



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH WAKTU REAKSI TERHADAP PRODUKSI NANOKARBON
MELALUI DEKOMPOSISI KATALITIK METANA DARI KARBON
AKTIF KULIT BUAH PISANG**

SKRIPSI

**IMIA RIBKA
0906604211**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
Juni 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH WAKTU REAKSI TERHADAP PRODUKSI NANOKARBON
MELALUI DEKOMPOSISI KATALITIK METANA DARI KARBON
AKTIF KULIT BUAH PISANG**

SKRIPSI


Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**IMIA RIBKA
0906604211**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
Juni 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Imia Ribka
NPM : 0906604211
Tanda Tangan : 
Tanggal : 28 Juni 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Imia Ribka
NPM : 0906604211
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Produksi Nanokarbon
Melalui Dekomposisi Katalitik Metana dari Karbon Aktif
Kulit Buah Pisang

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT

Penguji I : Dr. Dianursanti, ST., MT

Penguji II : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., PhD

Penguji III : Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih, karunia dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi ini. Skripsi ini merupakan syarat kelulusan yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa Program S1 Departemen Teknik Kimia. Judul skripsi ini adalah **“Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Produksi Nanokarbon Melalui Dekomposisi Katalitik Metana dari Karbon Aktif Kulit Buah Pisang”**.

Pada saat penyusunan makalah skripsi ini penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis sampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Bambang Heru Susanto ST., MT selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
4. Segenap dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberikan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
5. Keluarga penulis terutama Papa, Mama, Abang dan Adik atas pengertian serta dukungan moral, material dan doanya yang tak terhingga.
6. Kang Jajat dan Mang Ijal selaku Teknisi Laboratorium yang telah membantu secara teknis.
7. Sahabatku Domikado: Dominikus Benny, Indika Sunarko, Kristin Halisa Fau dan Marlina Tamba yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
8. Arini, Bongguk, Fita, Ichiko, Ira, Puji, Wika, Yuniar dan teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 2009 atas pertemanan dan canda tawa selama ini.

9. Teman-teman RPKA: Najma, Indri, Dian, Inggid, Kanya, Bernadet, Yeni, Eldo, Adit, Erfan, Yosmarina, Gita, Lolita yang telah saling membantu dan memberikan semangat serta inspirasi selama penelitian.

Penulis menyadari terdapat ketidaksempurnaan dalam makalah ini oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi kebaikan bersama. Akhir kata penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak yang berkepentingan.

Depok, 28 Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Imia Ribka
NPM : 0906604211
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 Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Produksi Nanokarbon Melalui Dekomposisi Katalitik Metana Dari Karbon Aktif Kulit Buah Pisang”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif itu Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : 28 Juni 2012

Yang Menyatakan,



(Imia Ribka)

ABSTRAK

Nama : Imia Ribka
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Produksi Nanokarbon Melalui Dekomposisi Katalitik Metana dari Karbon Aktif Kulit Buah Pisang

Nanokarbon adalah material karbon yang diproduksi dengan struktur dan ukuran nanometer. Dekomposisi katalitik metana merupakan salah satu sintesis nanokarbon dengan metode *CVD (Chemical Vapour Deposition)* yang cukup ekonomis untuk menghasilkan nanokarbon. Penelitian ini dilakukan menggunakan katalis Fe dan karbon aktif sebagai substrat. Karbon aktif yang digunakan dibuat dari kulit buah pisang dengan menggunakan zat aktivasi KOH yang dapat memberikan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar. Katalis dan karbon aktif kulit buah pisang dipreparasi dengan menggunakan metode impregnasi. Katalis dan karbon aktif yang telah diimpregnasi direaksikan dengan metana pada temperatur 700°C dan tekanan 1 atm dengan waktu reaksi selama 60, 120, dan 300 menit. Hasil penelitian menunjukkan nanokarbon yang terbentuk pada 60 menit adalah *carbon onion quasi-sphere* dengan konversi metana sebesar 14%, pada 120 menit membentuk CNT dengan konversi metana sebesar 18% dan pada 300 menit terjadi peningkatan pembentukan nanokarbon berkualitas rendah dengan konversi metana sebesar 44%.

Kata kunci :
Nanokarbon, Dekomposisi Katalitik Metana, Karbon Aktif Kulit Buah Pisang.

ABSTRACT

Name : Imia Ribka
Study Program : Chemical Engineering
Title : Effect of Reaction Time to Production of Nanocarbon by
Catalytic Decomposition of Methane from Banana Peel
Activated Carbon

Nanocarbon is a carbon material produced by the nanometer structure and size. Catalytic decomposition of methane is one of the economic methods for synthesis nanocarbon by CVD (Chemical Vapour Deposition) to produce nanocarbon. The research was conducted using the catalyst Fe and activated carbon as catalyst support. Activated carbon was made from banana peel by using KOH as activating agent which can provide a large surface area. Catalyst Fe and banana peel activated carbon prepared by impregnation method. Catalyst and activated carbon which has been impregnated is reacted with methane which the reaction temperature of 700°C and atmospheric pressure during 60, 120 and 300 minutes reaction times. The results showed nanocarbon formed at 60 minute reaction time is carbon onions quasi-sphere with methane conversion of 14%, at 120 minute reaction time is CNT with methane conversion of 18% and at 300 minute reaction time an increase the formation of nanocarbon low quality with methane conversion of 44%.

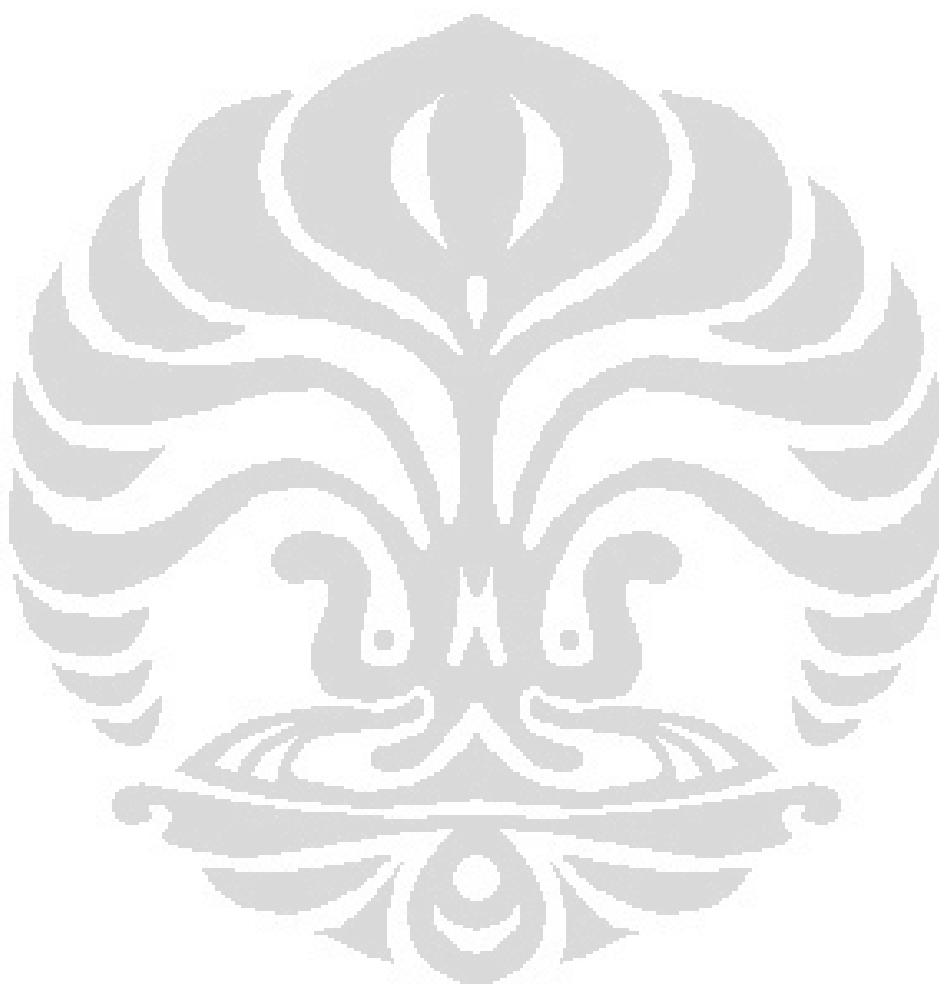
Keywords:

Nanocarbon, Catalytic decomposition of methane, Activated Carbon from Banana Peel.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Nanokarbon.....	4
2.2 Aplikasi Nanokarbon.....	8
2.3 Sintesis Nanokarbon.....	10
2.4 Dekomposisi Katalitik Metana.....	12
2.4.1 Mekanisme Reaksi Dekomposisi Katalitik Metana.....	13
2.5 Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Pertumbuhan Nanokarbon.....	15
2.5.1 Suhu Reaksi.....	15
2.5.2 Waktu Reaksi.....	16
2.5.3 Tekanan Operasi.....	16
2.6 Karbon Aktif dari Kulit Buah Pisang.....	16
2.7 Produksi Nanokarbon dengan Dekomposisi Katalitik Metana.....	18
2.8 Metode Karakterisasi.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Tahapan Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian.....	22
3.2.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Buah Pisang.....	23
3.3.2 Preparasi Katalis.....	26
3.3.3 Pembuatan Nanokarbon dengan Dekomposisi Katalitik Metana.....	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Karbon Aktif.....	29
4.1.1 Karakterisasi Karbon Aktif.....	29

4.2 Nanokarbon.....	31
4.2.1 Preparasi Katalis.....	31
4.2.2 Produksi Nanokarbon.....	32
4.2.3 Karakterisasi Produk Nanokarbon.....	36
BAB 5 KESIMPULAN dan SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	47

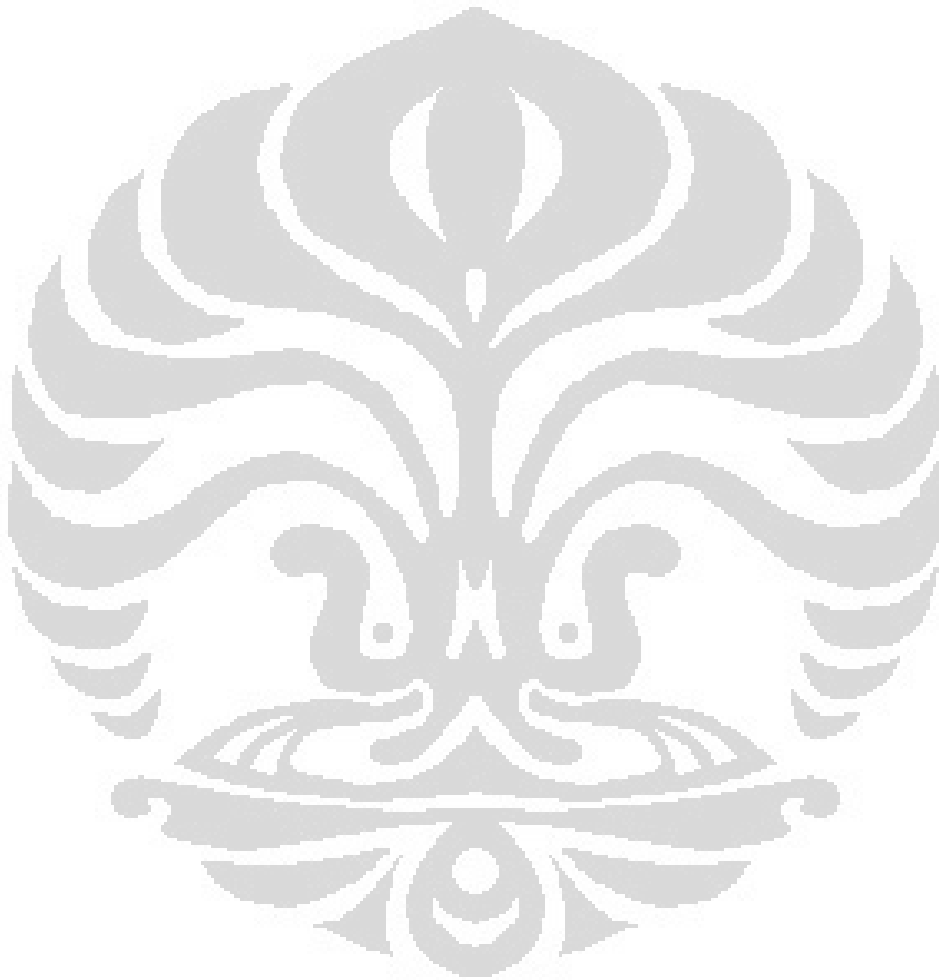


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Molekul <i>Buckminsterfullerene</i>	4
Gambar 2.2	<i>Carbon Onions</i> (a) <i>Hollow Core</i> (b) <i>Quasi-Sphere</i>	5
Gambar 2.3	(a) <i>armchair type</i> (b) <i>zig-zag type</i> (c) <i>chiral type</i>	6
Gambar 2.4	Beragam Struktur Nanokarbon.....	7
Gambar 2.5	Perbandingan Diameter Terhadap Nanokarbon yang Diperoleh.....	8
Gambar 2.6	Skema Arch-Discharge.....	10
Gambar 2.7	Skema <i>Laser Ablation</i>	11
Gambar 2.8	Skema <i>Chemical Vapor Deposition</i>	12
Gambar 2.9	Mekanisme Reaksi Permukaan Dekomposisi Katalitik Metana.....	14
Gambar 2.10	Mekanisme Pertumbuhan <i>Carbon Nanotube</i>	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2	(a) Kulit Buah Pisang Sebelum diKeringkan, (b) Kulit Buah Pisang Setelah diKeringkan.....	23
Gambar 3.3	Hasil Karbonisasi Kulit Buah Pisang.....	24
Gambar 3.4	(a) Campuran Karbon Aktif dengan KOH (b) Hasil Penyaringan.....	24
Gambar 3.5	Hasil Aktivasi Karbon Aktif.....	24
Gambar 3.6	(a) Hasil Pencucian dengan HCl 0,2 N (b) Hasil Pencucian dengan Air Suling.....	25
Gambar 3.7	Hasil Penyaringan 400 mesh.....	26
Gambar 4.1	(a) Karbon Aktif Hasil Percobaan, (b) Karbon Aktif Mopoung, 2008.....	30
Gambar 4.2	Pola XRD (a) Sebelum diaktivasi, (b) Setelah diaktivasi.....	31
Gambar 4.3	Konversi Metana Pada Reaksi 60, 120 dan 300 Menit.....	33
Gambar 4.4	Konversi Metana Pada Reaksi 60 Menit (Karbon Aktif Kalsinasi).....	33
Gambar 4.5	Kemurnian Hidrogen Pada Reaksi 60, 120 dan 300 Menit.....	34
Gambar 4.6	Kemurnian Hidrogen Pada Reaksi 60 Menit (Karbon Aktif Kalsinasi).....	34
Gambar 4.7	Yield Karbon Pada Reaksi 60, 120 dan 300 Menit.....	35
Gambar 4.8	Hasil TEM Pada 700°C Selama 60 Menit (a) Hasil Percobaan (b) Penelitian Sivakumar, 2011.....	36
Gambar 4.9	Hasil TEM Pada 700°C Selama 120 menit.....	36
Gambar 4.10	Hasil TEM Pada 700°C Selama 300 menit.....	36
Gambar 4.11	Hasil (a) FE-SEM, (b) SEM-EDS, (c) TEM Nanokarbon Pada 800°C.....	39
Gambar 4.12	Hasil SEM-EDS Pada 800°C Selama 30 menit.....	39
Gambar 4.13	Hasil TEM pada 700°C (Karbon Aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu).....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Metode CVD Yang Menggunakan Karbon Aktif Sebagai Substrat Pertumbuhan Nanokarbon.....	18
Tabel 3.1	Alat-alat untuk pembuatan karbon aktif.....	22
Tabel 3.2	Alat-alat untuk preparasi katalis.....	22
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Luas Permukaan.....	29



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi manusia saat ini sudah sampai pada taraf nanoteknologi. Salah satu produk dari nanoteknologi adalah nanokarbon. Nanokarbon adalah satu rantai atom karbon yang berikatan secara heksagonal berbentuk bulat maupun silinder tabung yang berskala nanometer. Berdasarkan bentuknya, nanokarbon terbagi menjadi tiga, yaitu *fullerene* yang berbentuk bulat, *nanotube* yang berbentuk pipa, dan *nanofiber* yang berbentuk serabut tidak teratur (Pettersson, 1999).

Produksi nanokarbon dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu *laser ablation*, *electric arc discharge*, dan *chemical vapour deposition* (CVD) (Nur, 2008). Produksi nanokarbon dengan metode *chemical vapor deposition* dan berbahan baku metana dikenal dengan dekomposisi katalitik metana. Adapun reaksi dekomposisi katalitik metana adalah sebagai berikut:



Dekomposisi katalitik metana merupakan metode yang menjanjikan untuk menghasilkan nanokarbon karena lebih ekonomis, mudah dalam preparasi dan mudah dikontrol.

Reaksi dekomposisi katalitik metana menggunakan katalis logam transisi seperti Fe, Ni, Co, Mo dan lain-lain untuk mempercepat reaksi. Partikel katalis harus didukung pada sebuah substrat untuk pertumbuhan nanokarbon dan substrat yang dapat digunakan adalah karbon aktif. Karbon aktif digunakan sebagai substrat karena ketersediaannya yang banyak dan lebih murah (AlSaadi, 2011). Karbon aktif yang akan digunakan berasal dari kulit buah pisang. Kulit buah pisang dapat dijadikan sebagai karbon aktif karena kulit buah pisang mengandung karbon sekitar 41.37% (Mopoung, 2008). Dan menurut data Badan Pusat Statistik pada tahun 2010 Indonesia memproduksi lebih dari 5 juta ton buah pisang. Banyaknya jumlah produksi ini maka banyak pula kulit buah pisang yang terbuang begitu saja menjadi limbah. Karbon aktif dari kulit buah pisang ini diaktivasi dengan menggunakan zat aktivator KOH. KOH dipilih sebagai

aktivator karena dapat memberikan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar. Karbon aktif dan katalis dipreparasi dengan menggunakan metode impregnasi yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan aktif dari katalis.

