



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERTUMBUHAN NANOKARBON MENGGUNAKAN KARBON  
AKTIF DARI LIMBAH KULIT PISANG DENGAN METODE  
PIROLISIS SEDERHANA DAN DEKOMPOSISI METANA**

**SKRIPSI**

**NAJMA  
0906604584**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERTUMBUHAN NANOKARBON MENGGUNAKAN KARBON  
AKTIF DARI LIMBAH KULIT PISANG DENGAN METODE  
PIROLISIS SEDERHANA DAN DEKOMPOSISI METANA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**NAJMA**

**0906604584**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama** : Najma

**NPM** : 0906604584

**Tanda Tangan** : 

**Tanggal** : 28 Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Najma  
NPM : 0906604584  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pisang dengan Metode Pirolisis Sederhana dan Dekomposisi Metana

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 syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak mungkin untuk terselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Praswasti Pembangun Dyah Kencana Wulan, MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran, serta kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Dr. Ir. Setiadi M.Eng selaku pembimbing akademik penulis.
4. Keluarga penulis: Abih, bunda, kakak dan adik, atas pengertian serta dukungan moral dan materialnya yang tak terhingga.
5. Kang Jajat dan Mang Ijal selaku Teknisi laboratorium yang telah membantu saya secara teknis
6. Imia Ribka selaku teman satu penelitian yang saling membantu dan memberikan semangat dalam penyusunan makalah ini;
7. Semua pihak yang telah membantu penyusunan makalah skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung;

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan yang ada.

Depok, 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 : Najma  
NPM : 0906604584  
Program studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : 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 :

**PERTUMBUHAN NANOKARBON MENGGUNAKAN KARBON  
AKTIF DARI LIMBAH KULIT PISANG DENGAN METODE PIROLISIS  
SEDERHANA DAN DEKOMPOSISI METANA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/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



(Najma)

## ABSTRAK

Nama : Najma  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pisang dengan Metode Pirolisis Sederhana dan Dekomposisi Metana

Dalam penelitian ini, karbon aktif dari limbah kulit pisang digunakan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan nanokarbon dan karbon nanotube.. Proses pertumbuhannya adalah dengan menggunakan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana. Dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk menghasilkan CNT dengan pirolisis sederhana yaitu  $950^{\circ}\text{C}$  sedangkan karbon aktif yang diimpregnasi dengan katalis Fe dan didekomposisi metana menghasilkan MWCNT tipe tip-growth. Aliran  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  memiliki hasil yang lebih baik daripada hanya aliran  $\text{CH}_4$  dalam suhu  $800^{\circ}\text{C}$  dan waktu reaksi 1 jam.

Karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu dapat menghasilkan nanokarbon dengan diameter lebih rendah yaitu 1,5-23nm dari pada karbon aktif tanpa kalsinasi (17-40nm). Konsentrasi metana rata-rata 1%wt Fe/karbon aktif 65,27% lebih besar daripada 5%wt Fe/karbon aktif 64,30%.

Karbon aktif dari limbah kulit pisang ini dapat menghasilkan nanokarbon dan karbon nanotube walaupun memiliki luas permukaan rendah

### **Kata kunci :**

karbon nanotube, nanokarbon, pirolisis sederhana, dekomposisi metana, impregnasi katalis, karbon aktif, dari limbah kulit pisang.

## ABSTRACT

Nama : Najma  
Program Studi : Chemical Engineering  
Judul : Growth of Nanocarbon from banana peel activated carbon with  
Simplicity Pyrolysis Methode and Decomposition Methane.

Activated Carbon (AC) from banana peel waste is used to growth of nanocarbon and carbon nanotube with Simplicity pyrolysis method and methane chemical vapour decomposition. Synthesis nanocarbon with simplicity pyrolysis have to in high temperature  $950^{\circ}\text{C}$  but with catalytic impregnation Fe and activated carbon via methane chemical vapour decomposition can produce MWCNT. CNTs formed over Fe catalyst illustrated a typical *tip-growth phenomenon*. The ideal condition at reaction temperature of  $800^{\circ}\text{C}$  and reaction time of 1 hour for Nanocarbons growth was noticed under  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  gas flow ratio of 2:1 rather than only  $\text{CH}_4$  atmosphere. Activated carbon with calcination can produce nanocarbon with small diameter (1,5nm-23nm) rather than activated carbon with non-calcination (17-40nm). Average methane concentration 1%wt Fe/AC (65,27%) more high than 5%wt Fe/AC (64,30%). Therefore as a result, banana peel activated carbon can produce nanocarbon although have low-surface area.

### Keywords :

Carbon Nanotube, Nanocarbon, simplicity pyrolysis, methane chemical vapour decomposition, catalyst impregnation, banana peel activated carbon

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIK.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN .....	xvii
DAFTAR ISTILAH.....	xviii
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penulisan .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Karbon Aktif .....	6
2.2 Karbon Aktif dari Kulit Pisang.....	8
2.2.1 Pisang ( <i>Musa Paradisiaca L.</i> ).....	8
2.2.2 Kandungan Kimia dalam Kulit Pisang.....	9
2.2.3 Kulit Pisang Sebagai Sumber Karbon Aktif.....	10
2.3 Nanokarbon .....	11
2.4 Karbon Nanotube .....	13

2.4.1 Sifat Fisik Karbon Nanotube .....	13
2.4.2 Aplikasi Karbon Nanotube.....	14
2.4.3 Pasar Karbon Nanotube .....	16
2.4.4 Prospek CNT pada masa mendatang dan Hambatan yang Muncul...	18
2.5 Sintesis Karbon Nanotube .....	19
2.6 Pertumbuhan Nanokarbon dari Campuran Karbon Aktif Kulit Pisang dan Minyak Mineral dengan Metode Pirolisis Sederhana.....	20
2.7 Dekomposisi Metana .....	24
2.7.1 Peranan katalis dalam Dekomposisi Metana.....	24
2.7.2 Impregnasi Katalis terhadap Karbon Aktif .....	25
2.8 Mekanisme Reaksi Dekomposisi Metana terhadap Katalis Fe/Karbon Aktif .....	27
2.9 Metode Karakterisasi.....	30
3. METODOLOGI PENELITIAN .....	33
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Prosedur Penelitian .....	35
3.2.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Pisang .....	35
3.2.2 Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Campuran Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pisang dan Minyak Mineral 2% dengan Metode Pirolisis Sederhana .....	38
3.2.3 Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon aktif dari Limbah Kulit Pisang dengan Dekomposisi Metana.....	40
3.2.3.1 Karbon Aktif tanpa Kalsinasi .....	40
3.2.3.2 Karbon Aktif dengan Kalsinasi .....	41
3.3 Skema Peralatan.....	43
4. PEMBAHASAN DAN HASIL .....	44
4.1 Hasil XRD Karbon Aktif.....	44
4.2 Hasil SEM Karbon Aktif.....	48
4.3 Pertumbuhan Nanokarbon dari Campuran Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang dan Minyak Mineral dengan Metode Pirolisis sederhana .....	49
4.3.1 Hasil XRD dari Pirolisis Sederhana .....	49
4.3.2 Hasil EDS dari Pirolisis Sederhana .....	51

4.3.3 Hasil TEM dari Pirolisis Sederhana .....	52
4.4 Pertumbuhan Nanokarbon dari Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang dengan Katalis Fe Menggunakan Metode Dekomposisi Metana .....	53
4.4.1 Hasil XRD Nanokarbon 1%wt Fe/Karbon Aktif Tanpa Kalsinasi ..	53
4.4.2 Hasil TEM Nanokarbon 1%wt Fe/Karbon Aktif Tanpa Kalsinasi ..	54
4.5 Pertumbuhan Nanokarbon dari Karbon Aktif Kulit Pisang dengan Katalis Fe Menggunakan Metode Dekomposisi Metana bersama Nitrogen.....	56
4.5.1 Hasil XRD Nanokarbon 1% dan 5% wt Fe/Karbon Aktif Kalsinasi	56
4.5.2 Hasil TEM Nanokarbon 1% dan 5% wt Fe/Karbon Aktif Kalsinasi	57
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	67

