1 Serial #: 2041 Page 1

Sample: Karbon
Operator: Lab Kimia
Submitter: UNJ
File: C:\2020\DATA\000-116.SMP

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Started: 3/3/2017 7:51:26AM | Analysis Adsorptive: N2 |
| Completed: 3/3/2017 3:42:43PM | Analysis Bath Temp.: -195.828 °C |
| Report Time: 3/3/2017 3:44:43PM | Thermal Correction: No |
| Sample Mass: 0.2900 g | Warm Free Space: 25.3372 cm³ Measured |
| Cold Free Space: 81.3926 cm³ | Equilibration Interval: 5 s |
| Ambient Temperature: 22.00 °C | Low Pressure Dose: None |
| Automatic Degas: Yes | |

Summary Report
Surface Area
Single point surface area at P/P₀ = 0.270810508: 334.4407 m²/g
BET Surface Area: 323.5732 m²/g
Langmuir Surface Area: 471.5626 m²/g
t-Plot Micropore Area: 266.1411 m²/g
t-Plot External Surface Area: 37.4321 m²/g
BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 24.755 m²/g

Pore Volume
Single point adsorption total pore volume of pores
less than 180.0501 nm diameter at P/P₀ = 0.989243918: 0.167519 cm³/g
t-Plot micropore volume: 0.145071 cm³/g
BJH Adsorption cumulative volume of pores
between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.016073 cm³/g

Pore Size
Adsorption average pore width (4V/A by BET): 2.07086 nm
BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 2.5971 nm

Freundlich
Qm-C: 89.8991 ± 0.2909 cm³/g STP
m: 35.0701 ± 1.6087

Temkin
q-alpha/Qm: 0.221902 ± 0.009099 kJ/mol·(cm³/g STP)
A: 24262151512578.3047 ± 31179655887924.0625 mmHg

Nanoparticle Size
Average Particle Size 18.5429 nm

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

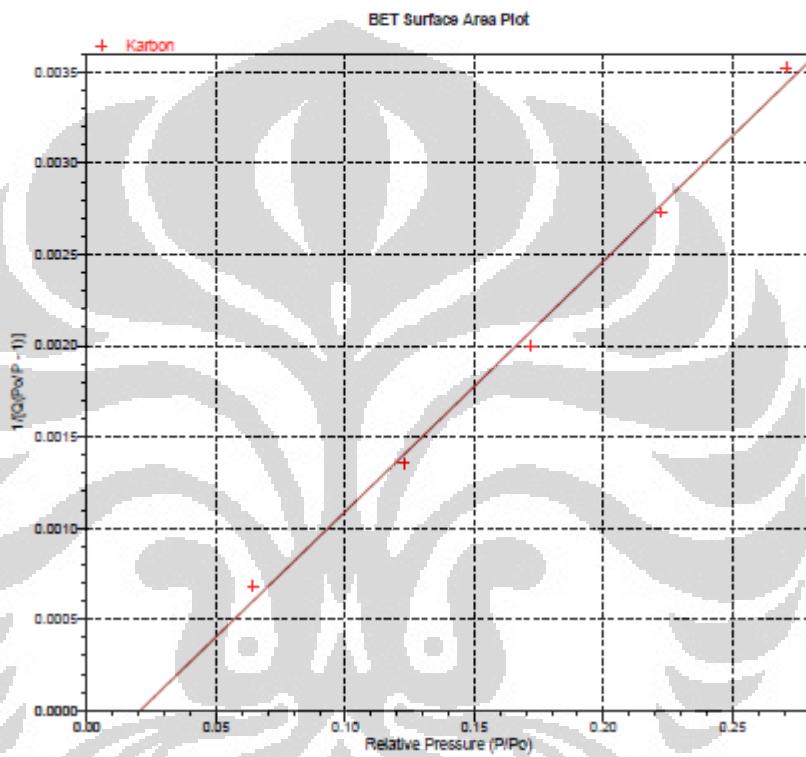
Unit 1

Serial #: 2041

Page 10

Sample: Karbon
Operator: Lab Kimia
Submitter: UNU
File: C:\2020\DATA\000-116.SMP

Started: 3/3/2017 7:51:26AM Analysis Adsorptive: N2
Completed: 3/3/2017 3:42:43PM Analysis Bath Temp.: -195.828 °C
Report Time: 3/3/2017 3:44:43PM Thermal Correction: No
Sample Mass: 0.2900 g Warm Free Space: 25.3372 cm³ Measured
Cold Free Space: 81.3926 cm³ Equilibration Interval: 5 s
Ambient Temperature: 22.00 °C Low Pressure Dose: None
Automatic Degas: Yes