Pada penelitian ini akan diteliti penggunaan karbon aktif yang berasal dari kulit buah pisang sebagai substrat baru untuk mendukung katalis logam Fe untuk pertumbuhan nanokarbon dan metana sebagai sumber karbon pada suhu reaksi 700 dengan waktu reaksi 60, 120 dan 300 menit. Waktu reaksi ini merupakan waktu reaksi terbaik yang ada di Departemen Teknik Kimia. Waktu reaksi ini sangat penting karena semakin lama waktu reaksi, maka kesempatan untuk reaktan dan katalis bereaksi semakin besar sehingga semakin banyak produk nanokarbon yang akan dihasilkan. Hasil yang didapatkan akan dikarakterisasi dengan menggunakan BET dan XRD untuk karbon aktif dan TEM untuk nanokarbon.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah berapakah waktu reaksi terbaik untuk menghasilkan nanokarbon dengan menggunakan substrat karbon aktif kulit buah pisang.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh waktu reaksi yang terbaik untuk memproduksi nanokarbon dengan menggunakan substrat karbon aktif kulit buah pisang.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini adalah :

1. Kulit buah pisang sebagai bahan baku untuk membuat karbon aktif
2. Preparasi katalis dengan karbon aktif menggunakan metode impregnasi
3. Metana (CH_4) sebagai sumber karbon
4. Kondisi operasi pada tekanan atmosferik (1atm) dan suhu ruangan.
5. Suhu reaksi yang digunakan 700°C

6. Waktu reaksi yang digunakan 60, 120 dan 300 menit
7. Karakterisasi karbon aktif dengan menggunakan BET dan XRD
8. Karakterisasi nanokarbon dengan menggunakan TEM

1.5 Sitematika Penelitian

BAB 1 Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Berisi tinjauan literatur mengenai nanokarbon, aplikasi nanokarbon, sintesis nanokarbon, tinjauan literatur mengenai dekomposisi katalitik metana, pengaruh kondisi operasi terhadap pertumbuhan nanokarbon, tinjauan literatur karbon aktif kulit buah pisang, tinjauan literatur mengenai produksi nanokarbon dengan dekomposisi metana dan metode karakterisasi.

BAB 3 Metode Penelitian

Berisi penjelasan mengenai prosedur pembuatan karbon aktif dari kulit buah pisang, preparasi katalis dengan metode impregnasi, dan produksi nanokarbon dengan metode dekomposisi metana.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Berisi hasil penelitian dan pembahasan preparasi katalis dan produksi nanokarbon dengan metode dekomposisi metana serta karakterisasi dari karbon aktif dan nanokarbon yang dihasilkan.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

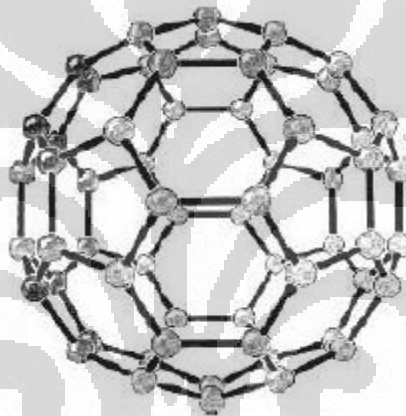
Berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanokarbon

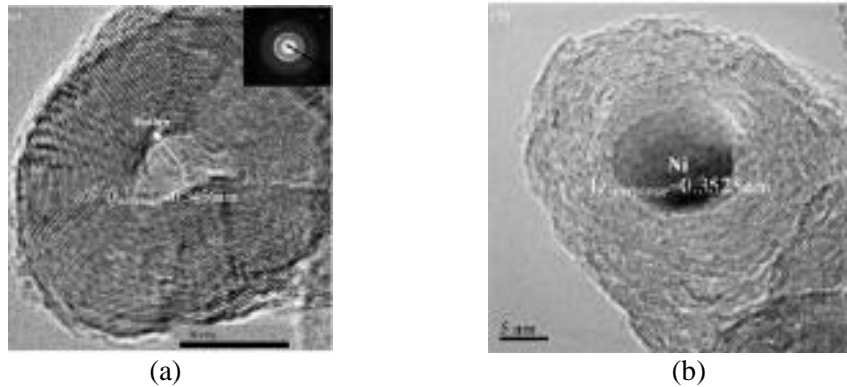
Nanokarbon didefinisikan sebagai material karbon yang diproduksi dengan ukuran dan struktur berskala nanometer. Ada beberapa bentuk susunan unsur karbon diantaranya:

1. *Fullerene* atau *buckminsterfullerene* atau disebut juga *bucky ball*, yaitu lembaran grafit yang membentuk bola (Gambar 2.1). *Fullerene* terdiri dari karbon-karbon sp^2 dan sp^3 , contohnya adalah C_{60} , yaitu *fullerene* yang terdiri dari 12 cincin pentana dan 20 cincin heksana (Rao, 2001).



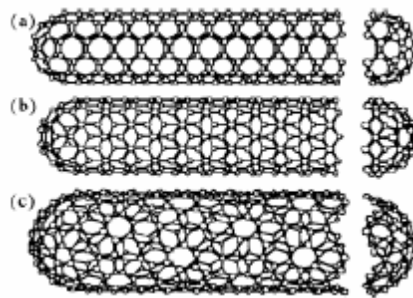
Gambar 2.1 Struktur Molekul *Buckminsterfullerene* (Rao, 2001)

2. *Carbon onions* yang terdiri dari beberapa lapisan karbon yang konsentrik di sekeliling inti kosong (*hollow core*). Diameter *hollow core* dari *carbon onions* < 5 nm dan sangat tidak teratur (Gambar 2.2a). Bentuk *carbon onions* sangat bervariasi tergantung bentuk katalis: lapisan grafit yang konsentrik seperti bola (*quasi-spherical*) (Gambar 2.2b) dan lembaran grafit yang digulung mengelilingi partikel bola dan menunjukkan bulatan yang sama (Wulan, 2011).



Gambar 2.2 Carbon Onions (a) *Hollow Core* (b) *Quasi-Sphere* (He, 2006)

3. Karbon nanofilamen adalah nanokarbon berbentuk filamen. Secara umum, karbon nanofilamen terdiri dari *Carbon nanofiber* (CNF) dan *Carbon nanotube* (CNT). Bentuk-bentuk nanofilamen secara umum adalah:
 - a. *Carbon nanotube* (CNT) ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991 (Iijima, 2002). CNT merupakan lembaran grafit yang membentuk tabung atau silinder. Lembaran grafit ini tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon (Leone, 2006). Berdasarkan jumlah penyusun dindingnya, CNT dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Singel Walled Carbon Nanotube* (SWCNT) dan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT).
 - *Single Walled Carbon Nanotube* (SWCNT)
 SWCNT memiliki satu lapisan grafit dengan diameter antara 0,4 nm-2,5 nm dengan panjang beberapa mikrometer sampai beberapa millimeter (Gambar 2.4(a)). CNT jenis SWCNT memiliki sifat-sifat yang lebih unggul dari pada bentuk MWCNT karena diameternya yang sangat kecil dan banyak diaplikasikan sebagai *Hydrogen Storage* untuk *fuel cell*. CNT jenis SWCNT memiliki 3 jenis bentuk struktur yang berbeda antara lain: *armchair type*, *zig-zag type*, dan *chiral type* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



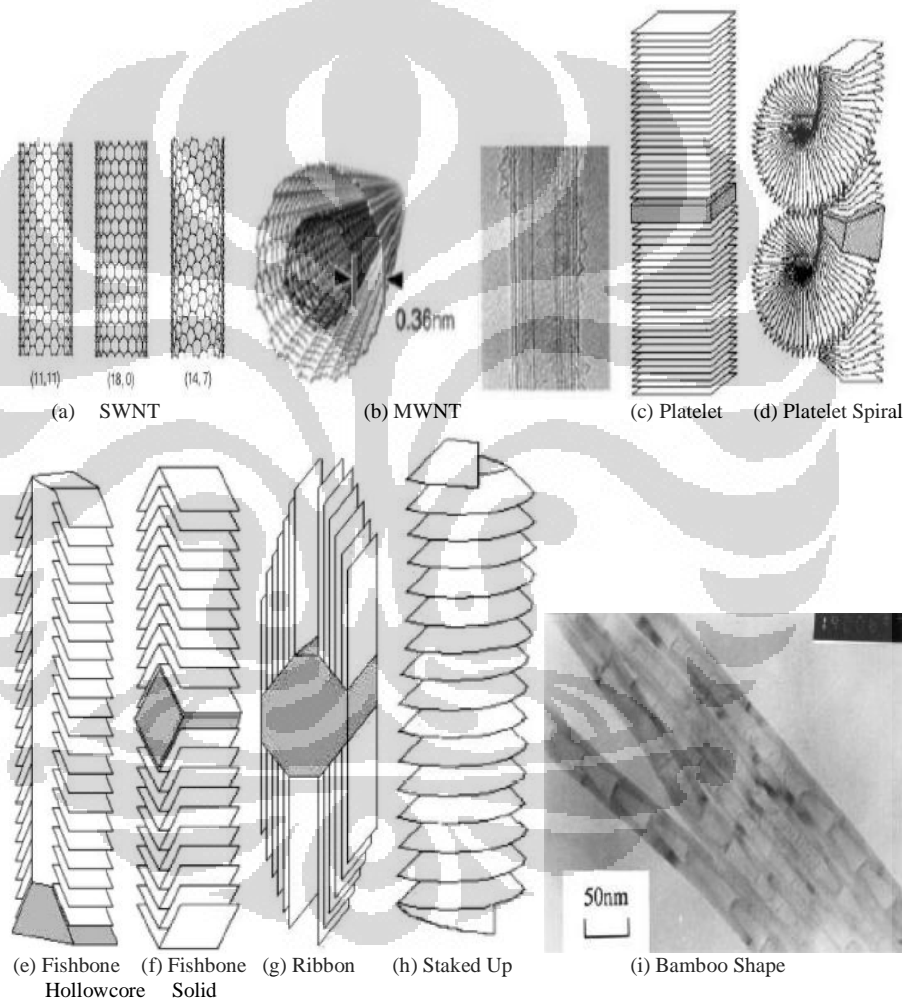
Gambar 2.3 (a) *armchair type* (b) *zig-zag type* (c) *hiral type* (Daenen, 2003)

- *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT)

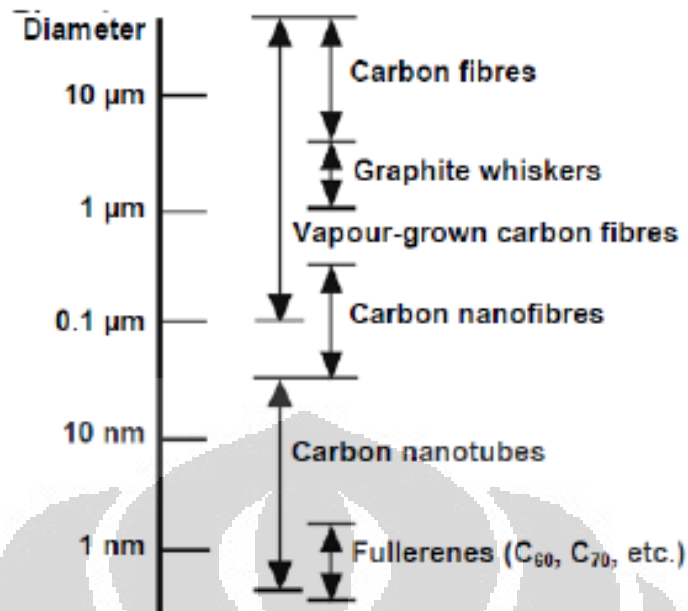
MWCNT merupakan SWCNT yang tersusun secara aksial konsentrik. Panjang dan struktur MWCNT berbeda dengan SWCNT dan karakteristiknya pun berbeda. Jarak anatar satu SWCNT dengan yang lainnya adalah sekitar 0,36 nm (Gambar 2.4(b)). Lapisan grafit pada MWCNT bervariasi jumlahnya dari dua hingga beberapa puluh lapisan, sehingga memungkinkan diameternya mencapai 100 nm. MWCNT lebih mudah diproduksi dan biaya produksinya lebih rendah. Biaya produksi SWCNT lebih tinggi karena diperlukan biaya tambahan untuk pemurniannya.

- Platelet carbon nanofiber*, berupa lapisan grafit kecil yang tegak lurus dengan arah aksial fiber (Gambar 2.4(c)). Nanofiber ini harus memiliki hidrogen atau atom lainnya dalam jumlah tak terbatas untuk stabilisasi piringan (*plate*). *Platelet carbon nanofiber* dapat pula berbentuk spiral (Gambar 2.4(d)). Biasanya, partikel padatan berada pada bagian tengah fiber (Gullon, 2006).
- Fishbone carbon nanofibers*, dimana lapisan grafit memiliki kemiringan dari sumbu aksialnya. Seperti *platelet*, juga dibutuhkan hidrogen untuk menstabilkan bagian ujungnya. *Fishbone carbon nanofibers* dapat berinti kosong (*hollow core*) maupun berinti padatan (*solid core*) (Gambar 2.4(e) dan (f)) (Gullon, 2006).

- d. *Ribbon carbon nanofibers* berupa lapisan grafit yang lurus dan tidak tergulung yang posisinya sejajar dengan sumbu aksial fiber (Gambar 2.4(g)) (Gullon, 2006).
- e. *Stacked cup carbon nanofibers*, berupa lapisan spiral grafit yang kontinu sepanjang sumbu aksial fiber (Gambar 2.4(h)) (Gullon, 2006).
- f. *Bamboo-shaped carbon filament*, berbentuk seperti bambu, dimana banyak terdapat ruang kosong dan sambungan-sambungan seperti yang terlihat pada Gambar 2.4(i).



Gambar 2.4 Beragam Struktur Nanokarbon (Rao, 2001;He, 2006; Gullon,2006)



Gambar 2.5 Perbandingan Diameter Terhadap Nanokarbon yang diperoleh (Shaffer, 2009)

Produk CNT umumnya dapat terbentuk diantara rentang suhu reaksi 5000C-8000C (See,2006) dengan diameter berkisar 20-150 nm (Lee and Park,2002) sedangkan CNF dapat terbentuk pada suhu reaksi 5000C-7000C (Sui,2009) dengan diameter berkisar 50-200 nm (Li,2004). Perbandingan diameter terhadap nanokarbon dapat dilihat pada Gambar 2.5.

2.2 Aplikasi Nanokarbon

Nanokarbon banyak diaplikasikan dan dikembangkan di dunia teknologi, antara lain sebagai berikut:

a. Penyimpan energi

Bahan-bahan yang mengandung karbon biasanya digunakan sebagai elektroda pada *fuel cell*, baterai, dan aplikasi elektrokimia lainnya. Salah satu nanokarbon yang memiliki ukuran yang kecil, topologi permukaan yang halus dan hampir sempurna adalah CNT. Hal inilah yang membuat CNT dapat digunakan sebagai penyimpan energi diantaranya hidrogen dan superkapasitor dengan efisiensi yang cukup tinggi.

- Penyimpanan Hidrogen

Nanokarbon dapat menyimpan cairan atau gas pada bagian dalamnya melalui efek kapiler, karena bentuknya yang berupa silinder kosong dan ukuran diameter yang berskala nanometer. Hidrogen dapat diabsorb dengan dua cara, yaitu dengan *chemisorptions*, dimana molekul H₂ berdisosiasi dan hidrogen disimpan dalam bentuk atom, dan dengan *physisorption*, dimana hidrogen disimpan dalam bentuk molekul. Jenis CNT yang berdiameter kecil, panjang, dan seragam (SWCNT) dianggap sebagai CNT yang berkualitas baik untuk penyimpan hidrogen (Grujicic, 2002).

- Superkapasitor

Superkapasitor memiliki kapasitansi (kemampuan dalam menyimpan muatan listrik) yang tinggi sehingga berpotensi untuk digunakan pada peralatan elektronik. Kapasitansi kapasitor dipengaruhi oleh geometri kapasitor, yaitu jarak pisah antar elektroda, luas elektroda dan permitivitas bahan penyekat. Pada elektroda nanokarbon, kapasitansi yang sangat besar timbul karena jarak pisah antar elektroda berskala nanometer dan luas permukaan nanokarbon yang besar (Daenen, 2003).

b. Peralatan elektronik

- *Field emitting devices*

Pada medan listrik tinggi, elektron dapat terekstrasi dari suatu padatan. Arus emisi ini tergantung pada kekuatan medan listrik pada permukaan teremisi dan pada jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi suatu elektron. *Emitter* yang ideal adalah yang mempunyai diameter berukuran nanometer, berstruktur utuh, konduktivitas listrik tinggi, dan stabilitas kimia yang baik. Penggunaan nanokarbon dalam *field emitting device* adalah untuk *flat panel display*, tabung gas *discharge* pada jaringan telekomunikasi, *electron guns* untuk mikroskop elektron dan perangkat memori (*suspended nanotube device architecture*) (Daenen, 2003).

c. Nanoprobes dan sensor

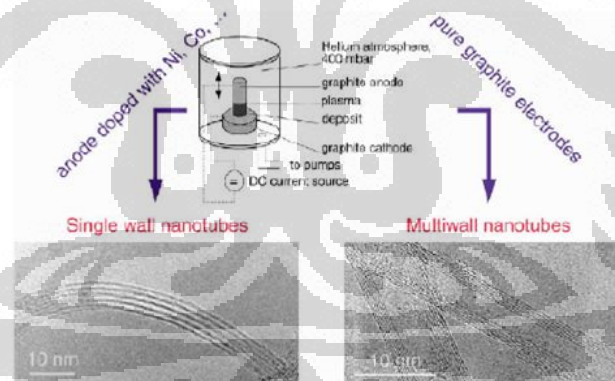
Nanokarbon dapat pula digunakan sebagai *scanning probe instruments* karena karakteristiknya yang fleksibel. Penggunaan nanokarbon akan meningkatkan resolusi instrumen dibandingkan dengan penggunaan Si.