## DAFTAR GAMBAR

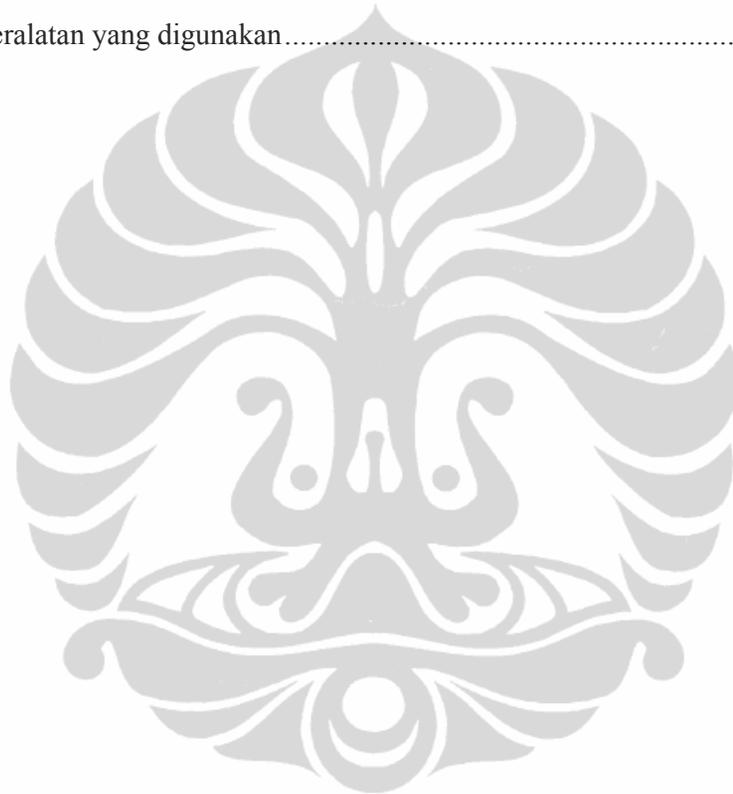
Gambar 2.1	Struktur Grafit Karbon Aktif (Jankowska,1991).....	7
Gambar 2.2	Karakteristik Gambar SEM pada permukaan karbon aktif dari kulit pisang dengan $H_3PO_4$ dengan suhu pirolisis pada $600^\circ C$ yang dilakukan oleh (a) [S.Mopoung, 2011] (b) [Mopoung dan Thongcharoen,2009].....	11
Gambar 2.3	Berbagai Bentuk Struktur Karbon [Rao dan chen,2001, He dan Gullon,2006] .....	12
Gambar 2.4	Hasil penjualan CNT selama tahun 2010 .....	17
Gambar 2.5	Prediksi perkembangan pasar untuk gabungan nanokarbon (carbon fiber, CNT, dan grapheme) .....	18
Gambar 2.6	Karakteristik CNT dengan SEM yang disintesis pada suhu a) $700^\circ C$ , b) $800^\circ C$ , c) $900^\circ C$ dan d) $1000^\circ C$ .....	20
Gambar 2.7	Karakteristik TEM terhadap CNT yang berasal dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% menggunakan pirolisis .	22
Gambar 2.8	Karakteristik XRD terhadap CNT yang berasal dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% menggunakan pirolisis.....	23
Gambar 2.9	Mekanisme reaksi permukaan dekomposisi katalitik metana .....	27
Gambar 2.10	Mekanisme reaksi dekomposisi katalitik metana terhadap karbon aktif.....	27
Gambar 2.11	Mekanisme pertumbuhan karbon nanotubes (Zhang,2002).....	28
Gambar 2.12	Peristiwa katalis dalam karbon aktif dalam mekanisme pertumbuhan nanokarbon dan CNT (Dang Sheng Su, 2005) .....	29
Gambar 2.13	Hasil TEM CNT yang dibuat dari katalisasi Fe pada karbon aktif (a) $750^\circ C$ (b) $850^\circ C$ dan dari katalisasi Ni pada karbon aktif (c) $750^\circ C$ (d) $850^\circ C$ pada laju alir gas $N_2/CH_4$ (2:1) (Sivakumar et al, 2011) .	29

Gambar 2.14 Hasil gambar SEM carbon nanofibers (CNF) yang tumbuh pada 1%wt Fe/karbon aktif dengan suhu 700 °C pada laju alir gas 60% C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> (Dang sheng su,et al 2005).....	30
Gambar 2.15 Mekanisme X-Ray Diffraction .....	32
Gambar 2.16 Contoh hasil XRD (Astini, 2008).....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Pertumbuhan nanokarbon menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang dengan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana.....	34
Gambar 3.2 Kulit Pisang sebelum masuk oven.....	35
Gambar 3.3 Kulit pisang setelah dioven (dikeringkan) .....	35
Gambar 3.4 Skema Reaktor <i>Batch</i> untuk proses aktivasi (pirolisis) dan Karbonisasi vakum .....	36
Gambar 3.5 Alat percobaan karbonisasi <i>furnace</i> .....	36
Gambar 3.6. Hasil karbonisasi vakum (a) dan karbonisasi <i>furnace</i> (b).....	36
Gambar 3.7 Perendaman arang dengan zat activator.....	37
Gambar 3.8 Hasil saringan Arang kulit pisang karbonisasi <i>furnace</i> (a) Hasil saringan arang kulit pisang karbonisasi vakum (b) .....	37
Gambar 3.9 Hasil arang kulit pisang yang telah di aktivasi dan dikeringkan(a), (b) dan (c) Hasil karbon aktif yang telah dipirolisis 600°C untuk arang karbonisasi vakum, (d) Hasil karbon aktif yang telah dipirolisis 600°C untuk arang karbonisasi <i>furnace</i> .....	37
Gambar 3.10 Proses pencucian karbon aktif dengan larutan HCL 5N.....	38
Gambar 3.11 Hasil Saring Karbon Aktif 400 mesh.....	38
Gambar 3.12 <i>Stainless steel Tube</i> sebelum di welding (a) dan sesudah diwelding (b).....	39
Gambar 3.13 <i>Stainless steel</i> hasil pirolisis I.....	39
Gambar 3.14 <i>Stainless steel</i> hasil pirolisis II .....	39
Gambar 3.15 Rangkaian alat pirolisis sederhana (a) modifikasi metode pirolisis sederhana dari (b) (mahanandia et al,2008) .....	40
Gambar 3.16 Hasil impregnasi 1% wt Fe/karbon aktif setelah dikeringkan .....	40
Gambar 3.17 Karbon aktif setelah kalsinasi dalam <i>furnace</i> 400°C selama 4 jam. 41	
Gambar 3.18 Larutan Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O ± 0.09 M.....	41

Gambar 3.19 Skema Reaktor <i>Atmospheric Fixed Bed</i> dan reactor kuarsa untuk proses impregnasi katalis dan proses penumbuhan nanokarbon .....	43
Gambar 3.20 <i>Gas Chromatography</i> .....	43
Gambar 4.1 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang sebelum aktivasi .....	45
Gambar 4.2 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang setelah aktivasi .....	46
Gambar 4.3 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang setelah aktivasi (pencucian dan penetrala) .....	47
Gambar 4.4 SEM karbon aktif vakum (a) dan Contoh gambar SEM karbon aktif kulit pisang (Mopoung,2008) .....	49
Gambar 4.5 Hasil XRD CNT campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% .....	50
Gambar 4.6 Hasil EDS CNT pirolisis I (a) CNT pirolisis II (b) .....	51
Gambar 4.7 Gambar TEM Hasil Pirolisis 1 .....	52
Gambar 4.8 Hasil XRD nanokarbon impregnasi 1% wt Fe/karbon aktif (tanpa kalsinasi) .....	53
Gambar 4.9 Hasil gambar TEM yang menunjukkan (a) 1%wt Fe/karbon aktif yang belum membentuk CNT (b) 1%wt Fe/karbon aktif yang sudah membentuk CNT .....	54
Gambar 4.10 Hubungan konsentrasi metana dengan waktu pada 1%wt Fe/karbon aktif tanpa kalsinasi .....	55
Gambar 4.11 Hasil XRD nano karbon 1%wt dan 5%wt Fe/karbon aktif .....	56
Gambar 4.12 Karakteristik TEM 1% wt (a) dan 5% wt (b) Fe/karbon aktif .....	57
Gambar 4.13 Hubungan konsentrasi metana dengan waktu pada 1%wt dan 5%wt Fe/karbon aktif kalsinasi .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Produksi Buah-buahan (Ton),2010 .....	8
Tabel 2.2 Kandungan Kulit Pisang.....	9
Tabel 2.3 Penggunaan CNT dan perkembangannya .....	17
Tabel 2.4 <i>State of the Art</i> .....	21
Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan.....	33