C. Data Uji Pengaruh Perbedaan Massa Karbon Aktif

| FISIKA 2 gram Silicate | | |
|-------------------------------|---------|--------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 800 | 0.08 |
| 20 | 756 | 0.0756 |
| 30 | 731 | 0.0731 |
| 40 | 719 | 0.0719 |
| 50 | 704 | 0.0704 |
| 60 | 695 | 0.0695 |
| % Adsorpsi | | 65.25 |

| FISIKA 4 gram Silicate | | |
|-------------------------------|---------|-------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 749 | 0.0749 |
| 20 | 703 | 0.0703 |
| 30 | 677 | 0.0677 |
| 40 | 661 | 0.0661 |
| 50 | 658 | 0.0658 |
| 60 | 654 | 0.0654 |
| % Adsorpsi | | 67.3 |

| FISIKA 6 gram Silicate | | |
|-------------------------------|---------|--------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 687 | 0.0687 |
| 20 | 665 | 0.0665 |
| 30 | 627 | 0.0627 |
| 40 | 613 | 0.0613 |
| 50 | 605 | 0.0605 |
| 60 | 600 | 0.06 |
| % Adsorpsi | | 70.00 |

D. Data Uji Pengaruh Jenis Aktivasi

| FISIKA 2 gram Silicate | | |
|-------------------------------|---------|--------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 800 | 0.08 |
| 20 | 756 | 0.0756 |
| 30 | 731 | 0.0731 |
| 40 | 719 | 0.0719 |
| 50 | 704 | 0.0704 |
| 60 | 695 | 0.0695 |
| % Adsorpsi | | 65.25 |

| KIMIA 2 gram Silicate | | |
|------------------------------|---------|-------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 741 | 0.0741 |
| 20 | 699 | 0.0699 |
| 30 | 650 | 0.065 |
| 40 | 641 | 0.0641 |
| 50 | 636 | 0.0636 |
| 60 | 630 | 0.063 |
| % Adsorpsi | | 68.5 |

E. Data Uji Pengaruh Perbedaan Jenis Perekat

| KIMIA 6 gram Silicate | | |
|------------------------------|---------|-------------|
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 667 | 0.0667 |
| 20 | 603 | 0.0603 |
| 30 | 565 | 0.0565 |
| 40 | 541 | 0.0541 |
| 50 | 535 | 0.0535 |
| 60 | 532 | 0.0532 |
| % Adsorpsi | | 73.4 |

| KIMIA 6 gram TEOS | | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|
| menit | ppm CO ₂ | % CO ₂ |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 611 | 0.0611 |
| 20 | 563 | 0.0563 |
| 30 | 504 | 0.0504 |
| 40 | 482 | 0.0482 |
| 50 | 477 | 0.0477 |
| 60 | 475 | 0.0475 |
| % Adsorpsi | | 76.25 |

F. Data Uji Pengaruh Konsentrasi Awal CO₂

| 2000 ppm CO₂ | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| FISIKA 6 gram Silicate | | |
| menit | ppm CO ₂ | % CO ₂ |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 10 | 687 | 0.0687 |
| 20 | 665 | 0.0665 |
| 30 | 627 | 0.0627 |
| 40 | 613 | 0.0613 |
| 50 | 605 | 0.0605 |
| 60 | 600 | 0.0600 |
| % Adsorpsi | | 70.00 |

| 2500 ppm CO₂ | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| FISIKA 6 gram Silicate | | |
| menit | ppm CO ₂ | % CO ₂ |
| 0 | 2500 | 0.25 |
| 10 | 1004 | 0.1004 |
| 20 | 930 | 0.093 |
| 30 | 883 | 0.0883 |
| 40 | 868 | 0.0868 |
| 50 | 852 | 0.0852 |
| 60 | 845 | 0.0845 |
| % Adsorpsi | | 66.2 |

| 3000 ppm CO2 | | |
|------------------------|---------|--------|
| FISIKA 6 gram Silicate | | |
| menit | ppm CO2 | % CO2 |
| 0 | 3000 | 0.3 |
| 10 | 1522 | 0.1522 |
| 20 | 1424 | 0.1424 |
| 30 | 1303 | 0.1303 |
| 40 | 1195 | 0.1195 |
| 50 | 1166 | 0.1166 |
| 60 | 1124 | 0.1124 |
| % Adsorpsi | | 62.53 |

G. Data Uji Waktu Jenuh Masker Karbon Aktif

| Waktu Jenuh | | |
|-------------------|---------|--------|
| KIMIA 6 gram TEOS | | |
| menit | ppm co2 | % co2 |
| 0 | 2000 | 0.2 |
| 30 | 513 | 0.0513 |
| 60 | 482 | 0.0482 |
| 90 | 455 | 0.0455 |
| 120 | 444 | 0.0444 |
| 150 | 427 | 0.0427 |
| 180 | 416 | 0.0416 |
| 210 | 408 | 0.0408 |
| 240 | 405 | 0.0405 |
| 270 | 513 | 0.0513 |
| 300 | 616 | 0.0616 |
| 330 | 775 | 0.0775 |
| 360 | 904 | 0.0904 |
| 390 | 1115 | 0.1115 |
| 420 | 1223 | 0.1223 |