2.3 Sintesis Nanokarbon

Untuk memperoleh nanokarbon dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

a. Arch Discharge

Metode *arch discharge* adalah metode yang paling sederhana untuk menghasilkan nanokarbon. Proses *arch discharge* ini mengalirkan arus listrik searah melewati elektroda grafit di dalam *vessel* yang berisi gas argon atau gas inert lainnya. Pada proses ini nanokarbon akan tumbuh pada bagian elektroda negatif (anoda). Meskipun kelihatannya sederhana, metode *arch discharge* ini tidak ekonomis, karena grafit yang digunakan merupakan material yang bernilai tinggi, disamping itu diperlukan pemurnian produk dari grafit (Leone, 2006).



Gambar 2.6 Skema Arch-Discharge (Daenen, 2003)

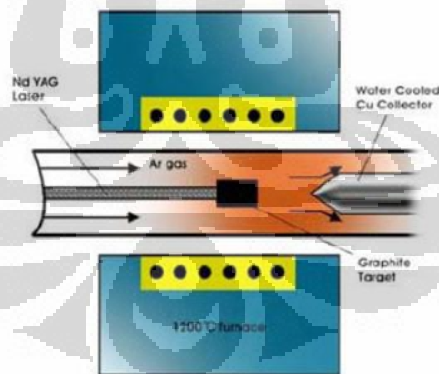
Metode ini mampu menghasilkan nanokarbon dengan kualitas baik, namun sulit untuk digunakan dalam skala industri karena faktor ekonomis. Diperlukan proses pemurnian yang kompleks, karena struktur grafit dan nanokarbon yang terbentuk memiliki kesamaan sifat sehingga seringkali produk nanokarbon yang dihasilkan ikut terbuang dengan grafit. Selain itu, elektroda memerlukan penggantian secara terus-menerus sehingga proses tidak dapat dioperasikan secara kontinyu.

Metode ini pertama kali dilakukan oleh Iijima pada tahun 1991. Dari hasil penelitiannya didapatkan nanokarbon jenis MWCNT untuk pertama kalinya, dengan ukuran diameter 4-30 nm dan panjang lebih dari satu mikrometer, MWCNT yang didapatkan Iijima ini terdiri dari 2-50 silinder yang tersusun secara aksial konsentris.

b. Laser Ablation

Metode *laser ablation* ini menggunakan sumber laser untuk menghasilkan temperatur tinggi pada karbon sebagai target. Karbon yang menguap kemudian mendingin dengan cepat di dalam aliran gas pembawa, misalnya helium, sehingga membentuk nanokarbon. Metode ini menghasilkan kualitas nanokarbon yang sangat baik. Sama halnya seperti pada *arc-discharge*, metode ini sulit di *scale up*, biaya produksinya mahal dan memerlukan proses pemurnian yang kompleks.

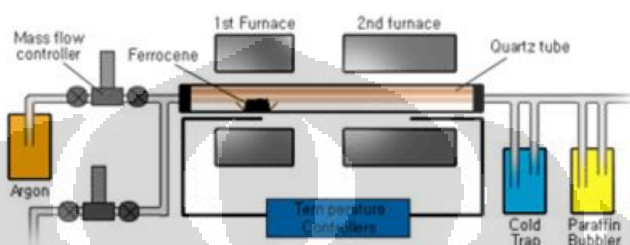
Metode *laser ablation* menghasilkan nanokarbon jenis MWCNT, tetapi panjang MWCNT yang dihasilkan lebih pendek dari metode *arc discharge*, sehingga metode *laser ablation* ini tidak cocok untuk mensintesis nanokarbon jenis MWCNT. Metode ini baik digunakan untuk mensintesis nanokarbon jenis SWCNT yang berdiameter 5-20 nm dalam bentuk bundle (Tanaka, 1999).



Gambar 2.7 Skema *Laser Ablation* (Daenen, 2003)

c. *Chemical Vapor Deposition*

Chemical vapor deposition atau deposisi uap kimia merupakan reaksi dekomposisi katalitik hidrokarbon. Sumber karbon yang biasanya digunakan adalah gas metana, karbon monoksida, dan asetilena. Proses ini terjadi di dalam reaktor berbentuk *tube* pada temperature 550-750°C, yang diikuti pertumbuhan nanokarbon di permukaan katalis (Daenen, 2003).



Gambar 2.8 Skema *Chemical Vapor Deposition* (Daenen, 2003)

Sintesis nanokarbon dengan metode *chemical vapor deposition* dan berbahan baku metana dikenal dengan dekomposisi katalitik metana. Reaksi dekomposisi katalitik metana merupakan proses sintesis nanokarbon yang paling ekonomis diantara metode yang lainnya. Pada metode ini, harga material yang digunakan sebagai bahan baku tidak terlampau tinggi, mudah dalam preparasinya dan mudah dikontrol.

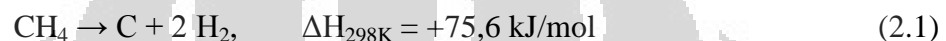
2.4 Dekomposisi Katalitik Metana

Dekomposisi dapat didefinisikan sebagai perengkahan (*cracking*) yaitu reaksi kimia yang menguraikan atau memutuskan ikatan rantai suatu senyawa menjadi unsur-unsur atau senyawa yang lebih sederhana. Salah satu contohnya adalah dekomposisi metana yaitu pemutusan ikatan H-C dari metana menjadi komponen yang lebih sederhana (hidrogen dan karbon). Dekomposisi metana merupakan hidrokarbon yang paling stabil (hidrokarbon dengan perbandingan hidrogen per karbon yang paling tinggi). Reaksi perengkahan metana (*methane cracking*) dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perengkahan metana secara langsung (*direct methane cracking*) dan perengkahan metana secara tidak

langsung (*indirect methane cracking*). Reaksi dekomposisi metana tergolong dalam reaksi perengkahan metana secara langsung.

Pada awalnya, Dekomposisi Metana bertujuan untuk menghasilkan hidrogen murni dan memiliki konsentrasi yang besar. Penggunaan hidrogen ini diarahkan untuk sel bahan bakar (*fuel cells*) yang akan menggantikan pembangkit tenaga listrik. Tetapi pada perkembangan selanjutnya, diduga terbentuk nanokarbon yang ditemukan oleh Ijima dengan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) pada tahun 1991.

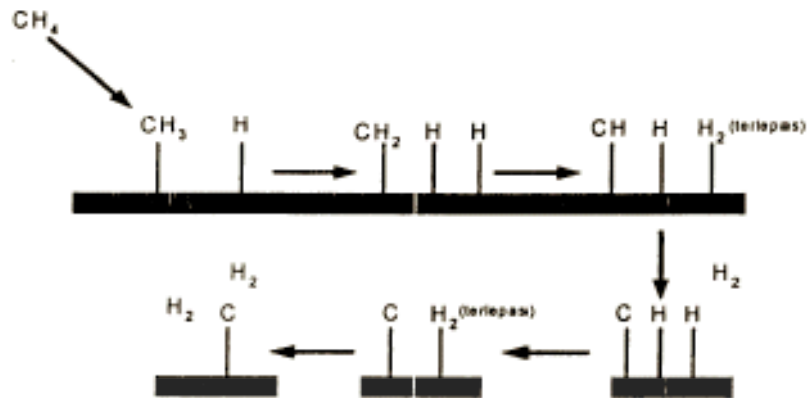
Adapun reaksi dekomposisi metana dirumuskan melalui persamaan sebagai berikut:



Proses Reaksi Dekomposisi metana bersifat endotermik ditandai dengan nilai ΔH yang bernilai positif. Proses pada suhu tinggi akan meningkatkan konversi metana dan produksi hidrogen konsentrasi tinggi bebas COx. Oleh karena itu, untuk menurunkan suhu reaksi perlu ditambahkan katalis yang dapat menurunkan energi aktivasi. (Chen, 2004).

2.4.1 Mekanisme Reaksi Dekomposisi Katalitik Metana

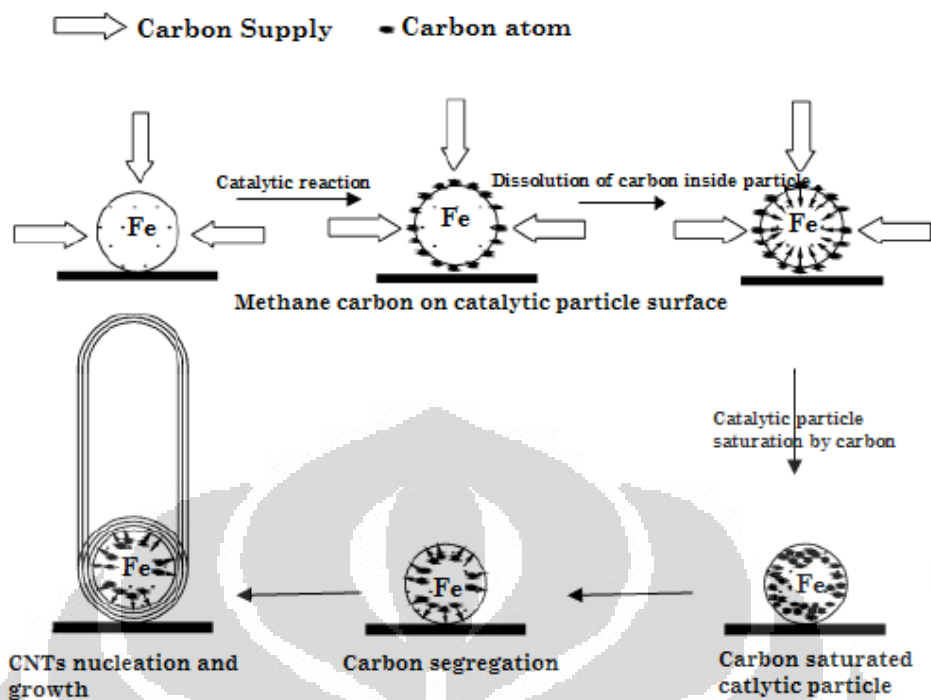
Pada reaksi dekomposisi metana, sebuah molekul metana direngkah (*cracking*) menjadi sebuah molekul karbon dan dua buah molekul hidrogen. Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme reaksi permukaan dekomposisi katalitik metana. Atom hidrogen terputus satu persatu membentuk ion karbonium dan pada akhirnya didapatkan sebuah molekul atom karbon dan dua molekul hidrogen pada akhir reaksi.



Gambar 2.9 Mekanisme Reaksi Permukaan Dekomposisi Katalitik Metana (Snoeck, 1997)

Teori mekanisme pertumbuhan nanokarbon oleh Chen menyatakan bahwa laju pembentukan karbon dan laju pergerakan katalis dipengaruhi oleh keadaan katalis pada saat reaksi terjadi dan juga oleh komposisi umpan. Karbon *bamboo-shaped* baru terbentuk bila partikel logam berada dalam keadaan *quasi-liquid*, yaitu keadaan dimana logam setengah meleleh. Keadaan *quasi-liquid* itu memungkinkan logam untuk bergerak sepanjang struktur grafit, namun karena hanya sedikit meleleh, laju pergerakan logamnya tidak lebih cepat daripada laju pembentukan lapisan karbon. Mekanisme pertumbuhan karbon diawali dengan pembentukan lapisan karbon yang membungkus partikel katalis yang meleleh, lalu diikuti dengan pecahnya lapisan karbon tersebut akibat tekanan uap logam katalis dan impuls mekanik yang diterima katalis. Selanjutnya mereka berpendapat bahwa nanokarbon yang diperoleh adalah *bamboo-shaped carbon*. *Carbon nanotube* baru diperoleh bila laju pembentukan lapisan karbon dan laju pergerakan logam sama.

Menurut He, 2007, terjadi penjenuhan karbon pada partikel Fe yang digunakan sebagai katalis setelah terjadi reaksi katalitik. Partikel Fe akan jenuh dengan karbon dan pemisahan karbon terjadi secara berkesinambungan sehingga penumbuhan *carbon nanotube* terjadi. Mekanisme pertumbuhan *carbon nanotube* dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.10 Mekanisme Pertumbuhan *Carbon Nanotube* (He, 2007)

2.5 Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Pertumbuhan Nanokarbon

Beberapa parameter kondisi operasi :

2.5.1 Suhu Reaksi

Suhu mempengaruhi hasil reaksi baik secara kualitas maupun kuantitas. Laju reaksi kimia termasuk dekomposisi metana, akan bertambah dengan naiknya temperatur sampai kondisi kesetimbangan tercapai. Peningkatan temperatur ini akan berpengaruh pada stabilitas katalis.

Pada teknik CVD berbasis nanokarbon dengan bentuk MWNTs umumnya diamati pada suhu reaksi antara 500°C dan 800°C, sedangkan SWNTs cenderung diamati pada suhu reaksi lebih tinggi (> 800°C). Lee dan Park, 2002, mengamati pertumbuhan CNT antara 800°C dan 1100°C. Terlihat peningkatan diameter rata-rata CNT 20-150 nm dengan meningkatkan suhu dalam reaktor *fixed-bed*.

2.5.2 Waktu Reaksi

Semakin besar berat katalis per laju alir umpan (W/F) maka konversi juga akan semakin besar karena waktu kontak antara reaktan dengan katalis semakin lama sehingga kesempatan reaktan untuk saling bertemu dan bereaksi semakin besar. Akan tetapi, suatu saat konversi akan konstan meskipun W/F semakin diperbesar. Kejadian ini dimungkinkan karena reaktan yang tersisa sudah tidak mampu lagi untuk bereaksi lebih lanjut, karena telah mencapai kesetimbangan atau stabilitas katalis berkurang (Purwanto, 2009). Parinduri, 2011 memperlihatkan bahwa stabilitas katalis dapat bertahan hingga 10,5 jam.

2.5.3 Tekanan Operasi

Chen (2004), mengamati bahwa tekanan rendah (200 kPa dibandingkan dengan 600 kPa) meningkatkan penyebaran distribusi diameter nanokarbon serta menurunkan selektivitas nanokarbon. Tekanan lebih rendah tidak dinyatakan mempengaruhi diameter nanokarbon. Tekanan tidak mempengaruhi diameter nanokarbon secara signifikan tetapi mempengaruhi hasil dan kualitas hasil sintesis. Pada penelitian ini tekanan operasi yang digunakan adalah tekanan rendah atau tekanan atmosferik. Hal ini karena reaksi dekomposisi metana adalah reaksi endotermis dimana penambahan tekanan akan menggeser kesetimbangan reaksi ke arah kiri (menambah reaktan).

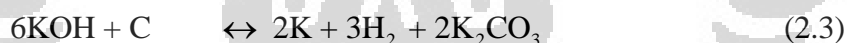
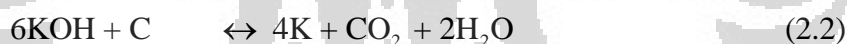
2.6 Karbon Aktif dari Kulit Buah Pisang

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 87-97% kandungan karbon. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon, yang biasa dipakai sebagai bahan dasar karbon aktif antar lain batu bara, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, limbah pinus dan kayu (Lidya, 2012).

Dalam pembuatan karbon aktif, terdapat tiga langkah yang perlu dilakukan, yaitu pemanasan awal, karbonisasi dan aktivasi. Pemanasan awal merupakan proses pemanasan bahan baku dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan air dan senyawa *volatile* yang terdapat dalam bahan baku. Langkah kedua adalah karbonisasi, proses karbonisasi ini dilakukan dengan memanaskan

bahan baku pada suhu 400°C. Pada saat proses karbonisasi, permukaan karbon sudah sedikit terbuka, tetapi daya adsorpsinya masih relatif rendah. Hal ini diakibatkan oleh masih sedikitnya pori-pori yang terbentuk dan kemungkinan masih adanya residu tar yang menutupi pori. Langkah terakhir dari pembuatan karbon aktif adalah aktivasi, produk karbon dari proses karbonisasi dengan struktur pori yang lemah ini perlu dilakukan proses aktivasi dengan tujuan untuk membersihkan pori-pori dari residu tar dan memperbesar luas permukaan karbon. Karbon yang telah mengalami proses aktivasi inilah yang disebut sebagai karbon aktif. Pada proses produksi karbon aktif, proses aktivasi merupakan proses yang terpenting karena proses ini sangat menentukan sekali terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan baik luas area permukaan maupun daya adsorpsinya.

Pada pembuatan karbon aktif ini digunakan kulit buah pisang sebagai bahan baku karena kulit buah pisang mengandung karbon yang cukup banyak sekitar 41.37% (Mopoung, 2008) dan aktivasi yang digunakan adalah aktivasi secara kimia. Zat aktivasi yang digunakan pada proses ini adalah KOH karena KOH dapat memberikan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar. Reaksi kimia yang terjadi dengan menggunakan zat aktivasi KOH adalah sebagai berikut (Pujiyanto, 2010):



Sebelumnya telah ada penelitian mengenai pembuatan karbon aktif dari kulit pisang. Proses pembuatannya menggunakan suhu 300-700°C dari mulai karbonisasi hingga pengaktifan dan aktifator yang digunakan adalah KOH sebagai zat aktivator. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pada suhu karbonisasi 500°C-600°C didapatkan struktur karbon aktif yang baik. Pengaktifan karbon dengan suhu aktivasi 600-700°C dinilai sebagai suhu yang baik namun dengan menggunakan zat aktivasi KOH juga dapat menghasilkan pengotor seperti K, K₂CO₃, dan K₂O (Mopoung, 2008).