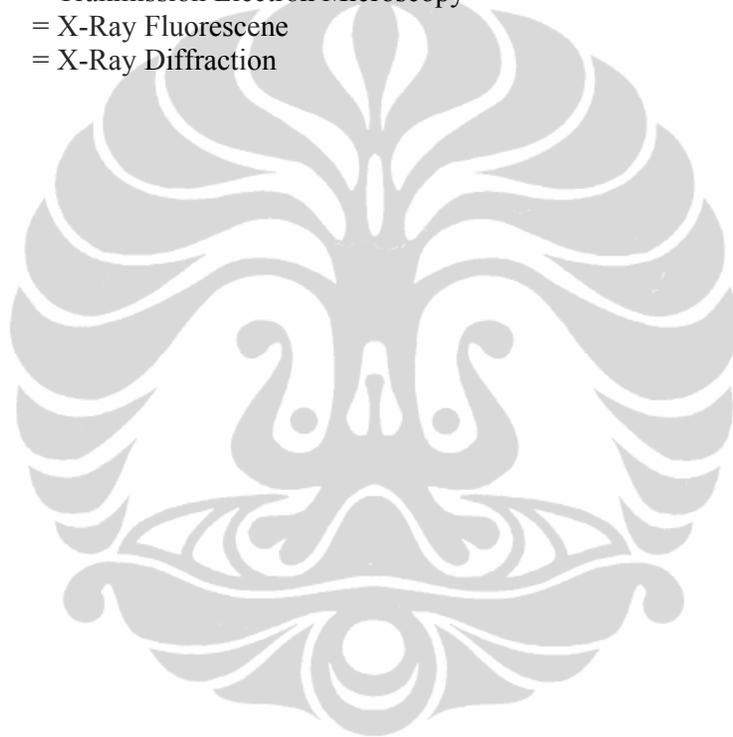
## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Perhitungan Molaritas dan Konsentrasi Larutan. ....	67
LAMPIRAN B. Karakteristik Karbon Aktif.....	68
LAMPIRAN C. Karakterisasi CNT Metode Pirolisis Sederhana .....	76
LAMPIRAN D. Karakterisasi CNT Metode Dekomposisi Metana .....	81



## DAFTAR SINGKATAN

BET	= Brunauer, Emmet & Teller
CNT	= Carbon Nanotube
CNF	= Carbon Nanofiber
CVD	= Chemical Vapour Deposition
MDR	= Methane Decomposition Reaction
MWNT	= Multi-walled Nanotube
SEM	= Scanning Electron Microscopy
TEM	= Transmission Electron Microscopy
XRF	= X-Ray Fluorescence
XRD	= X-Ray Diffraction



## DAFTAR ISTILAH

Cgraphite	= Kristal berbentuk Hexagonal terdiri dari unsur C (karbon)
Camorph	= Karbon amorph (karbon yang belum teraktivasi dan bersifat seperti arang biasa)
Fullerene	= Nanokarbon bersifat sama seperti CNT hanya saja berbentuk bulat bukan tube.
Porosity	= Porositas (pori-pori)
Peak	= Luas area yang menunjukkan intensitas
Intensitas	= Menyatakan tingginya kandungan
Impregnasi	= Salah satu metode penyatuan katalis terhadap media support agar inti aktif katalis terdispersi dan meningkatkan kerja katalis.
Impuritis	= Pengotor yang muncul karena adanya reaksi kimia (hasil sampingan reaksi kimia)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sejak ditemukan oleh Iijima (Ijima,1991) *carbon nanotube* (CNT) mulai menarik perhatian para peneliti untuk mengembangkannya karena mempunyai sifat mekanik, magnetik dan elektronik yang unik (Dai et al,1996) karena keunikan sifat-sifat tersebut maka CNT mempunyai keunggulan dan potensi yang besar untuk diaplikasikan diberbagai bidang antaranya transistor, penyimpan hidrogen, elektroda pada peralatan *display* (Popov, 2004). CNT merupakan nanokarbon yang berukuran nanometer dan salah satu produk nanoteknologi yang efektif dan efisien.

Kebutuhan CNT meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi global sehingga permintaan pasar akan CNT juga meningkat. Tingginya permintaan pasar akan CNT didorong oleh semakin banyaknya penggunaan material ini di berbagai sektor kehidupan. Mulai dari sektor industri, luar angkasa dan pertahanan, serta industri otomotif. [Lux Research inc, 2011]. Oleh sebab itu, sangat diharapkan CNT dapat diproduksi dengan biaya murah dan kuantitas yang dihasilkan juga dapat memenuhi permintaan yang dibutuhkan, beberapa metode dikembangkan untuk menghasilkan nanokarbon dengan kualitas unggul diantaranya *electric arc discharge*, *laser ablation*, tekanan tinggi karbon monoksida, dan *Chemical Vapour Deposition* (Paradise dan goswarni,2007).

Dalam pembuatan nanokarbon dibutuhkan sumber karbon yang memiliki kandungan karbon tinggi dan dari semua sumber material karbon yang ada kita dapat memanfaatkan limbah hayati sebagai unsur organik yang dapat dirubah menjadi karbon dengan pengaturan dekomposisi termal. Kulit pisang merupakan limbah hayati yang mengandung unsur karbon organik yang cukup tinggi (41,37%) (Mopoung, 2008) sehingga dapat kita manfaatkan sebagai sumber karbon aktif untuk menghasilkan nanokarbon dan di Indonesia tanaman ini bisa tumbuh dengan baik dan sangat populer.

Penelitian ini mempelajari pertumbuhan nanokarbon dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral (minyak pelumas) sebagai prekursor karbon dengan menggunakan metode pirolisis sederhana. Pirolisis merupakan metode yang sederhana dalam menghasilkan CNT dengan kualitas yang baik, biaya produksi murah, dan dapat diproduksi dalam skala besar. [Kapoor et al, 2007].

Penelitian ini juga mempelajari pertumbuhan nanokarbon dari campuran karbon aktif kulit pisang dan katalis logam Fe yang diimpregnasi kemudian didekomposisi metana. Dekomposisi metana merupakan metode yang dikembangkan di Departemen Teknik Kimia (DTK) sejak tahun 2005 (Widodo, 2005). Proses ini merupakan salah satu metode alternatif yang digunakan untuk menghasilkan nanokarbon dengan sintesis *Chemical Vapor Deposition* (CVD) (Liu et al., 1997; Pan et al., 1998; Zhu et al., 2002).

Dekomposisi metana merupakan metode yang paling menjanjikan untuk industrialisasi karena memiliki keunggulan dari segi biaya lebih ekonomis, lebih mudah dalam preparasi dan mudah dikontrol (Zhan, 2007). Selain itu, proses yang dikenal *Methane Decomposition Reaction* (MDR) mampu memproduksi hidrogen dan karbon berukuran nano secara simultan serta bebas produk samping gas CO dan CO<sub>2</sub>. Jumlah hidrogen dan nanokarbon yang dihasilkan tergantung pada dua faktor yaitu aktivitas dan stabilitas katalis (Chen, 2004).

Penelitian ini akan membandingkan dua metode pertumbuhan nanokarbon yang berbeda yaitu antara pirolisis sederhana (tanpa gas) dan dekomposisi metana (menggunakan gas metana) pada suhu 800°C selama 1 jam. Perbedaan metode ini akan dapat menunjukkan perbedaan hasil dan perkembangan metode yang selama ini telah dilakukan di DTK.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Pembahasan prosedur penelitian yang digunakan pada pertumbuhan nanokarbon menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang ini didasarkan atas permasalahan tentang:

1. Bagaimana limbah kulit pisang sebagai unsur organik dapat dirubah menjadi sumber karbon untuk pertumbuhan nanokarbon?
2. Bagaimana kualitas karbon aktif yang dihasilkan dari karbonisasi vakum dengan karbon aktif dari karbonisasi *furnace*?

3. Bagaimana perbedaan nanokarbon dan CNT yang dihasilkan dari metode yang selama ini dilakukan di DTK dengan metode pirolisis sederhana?
4. Bagaimana perbedaan nanokarbon dan CNT yang dihasilkan dari karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dahulu dengan karbon aktif tanpa kalsinasi sebelum didekomposisi metana?
5. Bagaimana pengaruh katalis logam Fe dalam pertumbuhan nanokarbon dan CNT dengan metode dekomposisi metana?

### I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana karbon aktif yang dihasilkan dari limbah kulit pisang dapat menghasilkan nanokarbon dan CNT.
2. Mendapatkan nanokarbon dari karbon aktif kulit pisang menggunakan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana.
3. Mempelajari Pertumbuhan nanokarbon dengan campuran karbon aktif dari kulit pisang dan minyak mineral menggunakan pirolisis sederhana.
4. Mempelajari sintesis karbon *nanotube* dengan campuran karbon aktif dari kulit pisang dan katalis Fe menggunakan metode CVD melalui dekomposisi metana.
5. Mengetahui perbedaan nanokarbon dan CNT yang dihasilkan dari karbon aktif kulit pisang menggunakan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana.
6. Mengetahui pengaruh *stainless steel tube* dalam pertumbuhan nanokarbon dan CNT menggunakan metode pirolisis sederhana.
7. Mengetahui kondisi operasi yang baik dalam pertumbuhan nanokarbon dan CNT dari karbon aktif kulit pisang menggunakan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana.

### I.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam makalah ini adalah:

1. Jenis pisang yang digunakan tidak spesifik dan diperoleh dari lingkungan sekitar Universitas Indonesia.
2. Limbah kulit pisang dibuat menjadi karbon aktif terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan baku pertumbuhan nanokarbon dan CNT.