2.7 Produksi Nanokarbon Dengan Dekomposisi Metana

Penelitian terhadap sintesis nanokarbon telah banyak dilakukan dengan berbagai macam metode dan metode CVD adalah yang paling menarik untuk dilakukan dengan alasan lebih murah, mudah dan memungkinkan untuk diaplikasikan dalam skala besar. Parameter-parameter yang berpengaruh dalam sintesis nanokarbon ini adalah sumber karbon, temperatur, tekanan dan waktu reaksi. Tabel 2.1 merupakan penelitian yang telah dilakukan untuk menghasilkan nanokarbon dengan menggunakan metode CVD yang menggunakan karbon aktif sebagai substrat untuk pertumbuhan nanokarbon.

Tabel 2.1 Metode CVD Yang Menggunakan Karbon Aktif Sebagai Substrat Pertumbuhan Nanokarbon

Peneliti (Tahun)	Reaksi	Kondisi Operasi	Hasil
AlSaadi, Mohammed (2011)	Dekomposisi Katalitik Hidrokarbon (Umpan: C ₂ H ₂ /H ₂ atau C ₆ H ₆ /H ₂)	T = 550-850°C Laju C ₂ H ₂ /H ₂ = 30/300 ml/min, C ₆ H ₆ /H ₂ = 50/300 ml/min Waktu Reaksi = 20-90 menit	CNT dengan diameter terkecil 93nm pada T = 850°C dan diameter terbesar 165nm pada T = 650°C
Bai, Zongqing (2007)	Dekomposisi Katalitik Metana (Umpan: CH ₄)	T = 550-850°C Laju CH ₄ = 50 ml/min	Karbon berfilamen terbentuk baik pada T = 750°C
Shivakumar, V.M (2011)	Dekomposisi Katalitik Metana (Umpan: CH ₄ /H ₂ atau CH ₄ /N ₂)	T = 700 dan 800°C Laju CH ₄ /H ₂ dan CH ₄ /N ₂ = 120/120 ml/min atau 120/240 ml/min	Rasio gas 1:2 lebih baik dari 1:1 dan konversi metana maksimum pada T = 750°C
Chen, Xiao-Wei (2007)	Dekomposisi Katalitik Metana (Umpan: C ₂ H ₂)	T = 500-800°C Waktu reaksi = 10-120 menit	CNT dengan diameter 40-200 nm

Pada penelitian kali ini karbon aktif yang digunakan coba untuk dibuat sendiri, yaitu membuat karbon aktif dari limbah kulit buah pisang. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan nanokarbon. Sebelumnya karbon aktif dan katalis mengalami proses impregnasi terlebih dahulu dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan aktif dari katalis yang berperan aktif dalam proses pembuatan nanokarbon.

Katalis yang telah diimpregnasi dengan karbon aktif kemudian diletakkan di dalam suatu reaktor dan dialirkan dengan gas metana pada suhu 700°C dengan memvariasikan waktu reaksinya selama 60, 120 dan 300 menit, kemudian hasil yang didapatkan dikarakterisasi dengan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM).

2.8 Metode Karakterisasi

Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi untuk mengetahui morfologi karbon aktif dan nanokarbon yang dihasilkan.

a. EM (*Electron Microscopy*)

Electron Microscopy (EM) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk melihat morfologi suatu material. Informasi mengenai morfologi mencakup bentuk dan ukuran dari katalis dan produk yang dihasilkan sangat diperlukan terutama untuk melihat karakteristik produk yang dihasilkan yaitu nanokarbon. Dua teknik utama EM dibedakan menjadi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Pada prinsipnya kedua teknik ini sama yaitu permukaan yang akan diuji di-scan dengan pancaran berkas elektron dan pantulan elektron ditangkap yang kemudian ditampilkan diatas tabung sinar katoda. Bayangan yang tampak diatas layer menampilkan gambaran permukaan spesimen. SEM memiliki resolusi mikroskopi elektron 10 nm. Sedangkan analisis menggunakan TEM memiliki kelebihan karena resolusinya lebih tinggi.

Pada perbesaran kecil, gambar yang dihasilkan oleh TEM akan kontras karena absorpsi elektron pada material akibat dari ketebalan dan komposisi material. Pada perbesaran tinggi, gambar yang dihasilkan akan menampilkan data yang lebih jelas pada analisa struktur kristal, dan lainnya. TEM digunakan yaitu untuk membentuk gambar yang menampilkan bidang gelap (*dark field*) atau bidang terang (*bright field*) dan gambar kisi-kisi dalam fasa pada mikroskop elektron transmisi standar. Sebuah gambar BF atau DF dibentuk ketika berkas searah (satu difraksi) yang digunakan untuk

pembentukan gambar sedangkan bagian-bagian objektif mencegah difraksi yang lain untuk masuk ke sistem perekaman.

SEM membaca suatu permukaan sampel dengan suatu alat pembaca elektron (5-50kV). Pembesaran 20 hingga 50000 kali mungkin dilakukan dengan resolusi sebesar 5 nm. Suatu area dengan kedalaman yang besar dan struktur yang sangat tidak teratur dapat diketahui dengan efek 3D. Namun, keterbatasan resolusi membuat alat ini terbatas bagi kristal yang berukuran kurang dari 5 nm. Di atas level ini, bentuk, ukuran, dan distribusi ukuran mudah untuk dilakukan.

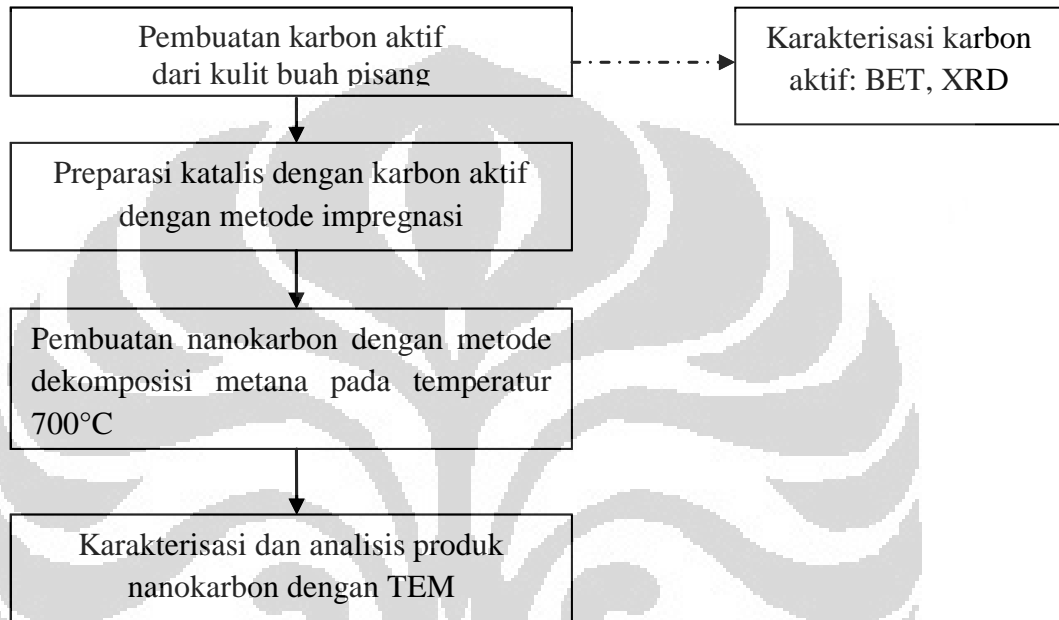
b. BET

Metode BET dipublikasikan oleh *Brunauer, Emmet dan Teller* pada tahun 1938 yang lebih dikenal dengan metode model adsorpsi fisik gas dalam padatan, yang menggunakan prinsip gaya *Van der Waals*. Metode BET berdasarkan model yang sangat sederhana dan hanya menggambarkan sebagian kecil adsorpsi isothermal yang digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik dari padatan. Metode ini biasanya digunakan untuk padatan yang tidak berpori, makropori, dan mesopori. Luas permukaan total merupakan kriteria penting untuk katalis padat karena sangat menentukan jumlah situs aktif di dalam katalis, yang nantinya berkaitan dengan aktivitas katalis. Pengukuran luas permukaan dapat menggunakan teknik adsorpsi BET. Metode BET dapat digunakan untuk gas yang mudah terkondensasi, tetapi umumnya digunakan gas dengan ukuran molekul kecil seperti nitrogen, gas kripton, argon ataupun karbondioksida dapat pula digunakan sebagai gas adsorbat.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam, Departemen Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan penelitian yang digunakan sebagai berikut:

3.2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian

1. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif

Tabel 3.1 Alat-alat untuk pembuatan karbon aktif

No.	Alat	No.	Alat
1	Piala gelas (3000 ml, 500 ml & 250 ml)	9	Indikator pH Universal
2	Loyang	10	Reaktor pirolisis
3	Pisau	11	Pipet ukur (25 ml)
4	Labu takar (250 ml)	12	Timbangan
5	Botol aquadest	13	Termos pemanas
6	Pipet tetes	14	Blender
7	Batang pengaduk	15	Saringan 400 mesh
8	Oven		

2. Alat-alat yang digunakan untuk preparasi katalis

Tabel 3.2 Alat-alat untuk preparasi katalis

No.	Alat	No.	Alat
1	Piala gelas (250 ml)	4	Spatula
2	Batang Pengaduk	5	Oven
3	Timbangan	6	Pengaduk ultrasonik

3.2.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan-bahan yang digunakan selama penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Kulit buah pisang
- Air suling
- KOH, kalium hidroksida, Merck
- HCl 0,2 N
- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, *iron nitrate nanohydrate*, Merck
- Etanol

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pembuatan nanokarbon meliputi 3 tahap, yaitu:

1. Pembuatan karbon aktif dari kulit buah pisang
2. Preparasi katalis dengan metode impregnasi antara katalis $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan karbon aktif kulit buah pisang
3. Pembuatan nanokarbon dengan metode dekomposisi katalitik metana

3.3.1 Pembuatan karbon aktif dari kulit buah pisang

Karbon aktif dibuat dari limbah kulit buah pisang yang didapatkan dari sekitar lingkungan Universitas Indonesia. Langkah-langkah yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Kulit buah pisang dibersihkan kedua ujungnya kemudian dipotong-potong menjadi 3-4 bagian.
- b. Potongan kulit buah pisang dikeringkan di dalam oven selama 2 jam pada temperatur 110°C .

Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat didalam kulit buah pisang.



Gambar 3.2 (a) Kulit Buah Pisang Sebelum diKeringkan, (b) Kulit Buah Pisang Setelah diKeringkan

- c. Kulit buah pisang hasil pengeringan dikarbonisasi dalam reaktor pirolisis selama 2 jam pada temperatur 400°C .

Pada proses karbonisasi ini komponen yang mudah menguap akan terlepas dan karbon akan mulai terbentuk.



Gambar 3.3 Hasil Karbonisasi Kulit Buah Pisang

- d. Kulit buah pisang hasil karbonisasi dicampur dengan zat aktivasi yaitu KOH dengan perbandingan 1:2 antara kulit buah pisang dan KOH dan didiamkan selama 24 jam kemudian ditiriskan.



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a) Campuran Karbon Aktif dengan KOH (b) Hasil Penyaringan

- e. Kulit buah pisang lalu diaktivasi pada temperatur 600°C selama 2 jam dalam reaktor pirolisis.

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan pembentukan pori-pori yang sudah terbentuk pada proses karbonisasi



Gambar 3.5 Hasil Aktivasi Karbon Aktif

- f. Kulit buah pisang yang telah diaktivasi dicuci dengan HCl 0.2 N, kemudian dengan air panas dan terakhir dengan air dingin.

Tujuan pencucian dengan HCl ini ialah untuk menghilangkan sisa-sisa zat aktivasi yang kemungkinan masih ada. Pencucian dengan HCl ini dilakukan hingga hasil pencucian dari berwarna kuning menjadi tidak berwarna. Setelah selesai pencucian dengan HCl kemudian dilakukan pencucian atau pembilasan dengan air suling panas setelah itu dengan air suling dingin yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion Cl⁻. Pencucian atau pembilasan ini selesai hingga menunjukkan pH yang netral.



(a)



(b)

Gambar 3.6 (a) Hasil Pencucian dengan HCl 0,2 N, (b) Hasil Pencucian dengan Air Suling

- g. Kulit buah pisang yang telah dicuci kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110°C selama 24 jam.
Pengeringan bertujuan untuk menguapkan atau menghilangkan kandungan air sisa pembilasan.
- h. Karbon aktif digiling dan disaring (diayak) dengan saringan 400 mesh.



Gambar 3.7 Hasil Penyaringan 400 mesh

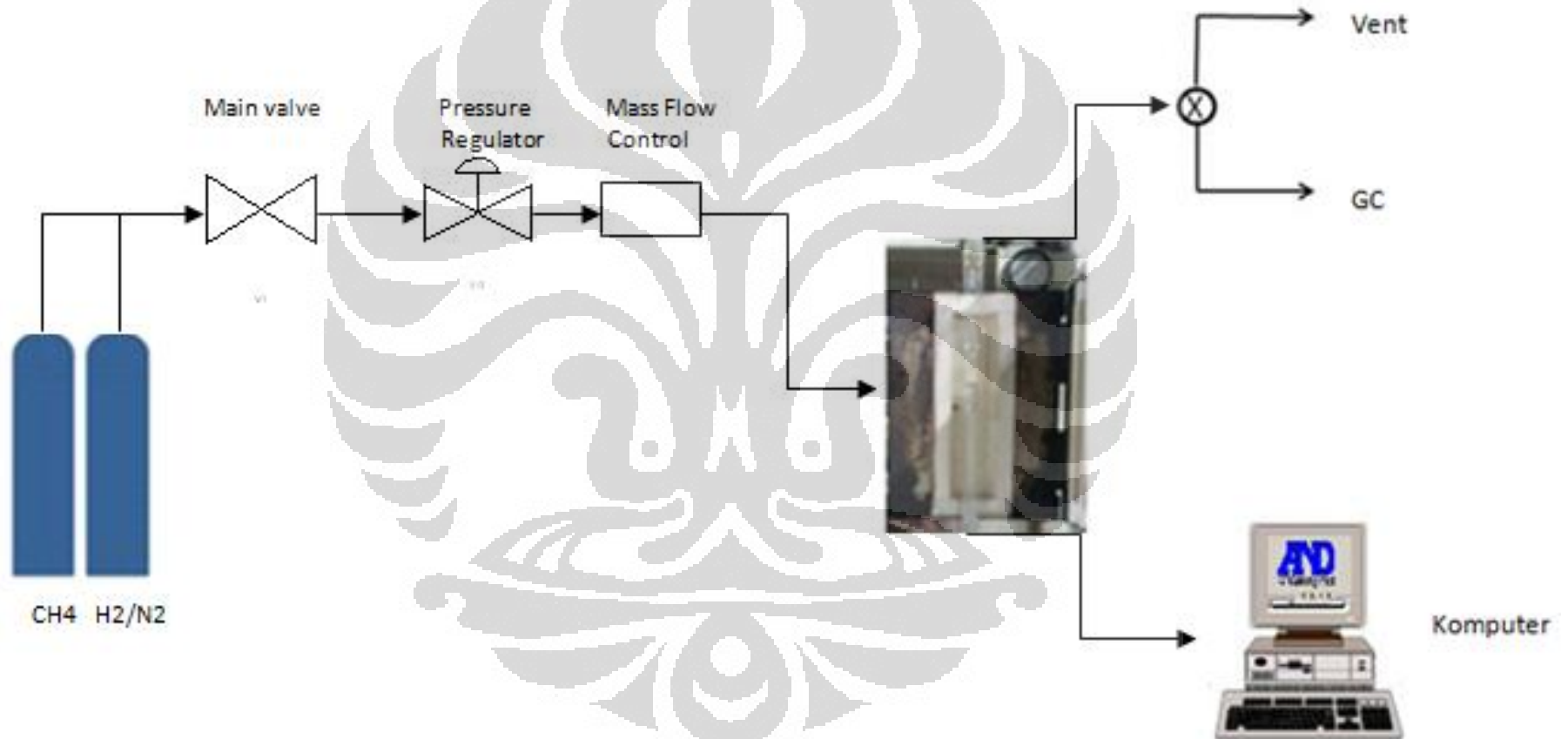
3.3.2 Preparasi Katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi. Langkah-langkah yang digunakan untuk preparasi katalis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

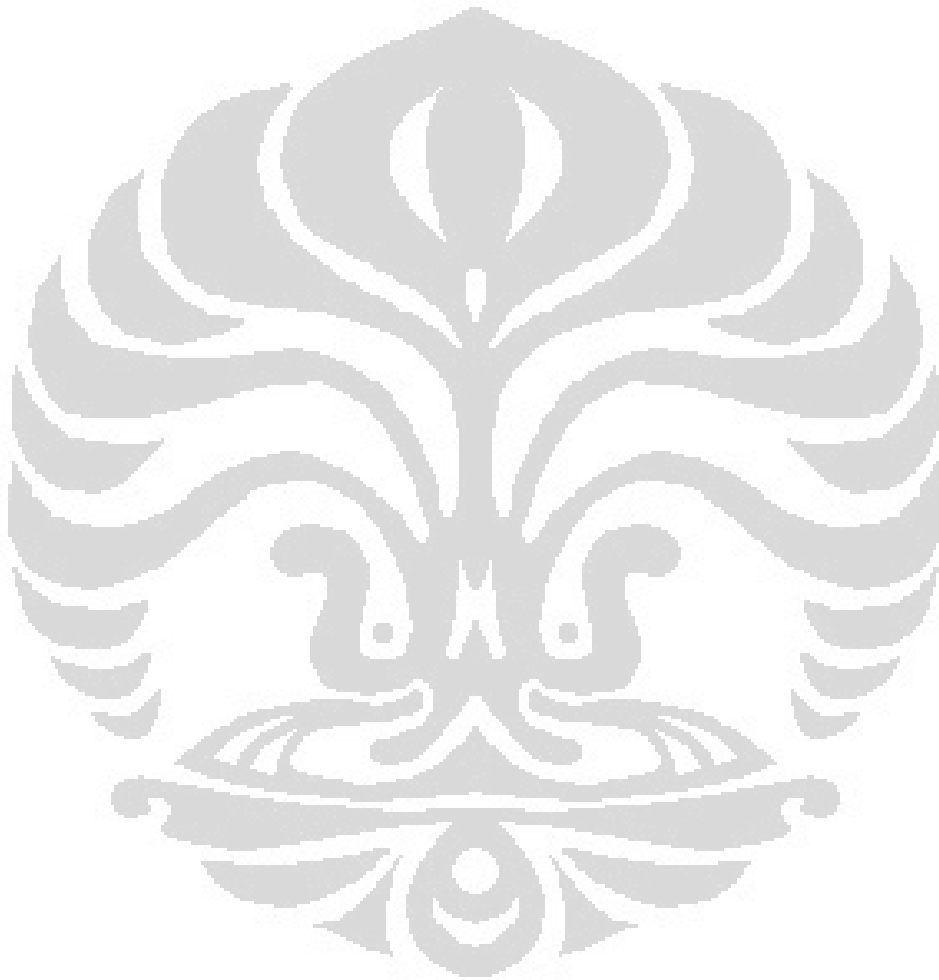
- a. Menimbang 0,25 gram $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan 4,75 gram karbon aktif kulit buah pisang kemudian ditambahkan etanol hingga larut.
- b. Campuran katalis Fe dan karbon aktif yang sudah larut diaduk dengan menggunakan pengaduk ultrasonik selama 30 menit.
- c. Larutan kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105°C selama 12 jam.
- d. Katalis Fe/Karbon aktif dikalsinasi pada temperatur 350°C selama 3 jam.
- e. Katalis Fe/Karbon aktif direduksi pada temperatur 450°C selama 30 menit.