3. Pertumbuhan nanokarbon dan CNT menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang menggunakan dua metode yang berbeda yaitu pirolisis sederhana (tanpa gas) dan dekomposisi metana (menggunakan gas metana).
4. Reaktor pirolisis yang digunakan untuk mensintesis nanokarbon memiliki ketahanan suhu hingga 800 °C.
5. Menggunakan *tube* tertutup yang terbuat dari *stainless steel* sebagai tempat penyimpanan sampel selama di pirolisis.
6. Pengaruh nanokarbon yang dihasilkan dari karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% yang dicampur dan dipirolisis pada suhu 800°C.
7. Pengaruh nanokarbon yang dihasilkan dari karbon aktif kulit pisang dan katalis Fe yang diimpregnasi dan didekomposisi metana pada suhu 800°C.
8. Karakteristik karbon aktif dilakukan dengan XRD, SEM, dan BET
9. Karakteristik nanokarbon dilakukan dengan menggunakan EDS, TEM dan XRD

### **I.5 Metode Penulisan**

Penelitian ini disusun berdasarkan eksperimen dan studi literatur yang diperoleh dari referensi berupa buku, jurnal dan makalah.

### **I.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan makalah ini disusun sebagai berikut:

#### **Abstrak**

#### **BAB I : Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi pengertian nanokarbon dan CNT, pengertian karbon aktif, prinsip dasar pembuatan karbon aktif dari kulit pisang, prinsip dasar dari CNT, konsep dasar pertumbuhan nanokarbon dan CNT dengan campuran karbon aktif dari kulit pisang dan minyak mineral dengan menggunakan pirolisis sederhana, konsep dasar pertumbuhan nanokarbon dan CNT dengan karbon aktif dari kulit pisang dan katalis Fe dengan menggunakan dekomposisi metana (metode CVD), penggunaan dan pemanfaatan CNT serta prinsip dasar karakteristik CNT dengan metode SEM, TEM dan XRD

### **BAB III : Metode Penelitian**

Bab ini berisi mengenai metodologi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur yang digunakan pada pembuatan karbon aktif dari kulit pisang dan pertumbuhan nanokarbon dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral dengan menggunakan pirolisis sederhana berikut dengan metode pengolahan data. Begitu pula prosedur yang digunakan pada pertumbuhan nanokarbon dari campuran karbon aktif kulit pisang pisang dan katalis Fe dengan menggunakan dekomposisi metana (metode CVD).

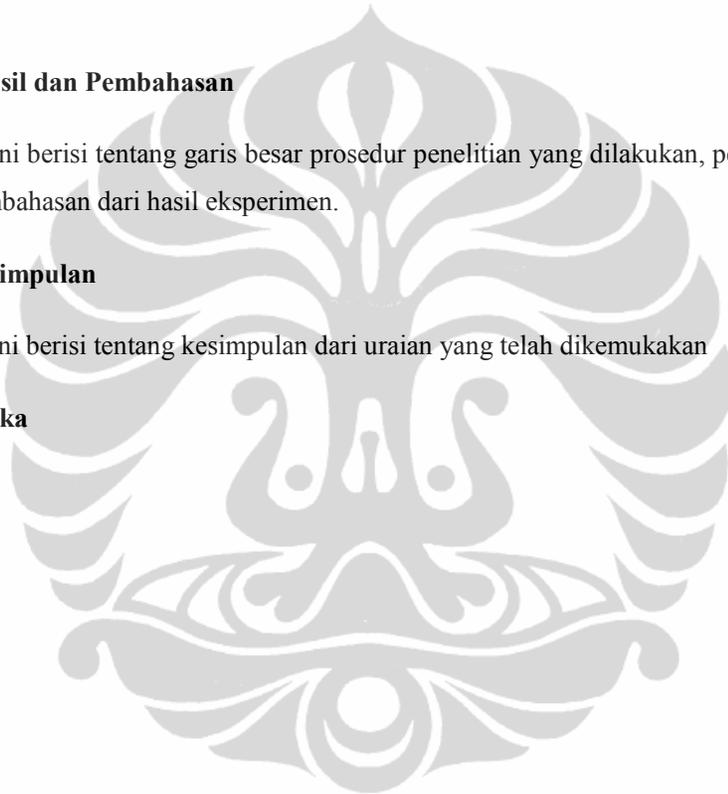
### **BAB IV : Hasil dan Pembahasan**

Bab ini berisi tentang garis besar prosedur penelitian yang dilakukan, pengolahan data, dan pembahasan dari hasil eksperimen.

### **BAB V : Kesimpulan**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari uraian yang telah dikemukakan

### **Daftar Pustaka**



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand et al, 2005). Beberapa limbah hasil pertanian seperti jerami padi, jerami gandum, kulit kacang, kulit pisang, bambu dan serabut kelapa dapat dimanfaatkan menjadi produk karbon aktif dan telah dikaji secara mendalam dengan berbagai prosedur yang berbeda (Yalçın, 2000; Lartey, 1999; Mopoung, 2008; Baksi et al, 2003).

Cheremisinoff dan A. C. Moresi (1978), mengemukakan bahwa proses pembuatan arang aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

- a. Dehidrasi: proses penghilangan air. Bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170 °C.
- b. Karbonisasi: pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Temperatur di atas 170°C akan menghasilkan CO, CO<sub>2</sub> dan asam asetat. Pada temperatur 275°C, dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400 -600°C.
- c. Aktivasi: dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dapat dilakukan dengan uap atau CO<sub>2</sub> sebagai aktivator.

Karbon dihasilkan dari pembakaran bahan organik dalam reaktor pirolisis dimana diharapkan terjadi pembakaran sempurna. Secara umum reaksinya dapat ditulis (Wereko et al, 1996):



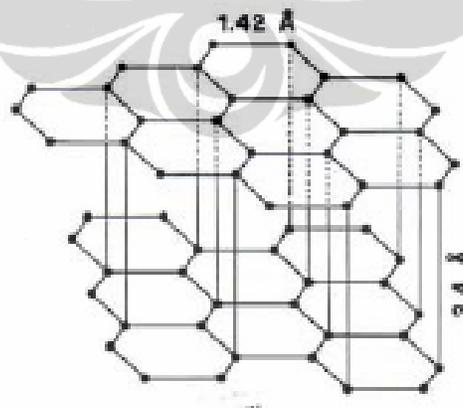
pembakaran tidak sempurna tidak terjadi bila hidrokarbon berlebih atau kekurangan oksigen pada penakaran sempurna hanya dihasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Jenis bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator adalah hidroksida, ligam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl<sub>2</sub>, asam-asam anorganik seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan uap air pada suhu tinggi. Unsur-unsur mineral dari persenyawaan kimia yang ditambahkan tersebut akan meresap ke dalam arang dan membuka permukaan yang semula tertutup oleh komponen kimia sehingga volume dan diameter pori bertambah besar (Michael, 1995).

Pemilihan jenis aktivator akan berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Beberapa jenis senyawa kimia yang sering digunakan dalam industri pembuatan karbon aktif adalah  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{KOH}$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Sembiring, 2003; Yalçın, 2000; Girgis et.al, 2002) mengemukakan bahwa  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sebagai agen aktivasi akan memberikan hasil terbaik jika dibandingkan dengan  $\text{ZnCl}_2$  dan  $\text{KOH}$ . Masing-masing jenis aktifator akan memberikan efek/pengaruh yang berbeda-beda terhadap luas permukaan maupun volume pori-pori karbon aktif yang dihasilkan.

Hasil analisa infrared arang aktif dengan bahan pengaktif  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menghasilkan serapan di bilangan gelombang  $1.300\text{-}900\text{ cm}^{-1}$  serapan pada  $1.220\text{-}1.180\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan ditandai dengan hadirnya ikatan hydrogen  $\text{P}=\text{O}$  yang berikatan dengan  $\text{O}-\text{C}$  membentuk  $\text{P}-\text{O}-\text{C}$  (aromatic) dan  $\text{P}=\text{OOH}$ . Pada bilangan gelombang  $1,080\text{-}1070\text{ cm}^{-1}$  dianggap berasal dari ikatan ionic  $\text{P}^+ - \text{O}^-$  dalam ester asam fosfat dan ikatan  $\text{P}-\text{O}-\text{P}$  (poliphosfat). Selanjutnya pada  $1.000\text{-}900\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan terjadi ikatan  $\text{P}-\text{O}-\text{C}$  (alifatik),  $\text{P}-\text{O}-\text{C}$  (aromatic),  $\text{P}-\text{O}$  dan  $\text{P}-\text{OH}$  (Puziy, 2003). Aktivasi dengan penggunaan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menghasilkan karbon aktif dengan gugus fungsi yang kaya akan kandungan oksigen sehingga memberikan sifat polar dan hidrofilik yang baik (Patrick dan Vigouroux, 2001).

Struktur dasar karbon aktif adalah menyerupai struktur grafit murni. Kristal grafit terdiri dari lapisan-lapisan bidang heksagonal yang tersusun dari atom-atom karbon yang menyerupai cincin-cincin aromatis dalam senyawa organik.