3.3.3 Pembuatan nanokarbon dengan dekomposisi metana

Peralatan pada penelitian ini di set-up berdasarkan skema dibawah ini:



1. Menimbang katalis Fe/karbon aktif sebanyak 0,03 gram kemudian diletakkan di dalam wadah reaktor.
2. Reduksi katalis Fe/Karbon Aktif terlebih dahulu pada temperatur 450°C selama 30 menit.
3. Dialirkan gas metana pada temperatur 700°C selama 60 menit, gas keluaran reaktor diinjeksikan ke dalam GC.
4. Divariasikan waktu reaksi pada 60 menit, 120, menit dan 300 menit.



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini akan diuraikan mengenai hasil pembuatan nanokarbon dari karbon aktif kulit buah pisang dengan dekomposisi gas metana dan hasil karakterisasi dari karbon aktif dan nanokarbon yang dihasilkan.

4.1 Karbon Aktif

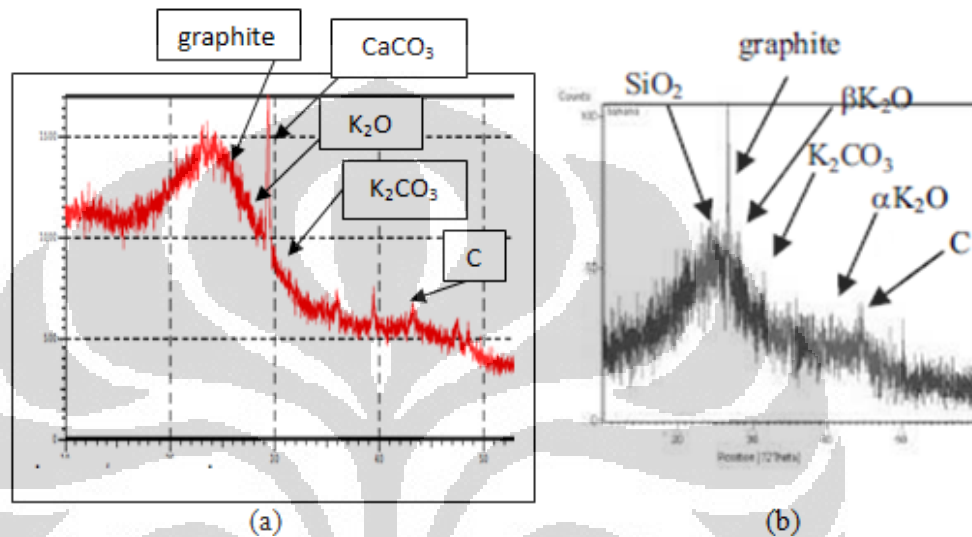
4.1.1 Karakterisasi Karbon Aktif

Luas permukaan karbon aktif sebagai adsorben merupakan salah satu parameter yang penting. Karbon aktif dapat dikatakan sebagai adsorben yang baik jika memiliki luas permukaan yang tinggi, karena luas permukaan mempengaruhi proses adsorpsi (Lidya, 2012). Luas permukaan karbon aktif pada umumnya diukur dengan metode BET (*Brunauer, Emmet dan Teller*). Analisis BET ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok. Hasil analisis BET ditunjukkan pada Tabel 4.1, karbon aktif memiliki luas permukaan sebesar 176,8 m²/g. Luas permukaan yang dihasilkan ini masih kurang. Kurangnya luas permukaan karbon aktif ini disebabkan temperatur pada saat aktivasi yang kurang tinggi, pada penelitian aktivasi karbon aktif dilakukan pada temperatur 600°C, sedangkan temperatur yang baik untuk menghasilkan luas permukaan yang besar adalah pada temperatur 700°C. Kulit buah pisang memiliki kandungan karbon yang cukup banyak, yaitu sebesar 41,37% sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk membuka pori-pori karbonnya. Kurangnya temperatur aktivasi ini selain berpengaruh pada luas permukaan yang dihasilkan juga berpengaruh pada struktur grafit karbon yang terbentuk.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Luas Permukaan

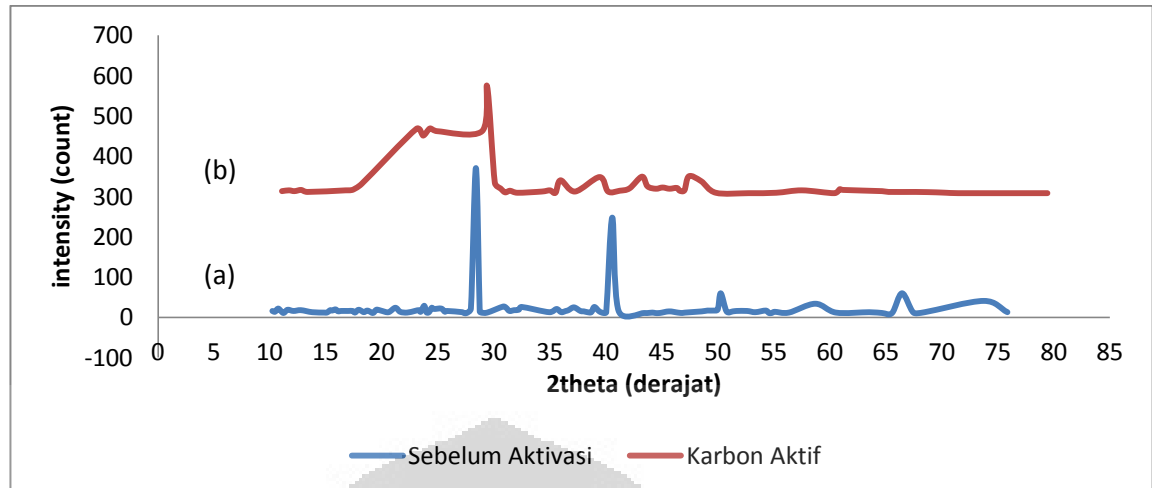
Zat Pengaktivasi	Perbandingan massa arang/zat pengaktivasi	Luas permukaan BET (m ² /g)
KOH	1:2	176,8

Untuk melihat struktur grafit karbon, karbon aktif ini dikarakterisasi dengan XRD (*X-ray Diffraction*). Analisa XRD ini dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN. Struktur grafit karbon dapat diketahui dengan mencocokkan pola puncak grafik hasil analisa XRD dengan puncak grafik standar dari berbagai macam unsur. Gambar 4.1 merupakan hasil analisa XRD dari karbon aktif hasil percobaan dan XRD karbon aktif hasil penelitian Mopoung, 2008.



Gambar 4.1 (a) Karbon Aktif Hasil Percobaan, (b) Karbon Aktif Mopoung, 2008

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa hasil XRD karbon aktif hasil percobaan memiliki tren yang sama dengan hasil XRD yang dihasilkan Mopoung. Berdasarkan Mopoung, 2008 puncak grafik untuk grafit karbon ditunjukkan pada $2\theta = 26^\circ$ dan 44° , K₂O dan K₂CO₃ ditunjukkan pada $2\theta = 28^\circ$, $31,4^\circ$ dan 42° . Dari XRD hasil percobaan pada 2θ yang sama seperti 2θ pada hasil penelitian Mopoung terdapat puncak grafik yang sama tetapi tidak terlalu signifikan, hal ini mungkin disebabkan karena kurangnya temperatur aktivasi. Adanya kemiripan pola dari puncak grafik dan keberadaan puncak grafik pada 2θ yang sama pada hasil percobaan dengan hasil penelitian Mopoung, menunjukkan bahwa karbon yang dihasilkan dari percobaan merupakan karbon aktif.



Gambar 4.2 Pola XRD (a) Sebelum diaktivasi, (b) Setelah diaktivasi

Dari Gambar 4.2 diatas dapat dilihat pola XRD karbon sebelum ditambahkan zat pengaktivasi KOH dan setelah menjadi karbon aktif. Terdapat perbedaan pola XRD, ini menunjukkan bahwa terjadi pergeseran kristalinit yang berpengaruh terhadap pembentukan karbon aktif. Hal ini dapat dilihat pada karbon sebelum diaktivasi untuk 2θ antara $20-28^\circ$, $30-40^\circ$, dan $40-50^\circ$ yang semula keteraturannya tinggi menjadi tidak teratur dan terjadi peningkatan derajat kristalinitas dari karbon yang belum diaktivasi dengan karbon aktif akibat dari aktivasi.

4.2 Nanokarbon

4.2.1 Preparasi Katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi. Impregnasi ini bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan aktif dari katalis yang berperan aktif dalam proses pembuatan Nanokarbon. Katalis yang digunakan pada percobaan kali ini adalah Fe, Fe dipilih karena dapat memberikan konversi metana yang lebih tinggi dan Fe dalam bentuk oksidanya lebih stabil (Sivakumar, 2011). Preparasi katalis dilakukan dengan mengimpregnasikan logam Fe dari $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ke dalam karbon aktif, kemudian dihomogenkan ke dalam etanol dan disonikasi pada temperatur 70°C selama 30 menit, proses ini bertujuan untuk mereaksikan karbon aktif dengan katalis Fe.

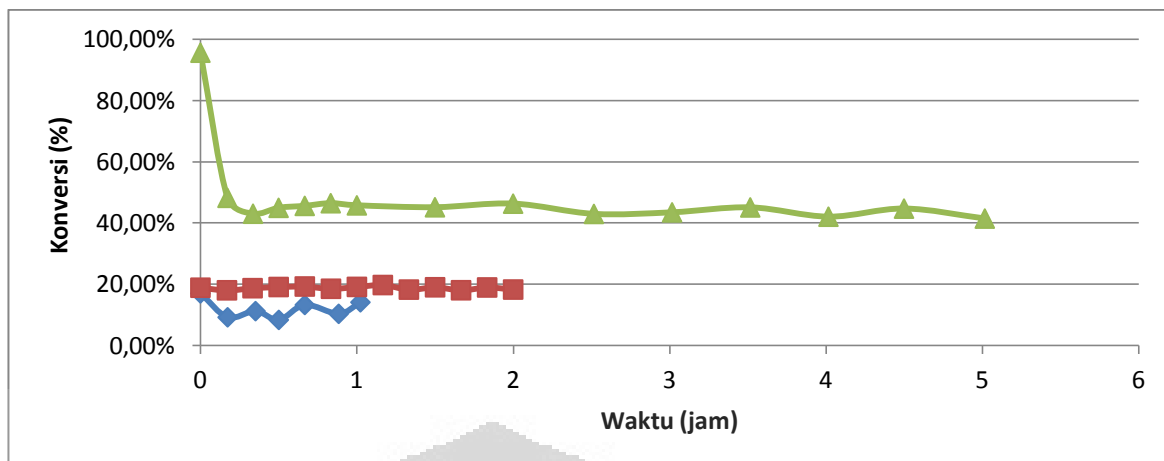
Tahap selanjutnya dilakukan pengeringan di dalam oven selama 12 jam pada temperatur 105°C dan kalsinasi dilakukan menggunakan *furnace* pada temperatur 350°C selama 3 jam. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan air yang terdapat dalam katalis, sehingga katalis dapat mengendap dalam permukaan pori karbon aktif dan kalsinasi bertujuan untuk mendekomposisi katalis menjadi bentuk oksidanya serta menghilangkan kadar air yang masih tersisa. Tahap terakhir pada preparasi katalis adalah reduksi yang bertujuan untuk mengubah oksida logam katalis menjadi logam Fe karena yang berperan sebagai katalis adalah logamnya bukan ion logam.

4.2.2 Produksi Nanokarbon

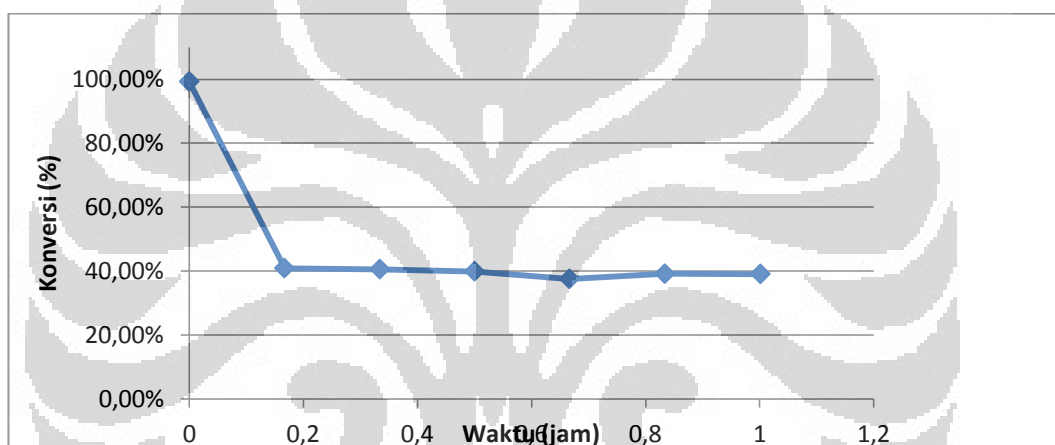
Produksi nanokarbon dilakukan dengan metode dekomposisi metana, dimana katalis yang sudah di impregnasi ke dalam karbon aktif diletakkan di dalam reaktor dan dialirkan gas metana. Aliran keluar dari reaktor dialirkan menuju *Gas Chromatography* (GC) untuk melihat data puncak grafik yang terdeteksi dan luas area puncak grafik dari masing-masing komponen. Berdasarkan komposisi keluaran gas yang dianalisa oleh gas kromatografi. Dapat dibuat hubungan konversi CH₄, kemurnian H₂ dan yield karbon terhadap waktu.

4.2.2.1 Konversi Metana

Konversi metana menunjukkan seberapa banyak metana yang terkonversi menjadi produk, baik hidrogen, karbon, maupun produk samping lainnya yang terdeteksi oleh gas kromatografi. Konversi metana dihitung dari pembagian selisih mol metana masuk dengan mol metana keluar terhadap mol metana masuk. Gambar 4.3 menunjukkan konversi metana sesaat untuk waktu reaksi 60 menit, 120 menit dan 300 menit dan Gambar 4.4 menunjukkan konversi metana sesaat untuk waktu reaksi 60 menit dengan metode karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu.



Gambar 4.3 Konversi Metana Pada Reaksi 60 (Biru), 120 (Merah) dan 300 Menit (Hijau)

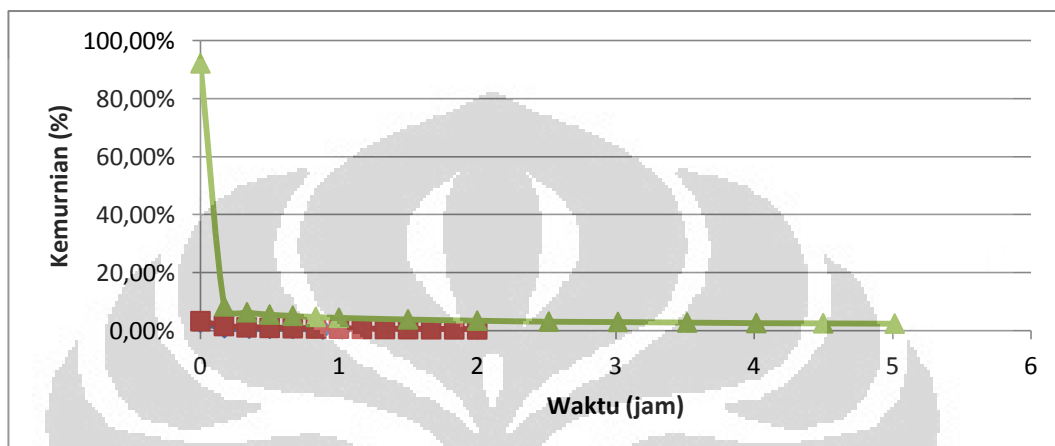


Gambar 4.4 Konversi Metana Pada Reaksi 60 Menit (Karbon Aktif Kalsinasi)

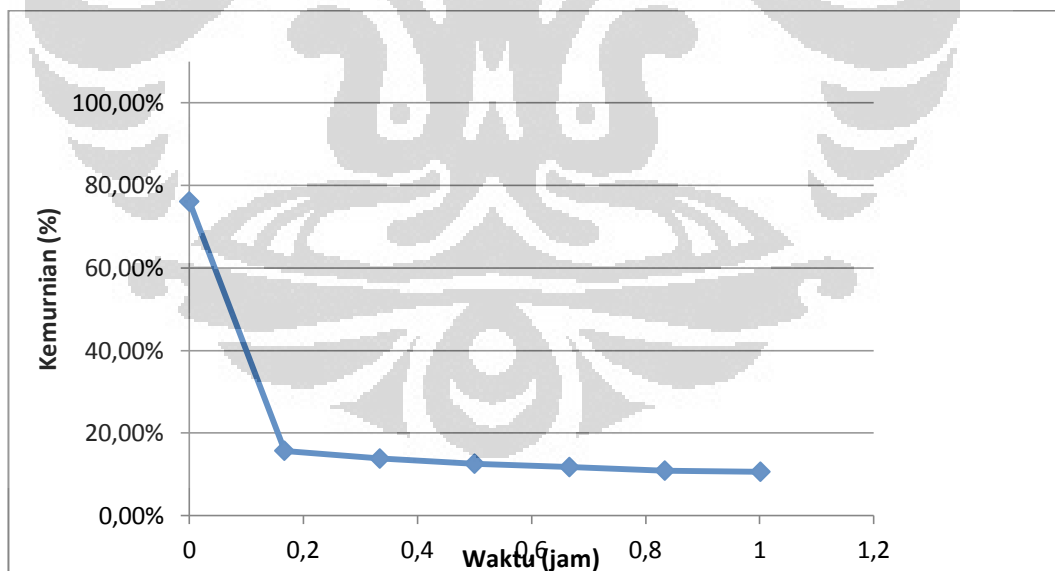
Konversi metana tertinggi yang dihasilkan adalah 99,30% yaitu pada saat operasi 60 menit di menit awal dengan metode preparasi karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu. Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa kecenderungan konversi semakin menurun seiring bertambahnya waktu. Hal ini dikarenakan semakin banyak metana yang telah terpakai karena bereaksi dengan katalis, sehingga nilai konversi metana semakin berkurang. Nilai konversi metana stabil pada 40%. Konversi metana cukup stabil selama reaksi berlangsung. Hal ini dapat di artikan bahwa katalis masih bersifat aktif, belum terdeaktivasi oleh deposit karbon.

4.2.2.2 Kemurnian Hidrogen

Kemurnian hidrogen adalah rasio antara volume hidrogen pada keluaran terhadap volume total keluaran. Gambar 4.5 menunjukkan kemurnian hidrogen untuk waktu reaksi 60 menit, 120 menit dan 300 menit dan Gambar 4.6 menunjukkan kemurnian hidrogen untuk waktu reaksi 60 menit dengan metode karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu.



Gambar 4.5 Kemurnian Hidrogen Pada Reaksi 60 (Biru), 120 (Merah) dan 300 Menit (Hijau)

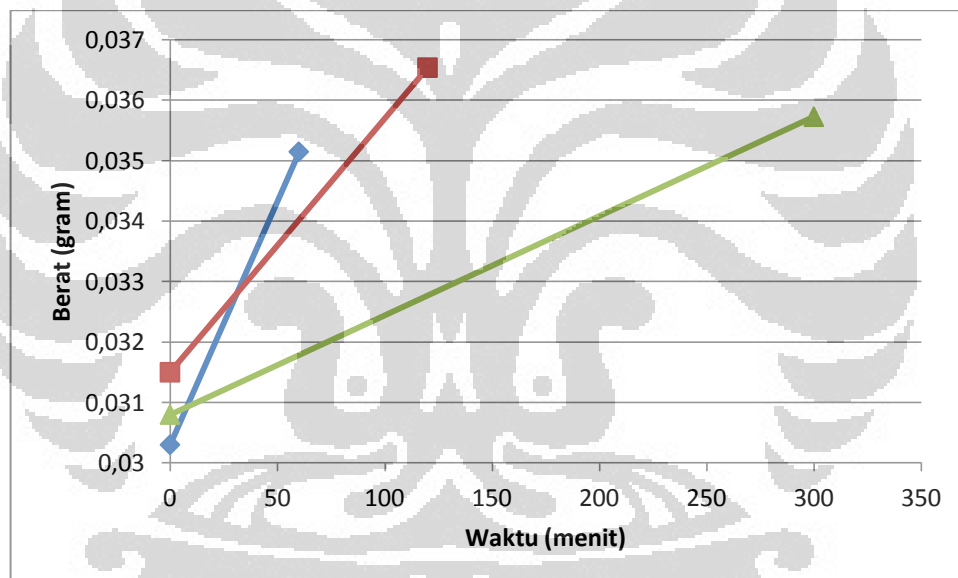


Gambar 4.6 Kemurnian Hidrogen Pada Reaksi 60 Menit (Karbon Aktif Kalsinasi)

Nilai kemurnian hidrogen berbanding lurus dengan konversi metana. Saat awal reaksi, kemurnian hidrogen mencapai titik maksimalnya, hal ini disebabkan konversi metana yang juga mencapai maksimal di awal reaksi. Kemurnian hidrogen yang semakin lama semakin kecil menandakan penurunan produksi hidrogen.

4.2.2.3 Yield Karbon

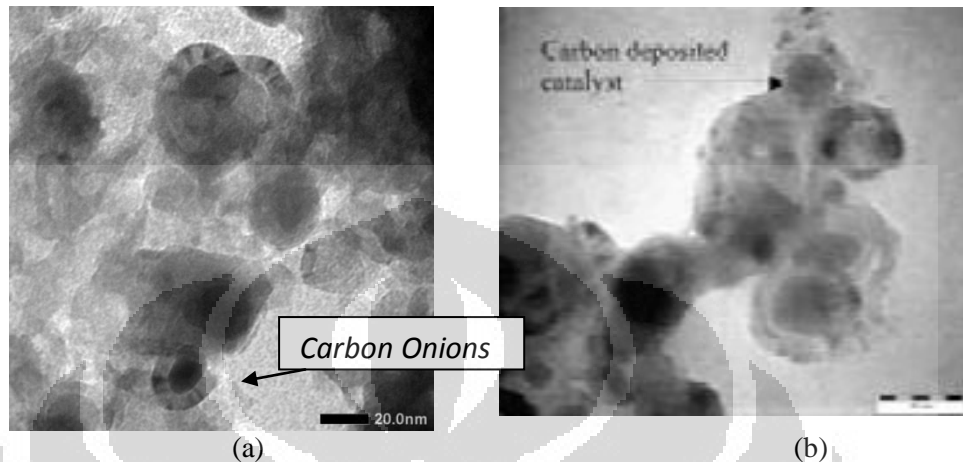
Yield karbon adalah perbandingan jumlah karbon yang terbentuk terhadap berat katalis yang terpakai. Produk nanokarbon yang dihasilkan merupakan fungsi waktu, sehingga berat produk yang dihasilkan akan semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu reaksi karena semakin banyak karbon yang terbentuk, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



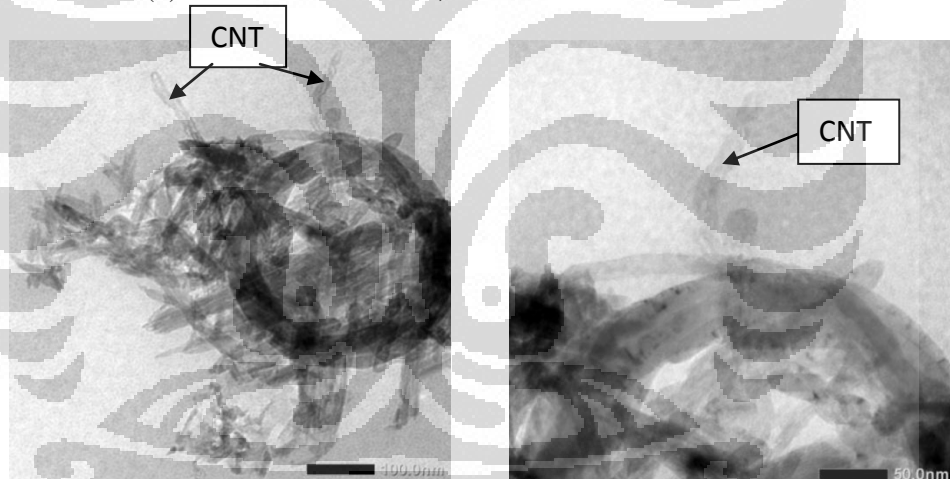
Gambar 4.7 Yield Karbon Pada Reaksi 60 (Biru), 120 (Merah) dan 300 Menit (Hijau)

4.2.3 Karakterisasi Produk Nanokarbon

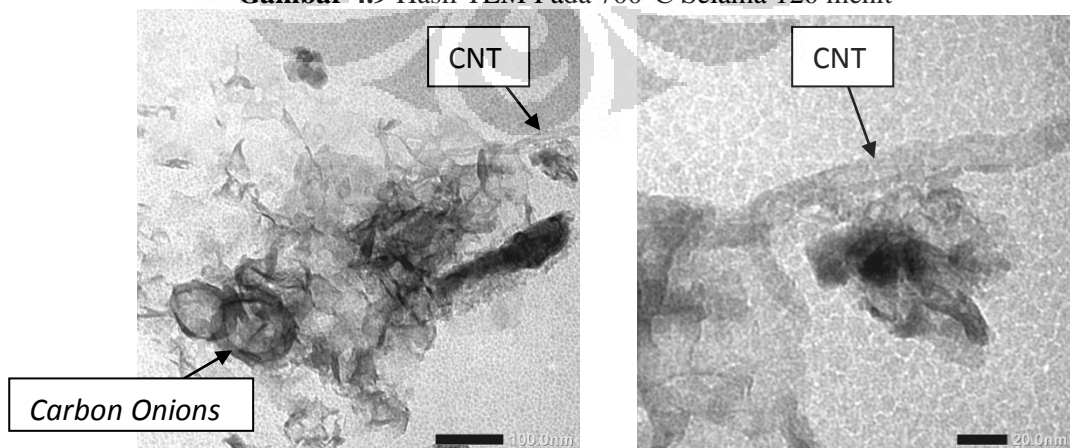
Berdasarkan analisa menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dapat dilihat produk nanokarbon yang di hasilkan dengan berbagai variasi waktu reaksi.



Gambar 4.8 Hasil TEM Pada 700°C Selama 60 Menit (a) Hasil Percobaan (b) Penelitian Sivakumar, 2011



Gambar 4.9 Hasil TEM Pada 700°C Selama 120 menit

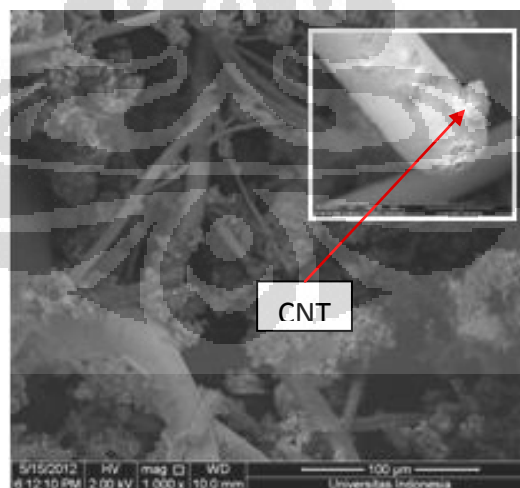


Gambar 4.10 Hasil TEM Pada 700°C Selama 300 menit

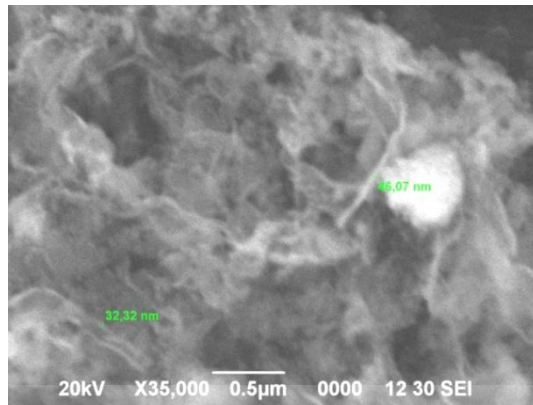
Temperatur yang digunakan untuk menghasilkan produk nanokarbon adalah pada 700°C, temperatur ini merupakan temperatur terbaik untuk menghasilkan nanokarbon yang digunakan di Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Gambar diatas menunjukkan hasil TEM untuk nanokarbon yang diproduksi pada temperatur yang sama yaitu pada 700°C dengan waktu reaksi yang berbeda. Berdasarkan morfologinya pada Gambar 4.8 (a) dapat dilihat bahwa pada waktu reaksi 60 menit belum dapat menghasilkan CNT tetapi sudah didapatkan *Carbon Onions Quasi-Sphere*, yaitu lapisan grafit yang konsentrik seperti bola yang berukuran 10 nm. Hasil yang didapatkan ini selaras dengan penelitian sebelumnya (Sivakumar, 2011) yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 (b) bahwa pada kondisi yang sama belum didapatkan CNT tetapi hanya ada karbon yang terdeposit didalam katalis. Tidak terbentuknya CNT ini disebabkan karena waktu reaksi ataupun temperatur reaksi yang kurang, karena kurangnya waktu reaksi maka dicoba untuk menambahkan waktu reaksi menjadi 120 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Dari Gambar 4.9 tersebut terlihat bahwa sudah mulai menunjukkan adanya CNT yang terbentuk walaupun belum sempurna dengan diameter 10 nm. CNT yang dihasilkan masih bercampur dengan bentuk fiber dan karbon kualitas rendah, hal ini disebabkan karena kurangnya waktu reaksi.

Untuk mendapatkan nanokarbon dengan jenis CNT kemudian waktu reaksi ditambahkan menjadi 300 menit, penambahan waktu reaksi menjadi 300 menit diharapkan dapat menghasilkan nanokarbon jenis CNT dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan pada waktu reaksi 120 menit. Gambar 4.10 merupakan hasil TEM untuk nanokarbon yang diproduksi dengan waktu 300 menit. Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa terbentuk nanokarbon dengan jenis *carbon onions hollow core*, yaitu lapisan karbon yang konsentrik disekelilingi inti kosong dan nanokarbon dengan jenis CNT. CNT yang dihasilkan ini lebih banyak tercampur dengan fiber dan karbon kualitas rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa dengan penambahan waktu reaksi menjadi 300 menit justru membuat CNT yang dihasilkan semakin banyak pengotornya dan semakin banyak pula karbon kualitas rendah yang terbentuk.

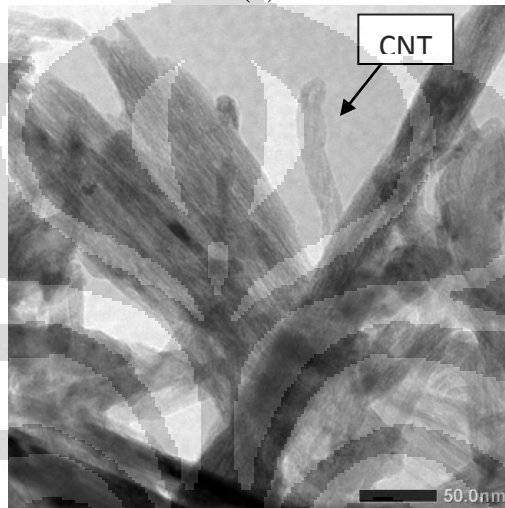
Dari ketiga percobaan pada temperatur 700°C dengan adanya penambahan waktu reaksi yang semakin lama ternyata masih belum bisa menghasilkan CNT dengan kualitas yang baik, sehingga coba untuk dilakukan peningkatan temperatur menjadi 800°C selama 30 menit. Peningkatan temperatur menjadi 800°C dilakukan karena untuk memproduksi CNT dengan menggunakan karbon aktif sebagai substrat untuk pertumbuhan nanokarbon dibutuhkan temperatur yang tinggi (Chen, 2007) dan waktu reaksi 30 menit merupakan waktu yang mendekati waktu reaksi terbaik di Departemen Teknik Kimia. Gambar 4.11 merupakan morfologi hasil sintesis pada temperatur 800°C dengan karakterisasi menggunakan (a) FE-SEM, (b) SEM-EDS dan juga (c) TEM. Hasil yang didapatkan pada reaksi dengan temperatur 800°C selama 30 menit adalah CNT yang masih kurang sempurna karena masih bercampur dengan fiber dan karbon kualitas rendah. Selain itu dengan penambahan temperatur reaksi menjadi 800°C membuat ukuran nanokarbon yang dihasilkan menjadi tidak seragam. Diameter nanokarbon yang dihasilkan beragam dari kisaran 20 nm berdasarkan hasil TEM hingga mencapai diameter yang cukup besar yaitu $5\mu\text{m}$ berdasarkan hasil FE-SEM. Dari SEM-EDS pada Gambar 4.12 menghasilkan persentase massa yang sebagian besar oleh karbon yang berarti produk nanokarbon yang terbentuk sebesar 45,60%.