**Gambar 2.1 Struktur Grafit Karbon Aktif (Jankowska, 1991)**

## 2.2 Karbon Aktif dari Kulit Pisang

### 2.2.1 Pisang (*Musa Paradisiaca L.*)

Pisang dengan nama Latin *Musa paradisiaca* merupakan jenis buah-buahan tropis yang sangat banyak dihasilkan di Indonesia. Kulit dari buah pisang biasanya oleh masyarakat hanya dibuang dan hal itu menjadi permasalahan limbah di alam karena akan meningkatkan keasaman tanah dan mencemarkan lingkungan.

Produksi buah pisang tahun 2010 tercatat paling besar dibandingkan dengan buah-buahan yang lainnya. (BPS, 2010).

**Tabel 2.1 Produksi Buah-buahan (Ton) (BPS, 2010)**

Produksi Buah-buahan (Ton), 2010	
Buah	Produksi (Ton)
Alpukat	224.278
Belimbing	69.089
Duku	228.816
Durian	492.139
Jambu Biji	204.551
Jeruk	2.028.904
Manggis	84.538
Mangga	1.287.287
Rambutan	522.852
Pepaya	675.801
Nanas	1.406.445
<b>Pisang</b>	<b>5.755.073</b>
Salak	749.876
Sawo	122.813

Dari banyaknya jumlah pisang yang diproduksi kulit pisang merupakan bahan buangan (limbah buah pisang) yang cukup banyak jumlahnya, kira-kira 1/3 dari buah pisang yang belum dikupas dan cukup untuk diolah dalam skala pabrik. Selain itu, pisang mengandung banyak senyawa kimia yang bermanfaat termasuk unsur karbon yang dapat dimanfaatkan untuk membuat nanokarbon.

### 2.2.2 Kandungan Kimia dalam Kulit Pisang

Buah pisang banyak mengandung karbohidrat baik isinya maupun kulitnya. Di dalam kulit pisang ternyata memiliki kandungan vitamin C, B, kalsium, protein, dan juga lemak yang cukup (Sulffahri,2008). Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa komposisi kulit pisang mengandung unsur karbon 41.47 % dan kandungan unsure lainnya seperti tertera pada table dibawah ini:

**Tabel 2.2 Kandungan Kulit Pisang**

<b>Kandungan Kulit Pisang (Wilaipon, 2009)</b>	
<b>Elemen</b>	<b>Konsentrasi</b>
Moisture (%)	15%
Carbon (%)	41.47 %
Hydrogen (%)	5.68 %
Nitrogen (%)	0.37 %
Oksigen (%)	19.01 %
<b>Kandungan Kulit Pisang dalam % Berat Kering (Anhwange et.al, 2007)</b>	
<b>Elemen</b>	<b>Konsentrasi (mg/g)</b>
Moisture (%)	6.7 ± 02.22
Ash (%)	8.5 ± 1.52
Organic Matter (%)	91.5 ± 0.05
Protein (%)	0.9 ± 0.25
Crude Lipid (%)	1.7 ± 0.1
Carbohydrate (%)	5.9 ± 1.36
Crude Fibre (%)	31.7 ± 0.25
<b>Komposisi Mineral Kulit Pisang (%DM)</b>	
<b>Elemen</b>	<b>Konsentrasi (mg/g)</b>
Potassium	78.10 ± 6.58
Calcium	237.4 ppm
Magnesium	256.6 ppm
Iron	28.4 ppm
Manganese	10.4 ppm
Natrium	294.5 ppm
Sodium	24.3 ± 0.12

Nilai adalah rata-rata ± SE

Karbohidrat adalah senyawa organik yang mengandung atom karbon, hidrogen dan oksigen. Klasifikasi karbohidrat yang paling sering dipakai dalam ilmu gizi berdasarkan jumlah molekulnya:

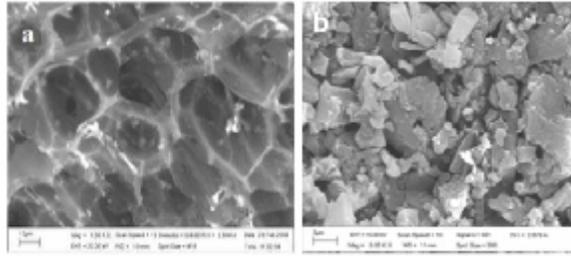
1. Monosakarida, seperti Heksosa, Glukosa, Fruktosa, Galaktosa, Pentosa, Arabinosa, Xylosa.
2. Disakarida, seperti Sukrosa, maltosa, Laktosa.
3. Polisakarida, seperti Amilum, Dekstrin, Glikogen, Selulosa.

Secara umum kita ketahui bahwa bahan-bahan organik dapat dimanfaatkan sebagai prekursor karbon. Kulit pisang merupakan salah satu bahan organik dengan kandungan karbon cukup tinggi yaitu 41,37% (Mopoung, 2008) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif. Limbah ini juga mudah ditemukan dalam jumlah yang besar serta dapat diperoleh dengan harga yang sangat murah selain itu kita dapat menjadikan limbah kulit pisang bernilai ekonomis tinggi.

### 2.2.3 Kulit Pisang Sebagai Sumber Karbon Aktif

Karbon aktif yang dibuat dari kulit pisang telah dilakukan sebelumnya beserta dengan pengamatannya. Zat aktifator arang kulit pisangnya pun dapat menggunakan KOH (basa) dan juga  $H_3PO_4$  (asam). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pada suhu karbonisasi  $500^{\circ}C-600^{\circ}C$  didapatkan struktur karbon aktif yang baik (1-6 microns) dengan kandungan karbon (*fixed carbon*) 71,96%. Pengaktifan karbon dengan suhu pirolisis  $600-700^{\circ}C$  dinilai sebagai suhu yang baik. Namun disarankan untuk menggunakan  $H_3PO_4$  sebagai zat aktifator karena kandungan K yang besar pada kulit pisang bereaksi dengan  $K^+$  pada KOH sehingga menghasilkan impurities yang lebih banyak (K,  $K_2CO_3$ , dan  $K_2O$ ) (Mopoung, 2008).

Proses pembuatan karbon aktif dengan  $H_3PO_4$  telah dilakukan oleh (Mopoung dan Thongcharoen, 2009) dan (Mopoung, 2011)

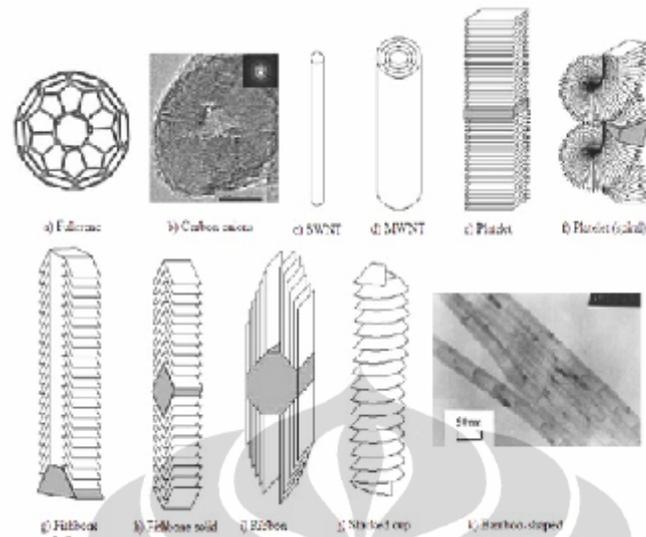


**Gambar 2.2** Karakteristik gambar SEM pada permukaan karbon aktif dari kulit pisang dengan  $H_3PO_4$  dengan suhu pirolisis pada  $600^\circ C$  yang dilakukan oleh (a) (Mopoung, 2011) (b) (Mopoung dan Thongcharoen, 2009)

Pertumbuhan Nanokarbon dan CNT membutuhkan sumber karbon dan karbon aktif telah banyak menarik minat dalam pertumbuhan nanokarbon dan CNT karena karbon aktif menawarkan keuntungan seperti stabilitas termal yang tinggi, luas permukaan yang tinggi, murah dan mudah dilapisi oleh katalis logam yaitu hanya dengan pembakaran sederhana saja. Komposit karbon-karbon sepertinnya dapat menunjukkan kombinasi dari karbon dengan hasil ukuran dimensi yang berbeda (nano dengan mikro) dan atau berbeda bentuk struktur (graphitic atau acak-acakan) (Rinaldi et al,2009)

### 2.3 Nanokarbon

Nanokarbon didefinisikan sebagai material karbon yang diproduksi dengan ukuran dan struktur berskala nanometer. Material karbon yang paling dikenal adalah intan dan grafit. Intan memiliki karbon dengan empat ikatan  $sp^3$  membentuk susunan tiga dimensi yang simetris dan tersusun rapat. Sedangkan grafit memiliki karbon dengan tiga ikatan  $sp^2$  membentuk susunan dua dimensi berupa lembaran tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon  $sp^3$  (Rao, 2001).