(a)

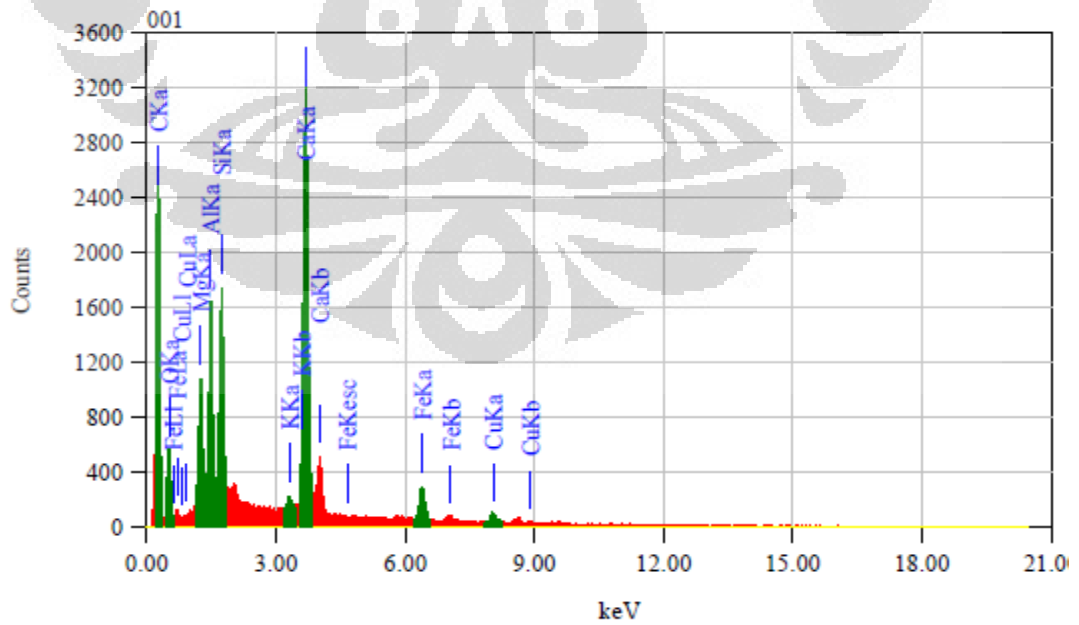


(b)



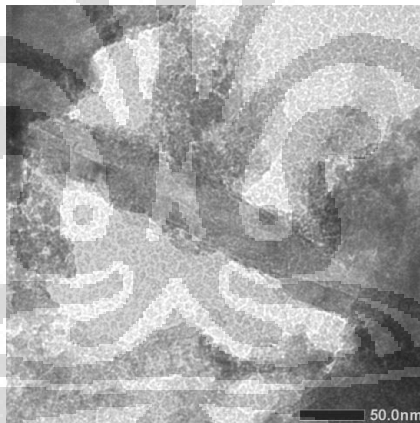
(c)

Gambar 4.11 Hasil (a) FE-SEM, (b) SEM-EDS, (c) TEM Nanokarbon Pada 800°C



Gambar 4.12 Hasil SEM-EDS Pada 800°C Selama 30 menit

Dengan peningkatan temperatur reaksi ternyata masih belum bisa menghasilkan CNT dengan kualitas yang baik, oleh karena itu dilakukan perbaikan metode preparasi impregnasi katalis dengan karbon aktif kembali. Perbedaan impregnasi katalis dan karbon aktif dari yang sebelumnya adalah pada impregnasi yang baru ini karbon aktif dikalsinasi terlebih dahulu pada temperatur 400°C di dalam *furnace* yang bertujuan untuk membuat luas permukaan karbon aktif menjadi lebih besar dan karbon aktif yang telah diimpregnasikan dengan katalis Fe dikalsinasi dibawah N_2 dengan tujuan N_2 dapat membersihkan karbon aktif sehingga karbon aktif dapat menempel dengan katalis Fe. Karbon aktif dan katalis yang telah di impregnasi kemudian direaksikan dengan metana pada temperatur 700°C selama 60 menit dan morfologi nanokarbon yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.13. Dari Gambar 4.13 terlihat bahwa nanokarbon yang dihasilkan berupa CNT dengan diameter 50 nm, selain itu CNT yang dihasilkan ini jauh lebih bersih, terlihat dari konversi metana dan kemurnian H_2 yang lebih tinggi dari pada reaksi dengan preparasi yang sebelumnya.



Gambar 4.13 Hasil TEM pada 700°C (Karbon Aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu)

Parameter-parameter yang berperan dalam sintesis CNT adalah sumber karbon, penyangga katalis, tekanan, temperatur dan waktu reaksi. Metana merupakan sumber karbon yang baik karena metana merupakan hidrokarbon dengan perbandingan hidrogen per karbon yang paling tinggi dan metana dapat diperoleh langsung dari alam tanpa harus diolah terlebih dahulu, sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Parameter yang kedua adalah waktu reaksi, dengan semakin lamanya waktu reaksi, maka kesempatan antara reaktan untuk kontak

dengan katalis semakin lama dan kesempatan untuk bereaksi semakin besar, tetapi dengan waktu yang lebih lama lagi tidak bagus karena reaktan yang tersisa sudah tidak mampu lagi untuk bereaksi lebih lanjut karena telah mencapai kesetimbangan atau stabilitas katalis berkurang. Selain waktu reaksi, substrat untuk pertumbuhan nanokarbon yang digunakan juga harus diperhatikan apakah sudah memiliki kualitas yang baik sebagai substrat untuk pertumbuhan CNT, pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah karbon aktif dengan luas permukaan $176,8 \text{ m}^2/\text{g}$, dan ternyata luas permukaan karbon aktif ini masih kurang untuk substrat pertumbuhan CNT. Karbon aktif yang baik yang biasanya digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan nanokarbon umumnya mempunyai luas permukaan kurang lebih $800 \text{ m}^2/\text{g}$ (Bai, 2007). Kurangnya luas permukaan ini dikarenakan temperatur aktivasi karbon aktif yang kurang. Pada pembuatan karbon aktif temperatur aktivasi yang digunakan adalah 600°C sedangkan untuk menghasilkan karbon aktif menurut Mopoung, 2008 temperatur aktivasi yang digunakan adalah pada 700°C . Selain itu, seharusnya arang karbon dihancurkan terlebih dahulu sebelum dicampurkan dengan zat aktivasinya, hal ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran arang karbon yang seragam dan lebih kecil, sehingga saat proses aktivasi nantinya akan semakin banyak pori-pori yang terbentuk, maka luas permukaan yang dihasilkan juga akan lebih besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

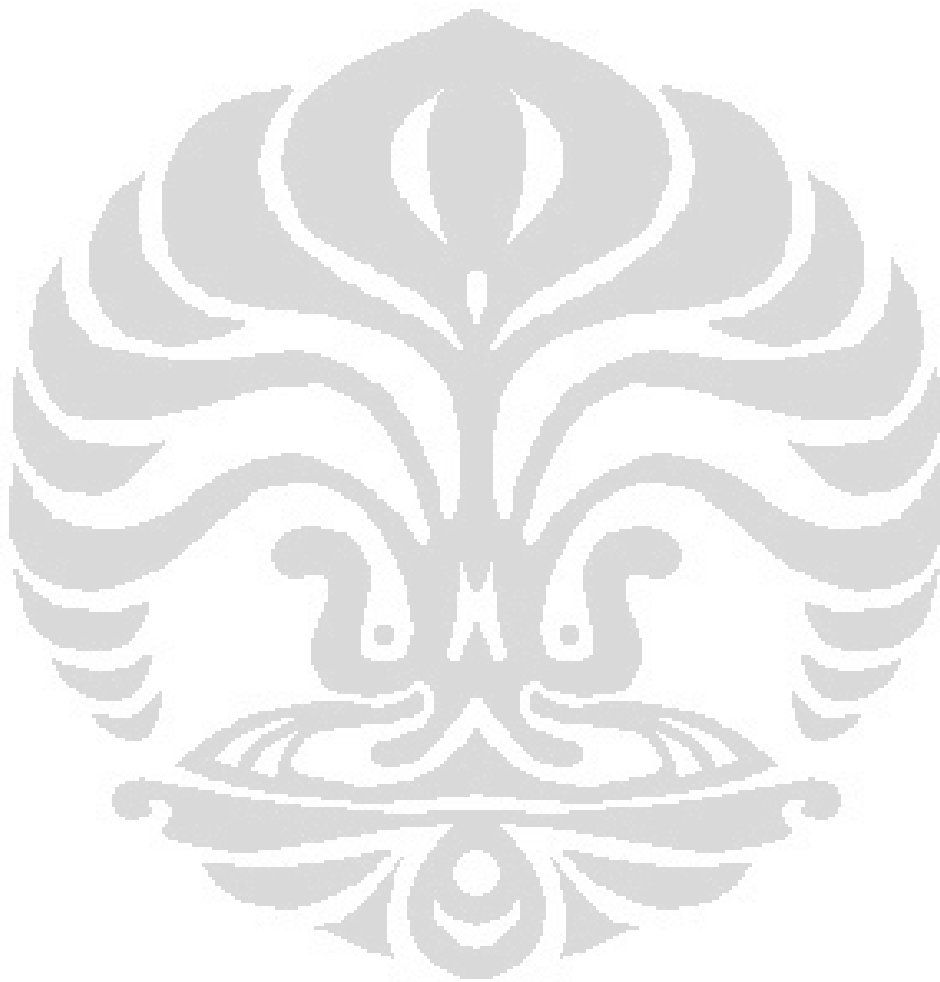
5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Waktu terbaik untuk menghasilkan nanokarbon dengan jenis CNT pada temperatur 700°C adalah selama 120 menit dengan diameter 10 nm. Peningkatan waktu reaksi menjadi 300 menit mengarahkan pembentukan nanokarbon berkualitas rendah yang terbentuk semakin banyak.
2. Peningkatan temperatur reaksi dari 700°C menjadi 800°C membuat diameter nanokarbon semakin besar dari 10 nm menjadi 40 nm dan mengarahkan pembentukan ukuran nanokarbon menjadi tidak seragam.
3. Karbon aktif dengan luas permukaan yang rendah dapat menghasilkan nanokarbon jenis CNT jika dilakukan dengan metode preparasi, temperatur dan waktu reaksi yang tepat.
4. Karakteristik SEM dan TEM memperlihatkan pertumbuhan nanokarbon pada temperatur reaksi 700°C terbentuk CNF dengan jenis *carbon onions quashi-sphere* dan pada temperatur 800°C terbentuk CNT yang masih bercampur dengan nanofiber dan karbon kualitas rendah.
5. Karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu sebelum direaksikan dan kalsinasi saat impregnasi dibawah N₂ menghasilkan produk nanokarbon yang lebih bersih dibandingkan dengan kalsinasi saat impregnasi di dalam *furnace*.
6. Karakteristik nanokarbon pada temperatur reaksi 700°C dengan metode impregnasi yang baru menghasilkan nanokarbon jenis CNT dengan diameter 50 nm.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan untuk menghancurkan arang karbon sebelum diaktivasi dan menaikkan temperatur saat proses aktivasi karbon aktif agar didapatkan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar. Melakukan metode preparasi katalis dan karbon aktif yang tepat, yaitu dengan melakukan kalsinasi karbon aktif terlebih dahulu sebelum diimpregnasi.

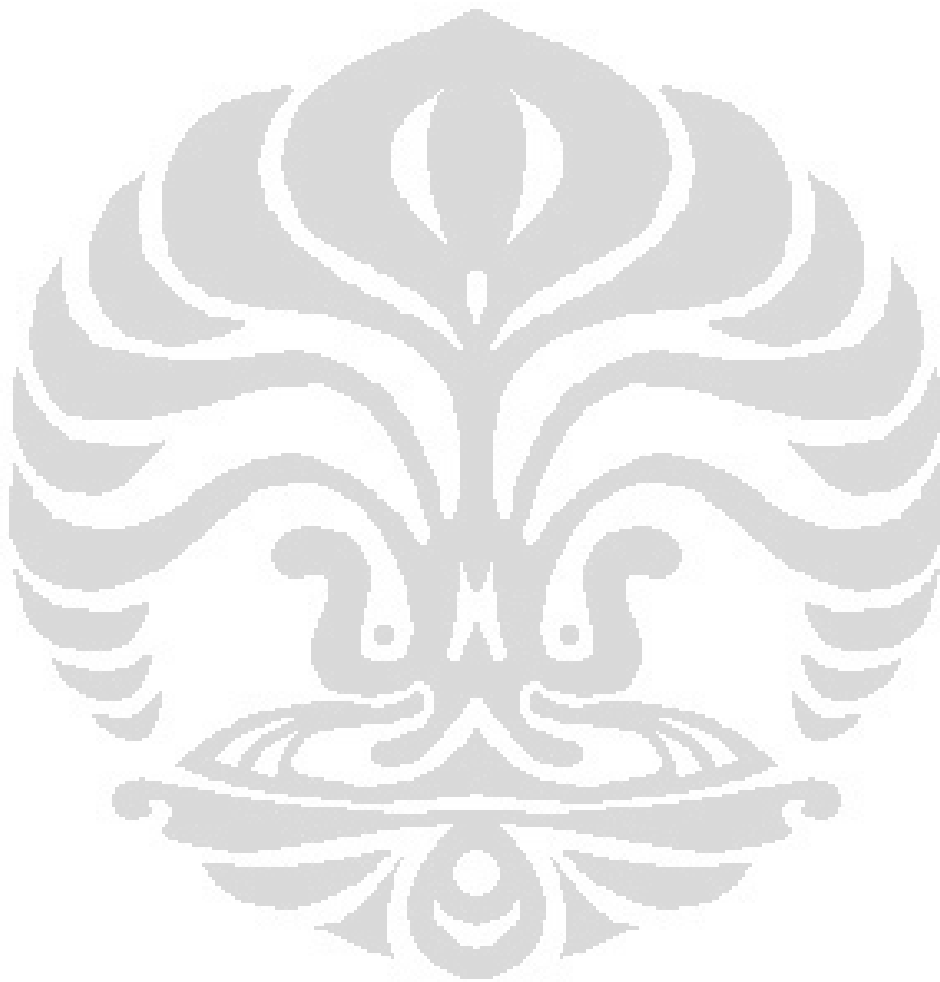


DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2009). Produksi Buah-buahan di Indonesia (Diakses pada 12 Desember 2011). http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=55¬ab=3
- AlSaadi, Mohammed., et al. (2011). *Synthesis of Various Carbon Nanomaterials (CNMs) on Powdered Activated Carbon*. African Journal of Biotechnology Vol. 10 (81).
- Bai, Zongqing., et al. (2007). *Methane Decomposition Over Ni Loaded Activated Carbon For Hydrogen Production and the Formation of Filamentous Carbon*. International Journal of Hydrogen Energy 32: 32-37
- Chand Bansal, Roop dan Meenakshi Goyal. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. Lewis Publisher, United States of America .
- Chen, Xiao-Wei., et al. (2007). *The Morphology, Porosity and Productivity Control of Carbon Nanofibers or Nanotubes on Modified Activated Carbon*. Letters to the Editor/Carbon 45:895-989
- Daenan. M., et al., (2003). *Wondrous World of Carbon Nanotubes*. Eindhoven University of Technology.
- Gullon, IM., et.al . (2006). Differences Between Carbon Nanofibers Produce Using Fe and Ni Catalyst in a Floating Catalyst Reactor. *Chemical Engineering Departmen, University of Alicante*. Carbon 44:1572-1580.
- He, C., Zhao, N., Shi, C., Xiwen, D., Li, J. (2006). *Carbon Nanotubes and Onions From Methane Decomposition Using Ni/Al Catalyst*. Material Chemistry.
- Iijima, Sumio. (2002). Carbon Nanotubes: Past, Present and Future. *Department of Materials Science and Engineering, Meijo University*. Physica B: 323 (1-5).
- Lee, Y. T.; Park, J. (2002). Temperature dependent growth of vertically aligned carbon nanotubes in the range 800-1100 °C. *J. Phys. Chem. B*, 106 (31), 7614.
- Leone. C. (2006). *High Performance Synthesis and Purification of Carbon Nanotubes*. Department of Chemical and Food Engineering.
- Lidya. (2012). *Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia Menggunakan KOH dan Zncl₂*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia

- Mopoung, S. (2008). Surface Image of Charcoal and Activated Charcoal From Banana Peel. *Journal of Microscopy Society of Thailand*, 22: 15-19
- Mopoung, S. (2011). Occurrence of Carbon Nanotube From Banana Peel. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(7), pp. 1789-1792
- Nur, Adrian., et al. (2008). Sintesis dan Purifikasi Carbon Nanotube dari Etanol. *Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret*. *Ekuilibrium* Vol. 7 No. 1:37 – 47.
- Parinduri, Wilda Yuni. (2011). *Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Pertumbuhan Nanokarbon Melalui Dekomposisi Katalitik Metana*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Pettersson, J., dan Ove, H. (1999). *Hydrogen Storage Alternative – A Technological and Economics Assesment*. KFB Report.
- Pujiyanto. 2010. *Tesis : Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batu Bara dan Tempurung Kelapa*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Purwanto W.W., M. Nasikin, E. Saputra, L. Song (2005). Decomposition of Methane to Produce NanoCarbon and Hydrogen with Ni-Cu-Al-Si as the Catalyst, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, UNDIP Semarang
- Rao CNR, Satishkumar BC, Govindaraj A, Nath M. (2001). Nanotubes. *Chemphyschem* ;2:78-105.
- Shafa, Shantya. (2009). *Aplikasi Pengadukan Ultrasonik dan Pemanasan Microwave untuk Memurnikan Karbon Nanotube yang Disintesis dengan Metode Dekomposisi Katalitik Metana*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Shivakumar, V.M., et al. (2011). *Optimized Parameters For Carbon Nanotubes Synthesis Over Fe and Ni Catalyst Via Methane CVD*. University Sains Malaysia. *Sci* 27:25-30.
- Snoeck, J.W et al. (1997). Kinetic Study of the Carbon Filament Formation by Methane Cracking on a Nickel Catalyst. *Journal of Catalysis* 159: 250:262.
- Tanaka, K., T. Yamabe., dan K. Fukui. (1999). *The Science and Technology of Carbon Nanotubes*. The Boulevard, Langford lane Kidlington, Oxford OX5.