**Gambar 2.3 Berbagai Bentuk Struktur Karbon (Rao, 2001; He dan Gullon, 2006)**

Selain kedua jenis bentuk alotropik karbon di atas, ditemui juga bentuk alotropik karbon berukuran nanometer, yaitu:

1. *Fullerene* atau *buckminsterfullerene* atau *bucky ball*, yaitu lembaran grafit yang membentuk bola (Gambar (a)). *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)
2. Carbon onions terdiri dari lapisan grafit yang konsentrik seperti bola (*quast-spherical*) dan seperti pada gambar (b) (He,2006)
3. Karbon nanofilamen adalah nanokarbon berbentuk filamen. Secara umum, karbon nanofilamen terdiri dari karbon nanofiber (CNF) dan karbon *nanotube* (CNT). Bentuk-bentuk nanofilamen secara umum adalah:
  - a. Karbon *nanotubes* (CNT) berbentuk pipa, merupakan lapisan grafit yang berbentuk silinder (pipa). CNT dapat berupa *single-walled carbon nanotubes* (SWNT) yang hanya terdiri satu lapis lembaran grafit seperti pada gambar (c), maupun *multi-walled carbon nanotubes* (MWNT) yang terdiri dari berlapis-lapis lembaran grafit yang konsentrik seperti pada Gambar (d). CNT.
  - b. *Platelet carbon nanofiber*, berupa lapisan grafit kecil yang tegak lurus dengan arah aksial fiber seperti gambar (e). Nanofiber ini harus memiliki hidrogen atau atom lainnya dalam jumlah tak terbatas untuk stabilisasi piringan (plate). *Platelet carbon nanofiber* dapat pula berbentuk spiral

Gambar (f). Biasanya, partikel padatan berada pada bagian tengah fiber (Gullon, 2006).

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

## 2.4 Karbon Nanotube

Karbon *nanotube* ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991. Karbon *nanotube* merupakan lembaran grafit yang membentuk *tube*/silinder. Lembaran grafit ini tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon  $sp^3$ . Struktur *CNT* mirip dengan *fullerene*. Bedanya, atom-atom karbon pada *fullerene* membentuk struktur seperti bola, sedangkan *CNT* berbentuk silinder yang tiap ujungnya ditutup oleh atom-atom karbon yang berbentuk setengah struktur *fullerene*. (Hill dan Petrucci, 2002).

Berdasarkan jumlah dindingnya, *CNT* secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu *CNT* berdinding tunggal (*single-walled CNT* atau *SWNT*) dan *CNT* berdinding banyak (*multi-walled CNT* atau *MWNT*). Jenis karbon *nanotube* *SWNT* memiliki diameter antara 0,4 nm dan 2,5 nm dengan panjang beberapa micrometer sampai beberapa milimeter sedangkan *MWNT* memiliki diameter lebih besar.

### 2.4.1 Sifat Fisik Karbon Nanotube

Karbon *nanotube* memiliki banyak sifat fisik yang unggul sehingga produk karbon *nanotube* banyak dimanfaatkan dalam dunia industri untuk digunakan dalam berbagai aplikasi. Sifat-sifat yang dimiliki oleh karbon *nanotube* dan pemanfaatannya dalam bidang industri, antara lain:

- Memiliki kekuatan mekanis yang besar.

Karbon *nanotube* jenis SWNT memiliki kekuatan tensil sebesar 50-100 Gpa dan bilangan *Modulus Young* sebesar 1-2 TPa (azonano). Sedangkan karbon *nanotube* jenis MWNT, seperti yang dilaporkan Yu et al dalam jurnal yang ditulis oleh V.N Popov (popov), memiliki kekuatan tensile dan *Modulus Young* masing-masing sebesar 11-63 GPa dan 270-950 Gpa

- Reaktifitas kimia

Reaktifitas kimia CNT akan meningkat sebanding dengan kenaikan arah kurvatur permukaan karbon *nanotube*. Oleh karena itu, reaktifitas kimia pada bagian dinding karbon *nanotube* akan sangat berbeda dengan bagian ujungnya. Diameter karbon *nanotube* yang lebih kecil akan meningkatkan reaktivitas.(Adrian et al, 2007)

- Memiliki konduktivitas elektronik yang besar.

Penambahan karbon *nanotube* dalam konsentrasi rendah ke bahan plastik dapat memberikan efek konduktivitas elektrik (azanano). Hal ini memungkinkan pengerjaan electrostatic painting dalam proses pelapisan sparepart otomotif.

- Memiliki ratio panjang terhadap diameter yang tinggi sehingga memungkinkan aplikasi karbon *nanotube* sebagai bahan komposit.
- Karbon *nanotube* dapat digunakan sebagai pelapis anti-statis untuk mencegah bahaya sensitivitas komponen elektronik ketika sedang dalam penyimpanan dan proses perkapalan (azonano)

#### 2.4.2 Aplikasi Karbon *Nanotube*

CNT banyak diaplikasikan karena sifat-sifatnya yang unik ,antara lain:

##### a. Penyimpan Energi

Bahan-bahan yang mengandung karbon biasanya digunakan sebagai *electrode* pada *fuell cell*, baterai, dan aplikasi elektrokimia lainnya. Pada *fuell cell*, efisiensinya ditentukan oleh laju perpindahan elektron pada elektroda karbon. Efisiensi yang cukup tinggi ditemukan dengan menggunakan CNT, dimana CNT memiliki ukuran yang kecil, topologi permukaan yang halus dan hampir sempurna (Daenan, 2003). Sebagai penyimpan energi, CNT diaplikasikan sebagai penyimpan hidrogen dan *superkapasitor*.

- **Penyimpanan hidrogen**

CNT diprediksi dapat menyimpan cairan atau gas pada bagian dalamnya melalui efek kapiler, karena bentuknya yang berupa silinder kosong dan ukuran diameter yang berskala nanometer. Oleh karena itu, CNT dapat digunakan sebagai penyimpan hidrogen. Hidrogen dapat diabsorb dengan 2 cara, yaitu dengan *chemisorptions*, dimana molekul  $H_2$  berdisosiasi dan hidrogen disimpan dalam bentuk atom, dan dengan *physisorption*, dimana hidrogen disimpan dalam bentuk molekul. CNT yang berkualitas baik sebagai penyimpan hidrogen adalah karbon *nanotubes* berjenis SWNT (diameter kecil, panjang dan seragam) (Grujicic, 2002).

- **Superkapasitor**

Superkapasitor berpotensi untuk digunakan pada peralatan elektronik, karena kapasitansinya yang tinggi. Kapasitor adalah komponen listrik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik, dan secara sederhana terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh suatu penyekat (*dielektrik*). Dalam pemakaiannya, salah satu elektroda diberi muatan positif dan elektroda lainnya diberi muatan negatif yang besarnya sama. Antara kedua elektroda ini muncul medan listrik yang berarah dari positif ke elektroda yang bermuatan negatif. Kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik atau kapasitansi tergantung geometri kapasitor, yaitu jarak pisah antar elektroda, luas elektroda, dan permitivitas bahan penyekat.

Pada elektroda *nanotubes*, kapasitansi yang sangat besar timbul karena jarak pisah antar elektroda berskala nanometer, dan luas permukaan *nanotubes* yang besar. Oleh karena itu, muatan dalam jumlah besar dapat diberikan pada elektroda, dengan hanya membutuhkan *voltase* (beda potensial) listrik yang kecil. Oleh karena itu, CNT dapat digunakan sebagai kapasitor.

## b. Peralatan Elektronik

- ***Field emitting devices***

Pada medan listrik tinggi, elektron dapat terekstraksi dari suatu padatan. Arus emisi ini tergantung pada kekuatan medan listrik pada permukaan teremisi dan pada jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron ke keadaan vakum. Diperlukan medan listrik yang tinggi agar dapat mengeksitasi suatu elektron. *Emitter* yang ideal adalah

yang mempunyai diameter berukuran nanometer, berstruktur utuh, konduktivitas listrik tinggi, dan stabilitas kimia yang baik. Dan karbon *nanotubes* memiliki semua karakteristik ini. Penggunaan karbon *nanotubes* dalam *field emitting devices* adalah untuk *flat panel display*, tabung gas *discharge* pada jaringan telekomunikasi, electron guns untuk mikroskop elektron dan perangkat memori (*suspended nanotube device architecture*).

- **Transistor**

Transistor dapat dibuat dari satu buah SWNT. Hanya dengan menghubungkan dengan elektroda-elektroda yang beda potensialnya tinggi, CNT dapat berubah fungsinya dari sebagai konduktor menjadi insulator.