Wulan, Praswasti Pembangun Dyah Kencana. (2011). *Reaksi Dekomposisi Metana dengan Katalis Ni-Cu-Al untuk Produksi Carbon Nanotube: Kinetika Reaksi dan Pemodelan Reaktor*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



LAMPIRAN A. KARAKTERISASI KARBON AKTIF

A.1 Karakterisasi BET

Date: 05/14/2012 Page 1

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	K . Aktif				
Description	imia ribka				
Comments					
Sample Weight	0.3076 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	589.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/11/2012 23:50
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977866.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	6				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.768E+02	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.733E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.719E+02	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.911E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	2.573E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

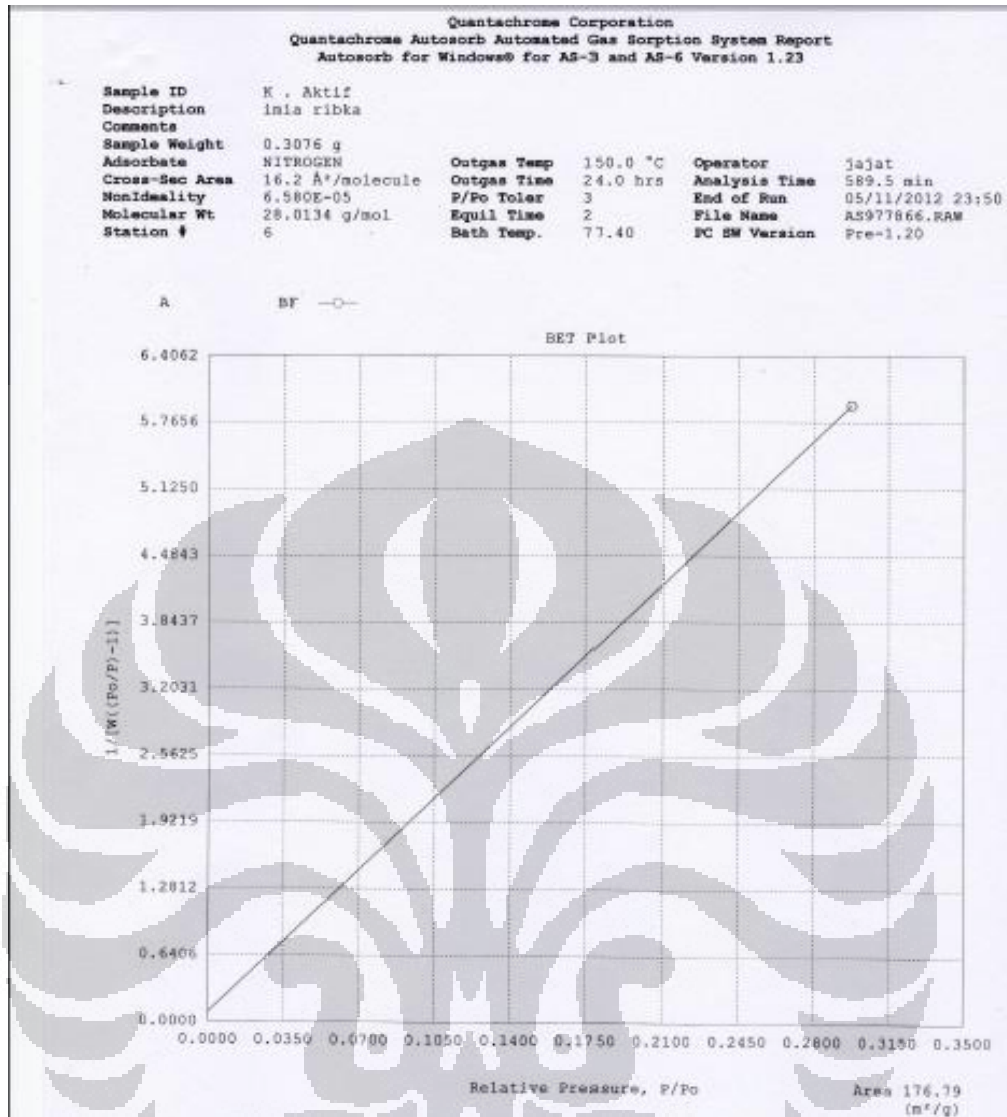
t-Method Micro Pore Volume.....	2.855E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	9.144E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	7.539E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	7.728E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1.177E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.820E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.327E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.482E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 765.25 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.



Date: 05/14/2012

Page 1

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	K. Aktif	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Description	imia ribka	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	589.5 min
Comments		P/Po Toler	3	End of Run	05/11/2012 23:50
Sample Weight	0.3076 g	Equil Time	2	File Name	AS977866.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule				
NonIdeality	6.580E-05				
Molecular Wt	28.0134 g/mol				
Station #	6				

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP
4.7677e-02	35.5592
7.5449e-02	41.0403
9.8752e-02	42.7845
1.5023e-01	48.5644
2.0329e-01	51.8462
2.4763e-01	53.7607
2.9788e-01	55.6369

A.2 Karakterisasi XRD

***** Basic Data Process *****

Group : 30
Data : CA

Strongest 3 peaks

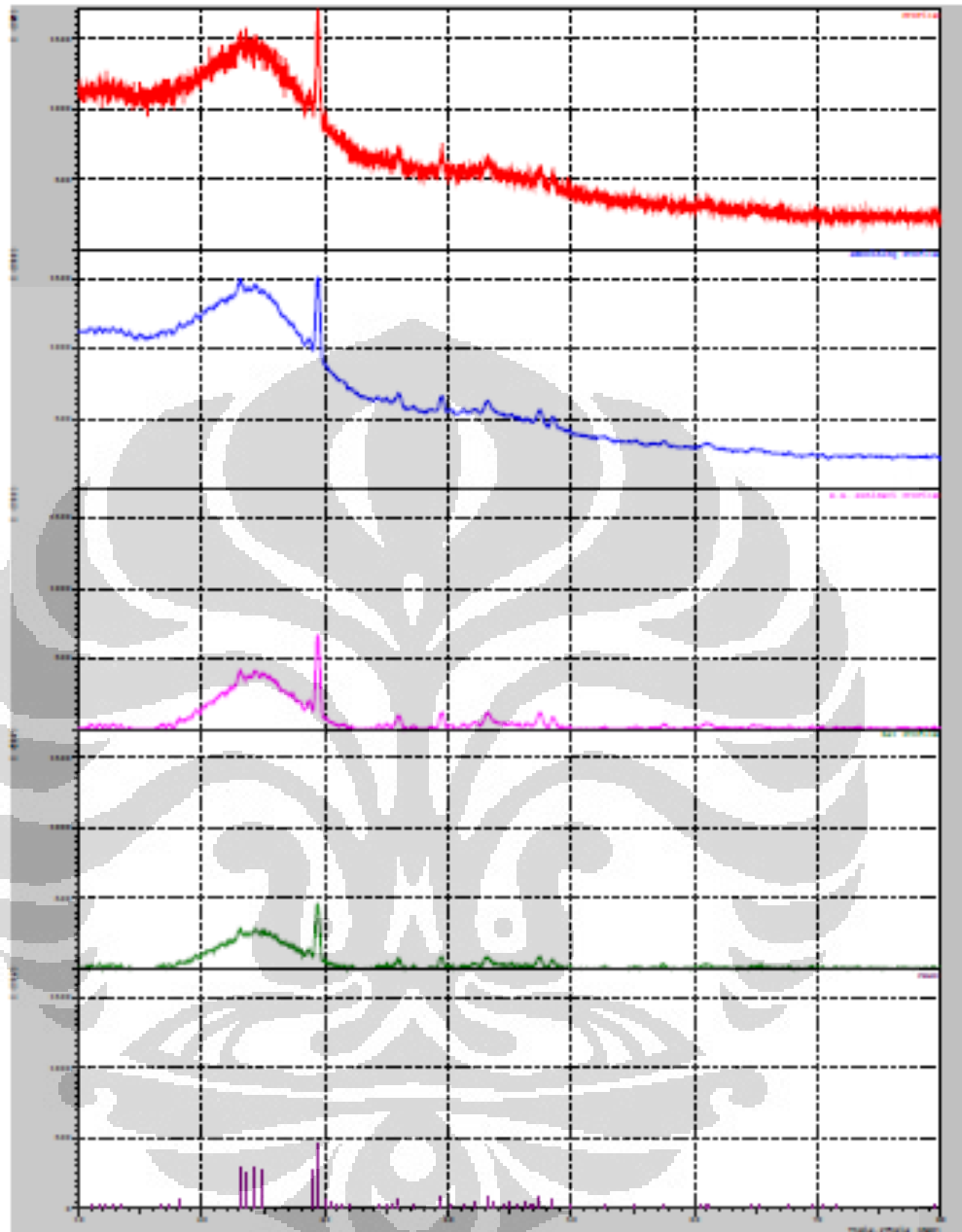
no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	29.3743	3.03817	100	0.44130	273	6962
2	24.2800	3.66284	62	0.00000	169	0
3	23.0600	3.85379	62	0.00000	168	0

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.0425	8.00603	5	0.27500	13	284
2	11.6650	7.58016	5	0.33000	15	255
3	12.1550	7.27566	5	0.23000	13	176
4	13.7700	6.92661	6	0.38000	16	308
5	13.3191	6.64226	4	0.30830	11	189
6	16.7333	5.29390	5	0.41330	15	324
7	17.3300	5.11294	6	0.36660	16	288
8	18.1600	4.88108	11	0.48000	31	1261
9	23.0600	3.85379	62	0.00000	168	0
10	23.6400	3.76054	55	0.00000	151	0
11	24.2800	3.66284	62	0.00000	169	0
12	24.9200	3.57020	59	0.00000	162	0
13	28.9200	3.08485	59	0.00000	162	1
14	29.3743	3.03817	100	0.44130	273	6962
15	30.0600	2.97041	12	0.56000	34	1037
16	30.5600	2.92294	7	0.48000	20	505
17	30.9800	2.88426	4	0.60000	10	0
18	31.4200	2.84487	5	0.55000	14	436
19	32.0800	2.78783	3	0.12000	9	106
20	34.2633	2.61501	4	0.27330	12	221
21	34.9800	2.56306	5	0.34660	15	371
22	35.4800	2.52808	3	0.00000	9	0
23	35.9320	2.49730	15	0.46400	40	975
24	37.2200	2.41379	4	0.16000	12	157
25	39.4260	2.28366	18	0.40400	48	1151
26	40.1800	2.24253	4	0.32000	12	248
27	41.2166	2.18849	5	0.39330	14	296
28	42.1000	2.14459	7	0.76000	20	789
29	43.2100	2.09204	18	0.66000	49	1262
30	43.7000	2.06971	9	1.08000	25	942
31	44.4400	2.03695	7	0.24000	19	267
32	45.0466	2.01092	8	0.38670	22	540
33	45.6633	1.98518	7	0.28670	19	372
34	46.3220	1.95848	8	0.19600	21	230
35	46.5800	1.94823	5	0.29340	14	185
36	47.0000	1.93179	5	0.30000	15	265
37	47.4000	1.91630	18	0.60930	60	1318
38	48.4833	1.87610	14	0.43330	38	995
39	49.8050	1.82936	3	0.09000	9	65
40	52.7466	1.73406	3	0.14670	8	115
41	55.1916	1.66289	3	0.24330	9	168
42	57.4966	1.60158	5	0.40670	15	489
43	60.4000	1.53135	3	0.68000	8	70
44	60.8800	1.52042	7	0.56000	18	365
45	61.1800	1.51368	6	0.72000	16	595
46	64.6600	1.44037	5	0.32000	13	263
47	65.2400	1.42896	4	0.44000	11	351
48	67.6800	1.38325	4	0.24000	11	198
49	69.4900	1.35158	4	0.26000	10	189

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
50	70.4150	1.33608	3	0.17000	9	134
51	71.4550	1.31916	3	0.31000	8	195
52	79.4300	1.20554	3	0.22000	8	118

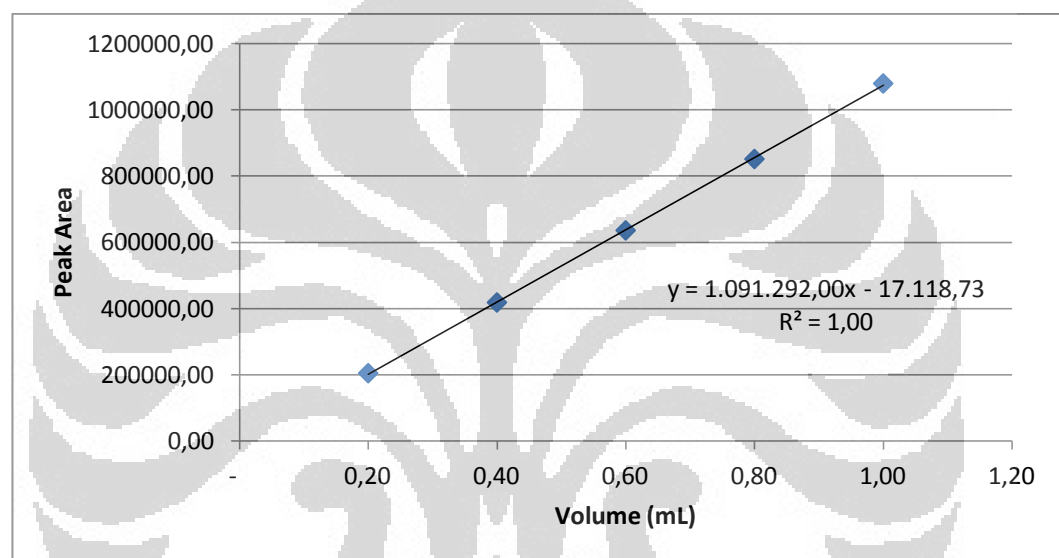
< Group: 30 Data: CA >



LAMPIRAN B KALIBRASI GC

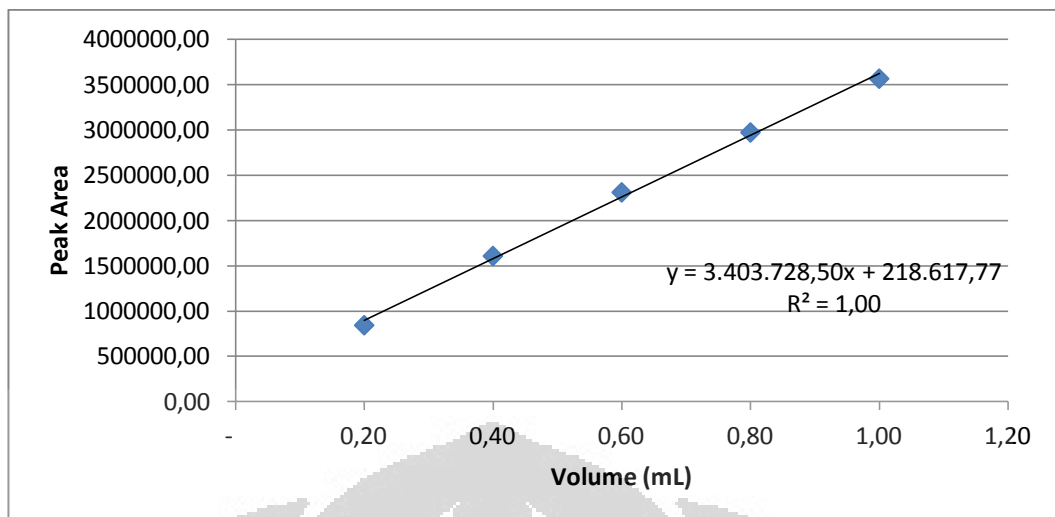
- Kalibrasi Gas Metana

Volume (mL)	PA
0,20	204434,00
0,40	418004,33
0,60	635559,67
0,80	851112,33
1,00	1079172,00



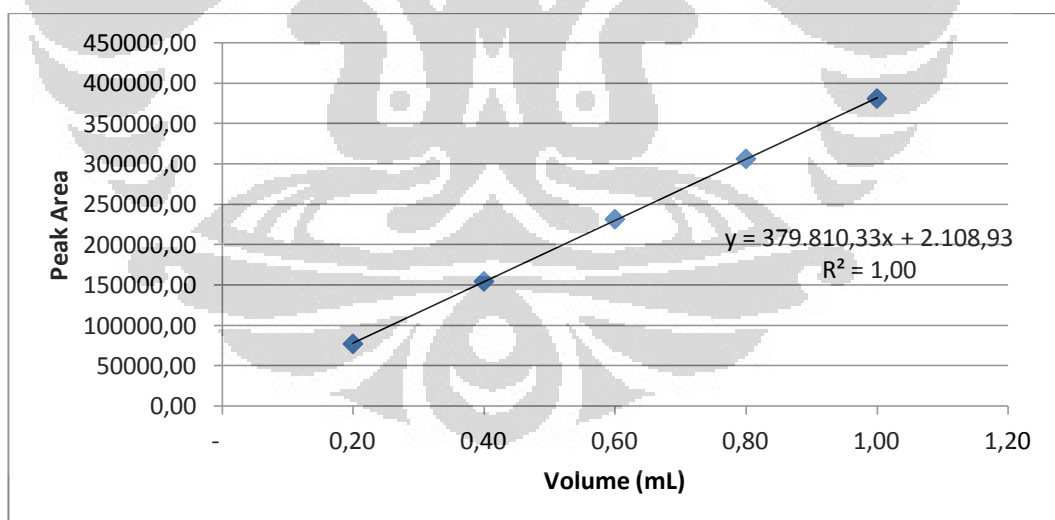
- Kalibrasi Gas Hidrogen

Volume (mL)	PA
0,20	844658,00
0,40	1608923,33
0,60	2311535,33
0,80	2972619,00
1,00	3566538,67



- Kalibrasi Gas Karbon Monoksida

Volume (mL)	PA
0,20	76992,67
0,40	154415,33
0,60	231453,33
0,80	306207,33
1,00	380907,00



- Kalibrasi Gas Karbon Dioksida

Volume (mL)	PA
0,20	64475,00
0,40	128229,33
0,60	191277,33
0,80	253291,67
1,00	314293,33