- **Nanoprobes dan Sensor**

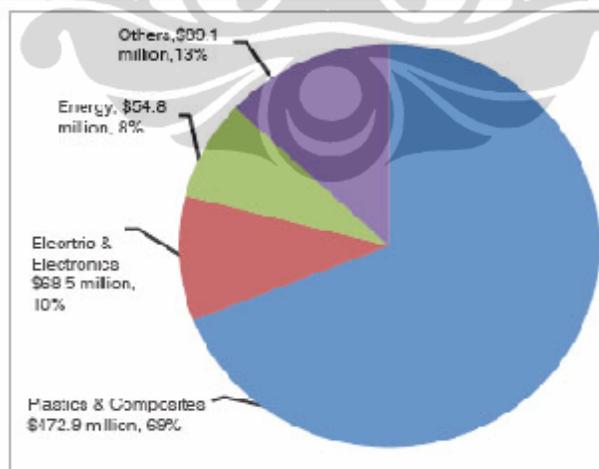
CNT dapat pula digunakan sebagai *scanning probe instrument*, seperti pada STM dan AFM karena karakteristiknya yang fleksibel. Penggunaan CNT akan meningkatkan resolusi instrumen dibandingkan dengan penggunaan Si atau ujung logam. Namun, vibrasi CNT cukup mengganggu resolusi instrumen. Vibrasi. Vibrasi ini akan semakin besar, apabila CNT ini akan semakin besar. Oleh karena itu, untuk mengatasinya dibutuhkan CNT yang pendek.

### 2.4.3 Pasar Karbon *Nanotube*

Saat ini, CNT telah menjadi sebuah komoditas yang sangat menjanjikan, pasar CNT berkembang secara pesat dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan perkembangan nanoteknologi. Penggunaan CNT secara umum terdapat pada dua sektor, yaitu sektor riset dan komersial. Kebutuhan CNT meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi global. Berdasarkan tipe CNT dan penggunaan CNT di dunia dari tahun ke tahun dan untuk beberapa tahun kedepan digambarkan dalam tabel 2.3 dan diagram dibawah ini sebagai berikut:

Tabel 2.3 Penggunaan CNT dan perkembangannya

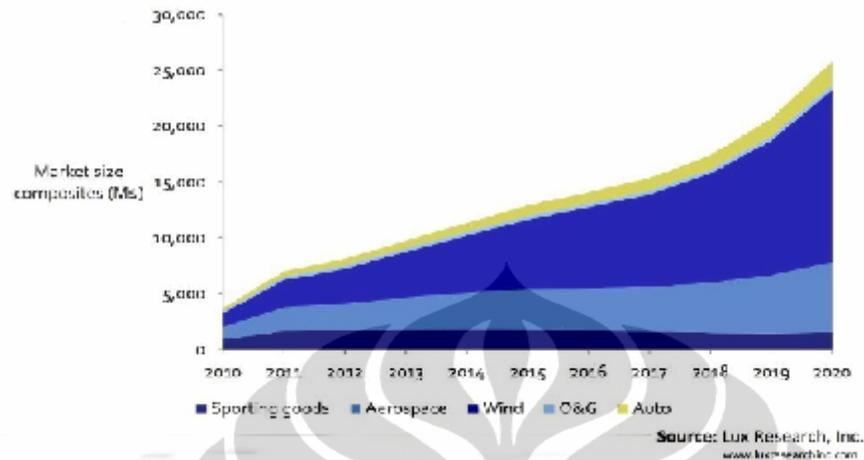
<i>NANOTUBES</i> “Perkembangan dan Pertumbuhan Pasar ”			
\$ MILLIONS	2004	2009	2014
<b>TOTAL PERMINTAAN</b>	\$6	\$215	\$1,070
<b>BERDASARKAN JENIS</b>			
<i>Single-Walled nanotubes</i>	0	95	600
<i>Multiwalled nanotubes</i>	6	120	470
<b>BERDASARKAN MANFAAT</b>			
<b>Elektronik</b>	0	90	395
<b>Otomotif</b>	1	31	165
<b>Luar angkasa/Pertahanan</b>	0	10	65
<b>Lain-lain</b>	5	84	445
<b>BERDASARKAN DAERAH</b>			
<b>U.S</b>	2	57	290
<b>Eropa Barat</b>	1	32	180
<b>Asia/Pasifik</b>	3	113	500
<b>Lain-lain</b>	0	13	100
<b>Source: Freedonia Group</b>			



Gambar 2.4 Hasil penjualan CNT selama tahun 2010

Sumber : By Vivek Patel, Centre for Knowledge Management of Nanoscience and Technology (CKMNT). The full article appears in the July 2011 issue of Nanotech Insights.

#### 2.4.4 Prospek CNT pada masa mendatang dan Hambatan yang Muncul



**Gambar 2.5** Prediksi perkembangan pasar untuk gabungan nanokarbon (carbon fiber, CNT, dan grapheme)

Gambar diatas menunjukkan prediksi perkembangan pasar dimana akan ada peningkatan dari \$7.0 *billion* tahun ini (2011) menjadi \$25,8 *billion* di tahun 2020 sehingga rata-rata peningkatannya menjadi (CAGR) 16%. Hal ini dikarenakan karena akan adanya perkembangan teknologi baru yang akan datang dibidang turbin tenaga angin (Lux Research,2011)

Meskipun prototipe aplikasi CNT tersebut berhasil dibuat, tetapi perkembangan realisasinya dalam jumlah besar bisa dikatakan sangat lamban. Masalah utamanya berada pada tahapan fabrikasi. Sebagai contoh, diameter silinder (CNT) pada proses sintesis memang sudah dapat dikontrol dengan baik, tapi tidak dengan vektor *chiral*-nya. Akibatnya, CNT-CNT yang dihasilkan akan bercampur antara yang bersifat logam dengan semikonduktor dan keadaan ini tentu tidak baik untuk aplikasi selanjutnya.

Pada proses CVD, posisi dari tempat tumbuhnya CNT dapat dikontrol dengan membuat pola bahan katalis, tetapi jumlah CNT dan orientasinya relatif terhadap substrat masih belum terdefiniskan. Selain itu, temperatur yang terlalu tinggi untuk CVD konvensional (hingga 1000 °C) membuat proses penumbuhan CNT tidak cocok dengan proses standar silikon yang masih menjadi bahan utama perangkat elektronik saat ini. Sebagai pendekatan alternatif, yaitu deposisi CNT pada substrat setelah fase penumbuhan, dapat menghindarkan permasalahan temperatur tinggi, tetapi justru muncul masalah baru pada penentuan posisi penumbuhan dan juga geometri CNT.

Beberapa usaha kembali dicoba untuk mengatasi masalah ini, misalnya dengan menggunakan medan listrik untuk memandu CNT pada posisi tertentu selama penumbuhan dan deposisi (Zhang et al, 2001), dengan perlakuan modifikasi permukaan (Liu et al, 1999), atau seperti yang dilakukan di Fisika ITB dengan CVD plasma berfrekuensi tinggi (Sukirno et al, 2006). Meskipun perkembangan teknologi CNT begitu cepat, sebagaimana diuraikan di atas, permasalahan untuk memproduksi secara massal masih menjadi kendala di kalangan industri. Industri pembuat CNT yang cukup terkenal, yaitu *Carbon Nanotechnologies Inc* (CNI) yang didirikan oleh peraih nobel Rick Smalley, saat ini hanya mampu memproduksi 1 kilogram per-harinya. CNI menargetkan untuk memproduksi 450 kilogram dalam sehari pada tahun 2005, yang diharapkan akan mampu menurunkan harga jual ([www.cni.com](http://www.cni.com)). Perusahaan lainnya, Showa Denko KK di Kawasaki, Jepang, saat ini hanya mampu memproduksi sebanyak 4-5 kilogram CNT per hari. Dengan demikian, satu-satunya masalah yang menghambat CNT untuk segera diterapkan secara massal dalam dunia elektronik adalah proses pembuatannya.

### **2.5 Sintesis Karbon Nanotube**

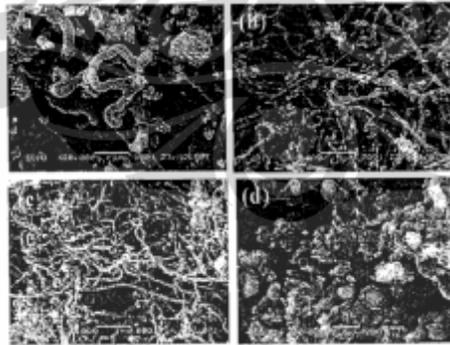
Untuk memperoleh karbon *nanotube* baik SWNT maupun MWNT dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu *Arch-Discharge*, *Laser Ablation*, dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Aplikasi CNT dalam Industri memerlukan produksi CNT dalam skala besar sehingga sangat diharapkan CNT dapat diproduksi dengan biaya murah. Pembuatan CNT dengan menggunakan metode *arc discharge* dan *laser ablation* menghasilkan kualitas yang baik dan kemurnian yang tinggi namun memerlukan biaya yang besar dalam proses produksinya sehingga tidak efektif untuk diproduksi dalam jumlah besar dalam skala industri (Biro et al, 2003). Dari hasil beberapa penelitian, dilaporkan bahwa pembuatan CNT dengan menggunakan metode CVD dapat menghasilkan *nanotube* karbon dengan kualitas yang baik dan biaya produksi yang murah.

Prinsip pertumbuhan karbon *nanotube* dengan metode CVD adalah dekomposisi termal senyawa hidrokarbon dengan bantuan katalis partikel metal transisi seperti besi, nikel, atau kobalt, yang digunakan untuk mengurangi suhu yang dipersyaratkan, sehingga terjadi crack atau perengkahan hidrokarbon sebagai umpan menjadi karbon dan hidrogen. Bahan baku hidrokarbon yang digunakan bisa berupa metana, etilen, dsb. Proses ini biasa dilakukan di dalam reaktor berbentuk tube pada suhu yang tinggi dan diikuti pertumbuhan karbon *nanotube* di permukaan katalis pada sistem pendinginan.

Pirolisis merupakan salah satu tipe dalam metode CVD dimana bahan-bahan organik akan terurai pada temperatur tinggi di bawah kondisi non-oksidatif (tidak ada  $O_2$  yang masuk). Pirolisis dilaksanakan pada kondisi temperatur di atas  $430^\circ C$  ( $800^\circ F$ ) (Guo,2000).

Suhu sangat menentukan proses pirolisis dari senyawa benzene atau senyawa organik lainnya menjadi unsur-unsur karbon penyusunnya. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka proses pirolisis akan berlangsung semakin cepat dan sempurna, sehingga karbon-karbon yang terbentuk akan semakin banyak. Suhu sintesis yang rendah akan menghasilkan *nanotubes* yang lebih pendek dan berukuran relative lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan suhu relative tinggi. Selain itu suhu sintesis yang rendah tidak hanya menghasilkan *nanotubes* yang pendek akan tetapi akan membengkokkan tabung yang dihasilkan (Tippawan et al,2005).

Beberapa peneliti telah melakukan sintesis material CNT dengan metode pirolisis seperti spray pirolisis pada suhu  $800-900^\circ C$  dan menghasilkan material CNT dengan ukuran tabung berkisar antara  $20nm-80nm$  (Deck dan Vecchio, 2006), (Horvath et al, 2006) dan (Xiang et al, 2006). Gambar dibawah ini adalah hasil karakteristik CNT yang dibentuk dengan metode spray pirolisis dimana digunakan benzene sebagai sumber karbon dan ferrocene sebagai katalis. (Subagio et al, 2007)



**Gambar 2.6** Karakteristik CNT dengan SEM yang disintesis pada suhu a)  $700^\circ C$ , b)  $800^\circ C$ , c)  $900^\circ C$  dan d)  $1000^\circ C$  (Subagio et al, 2007)

## **2.6 Pertumbuhan Nanokarbon dari Campuran Karbon Aktif Kulit Pisang dan Minyak Mineral dengan Metode Pirolisis Sederhana**

Penelitian terhadap sintesis CNT telah dilakukan dengan berbagai metode dan berbagai sumber dan metode yang paling banyak digunakan adalah metode CVD dimana metode ini lebih mudah, murah dan kemungkinan aplikasi untuk skala yang lebih besar.

Berbagai sumber karbon juga telah banyak diteliti dalam sintesis CNT, antara lain asetilena, metana, etana, pentana, benzena, toluena, CO<sub>2</sub>, CO, dan alkohol. Sedangkan penyangga katalis yang digunakan antara lain silika, zeolit, alumina, dan CaO.(Nur et al, 2007).

Beberapa hal yang mempengaruhi pertumbuhan nanokarbon adalah katalis, suhu reaksi, waktu reaksi, dan tekanan operasi. Oleh karena itu, beberapa penelitian tersebut melakukan variasi pada proses pembuatan CNT. Beberapa diantaranya adalah dapat dilihat dalam **Tabel 2.4** dibawah ini sebagai berikut:

**Tabel 2.4 State of the**

Peneliti	Tahun	Sumber Bahan	Metode	Variasi	Hasil
Chen	2001 dan 2004	metana	Katalitik CVD	Katalis dan suhu pemanasan	MWNT
Nur et al	2007	Etanol	Katalitik CVD	Suhu, waktu, jumlah etanol yang digunakan	MWNT
Subagio et al	2007	Benzen-ferrocene	CVD (Spray Pirolisis)	Suhu pemanasan	MWCNT
Zhang et al	2008	LPG	Katalitik CVD	Suhu (700-900°C)	SWNT pada 900 °C
Noor et al	2008	Benzene	CVD (Spray Pirolisis)	Katalis ferrocene dan waktu pemanasan	MWNT
Puengjinda et al	2008	Naphthalene - Ferrocene	CVD (Spray Pirolisis)	Suhu pemanasan (800-1050°C)	MWCNT dan MSCNC
Purwanto et al	2009	Metana dan katalis Ni/Cu/Al	Katalitik CVD	Suhu pemanasan (700-800°C)	MWCNT
Mopoung	2011	Campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral	CVD (Pirolisis)	Suhu pemanasan (1000-1200°C)	MWCNT
Sivakumar et al	2011	Karbon Aktif didekomposisi metana	CVD	Suhu Pemanasan (750 dan 850°C) Laju alir gas dan jenis katalis	MWCNT
Mishra et al	2011	Sampah plastik (polypropylene)	CVD (Spray Pirolisis)	Suhu pemanasan (600,700, dan 800°C)	MWCNT

Dari keterangan tabel diatas terjadi perkembangan sumber karbon yang digunakan sebagai media pertumbuhan nanokarbon dan karbon *nanotube*. Perkembangan ini dinilai positif karena digunakannya bahan-bahan limbah yang sudah tidak terpakai namun mengandung unsur karbon sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media untuk pertumbuhan nanokarbon dan karbon *nanotube*.

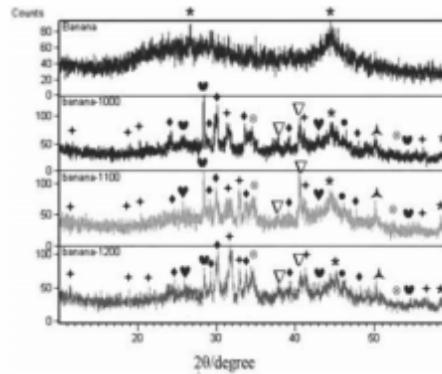
Berdasarkan hal ini maka kami tertarik untuk mencobanya, seperti yang telah dilakukan oleh Mopoung S dimana dengan limbah kulit pisang yang diaktifasi menjadi karbon aktif dapat dibuat media pertumbuhan CNT menggunakan metode pirolisis.

Mopoung S mempelajari sintesis *nanotube* karbon dari kulit pisang dan campuran karbon aktif mineral 2% menggunakan pirolisis sederhana. Sampel dipirolisis pada 1000-1200 ° C menggunakan pirolisis sederhana (Mahanandia et al,2008) dalam stainless steel tabung tertutup. Metode ini dimodifikasi dari uap kimia deposisi (CVD) metode (Mopoung et al., 2010). Dari penelitian, diharapkan bahwa tabung stainless steel bertindak sebagai katalis juga. Dari hasil penelitian ini diperoleh CNT dengan diameter luar 47-106 nm dan diameter dalam = 12-30 nm dimana hal ini menunjukkan panjang dari *nanotube* sangat panjang.



**Gambar 2.7 Karakteristik TEM terhadap CNT yang berasal dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% menggunakan pirolisis (Mopoung, 2011)**

Selanjutnya, studi TEM (gambar diatas) mengungkapkan adanya CNT berjenis MWNT yang terbentuk dan terdapat Fe (logam) di dalam rongga/dinding dan ujung dari *nanotube* karbon (Gambar 2.7). Morfologi ini menunjukkan bahwa Fe (logam) dipecah oleh termal dari tabung stainless steel dan bergabung atau bereaksi (*encapsulated*) oleh endapan karbon. Kehadiran kristal Fe ditegaskan oleh pola XRD dengan puncak pada 50,2°.



**Gambar 2.8 Karakteristik XRD terhadap CNT yang berasal dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% menggunakan pirolisis (Mopoung, 2011)**

Pola XRD ini tersirat bahwa produk pirolitik tidak murni dan telah beberapa pengotor. Kotoran yang meliputi karbon beberapa amorf (puncak pada 45 dan 58,5°), Fe<sub>3</sub>C (puncak di 38 dan 41°), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (puncak di 34,5 dan 53 °) dan K<sub>2</sub>O (puncak di 46 °).

Prinsip pembentukan CNT dengan menggunakan metode pirolisis adalah karbon *nanotube* akan terbentuk dengan adanya proses dekomposisi senyawa karbon aktif sebagai sumber karbon dengan bantuan metal transisi sebagai katalis.

Campuran karbon aktif dari kulit pisang dan minyak mineral merupakan *precursor* karbon sebagai media tumbuhnya CNT dan nanokarbon, selama campuran ini dipirolisis maka lapisan grafit di permukaan cluster akan bergerak membentuk formasi silinder dan berakhir di ujung silinder sampai diameter silinder yang terbentuk sama dengan diameter cluster. Kondisi ini berlangsung pada fasa uap. Ketika temperatur diturunkan terjadilah perubahan fasa menjadi padat dalam bentuk *nanotube* karbon.

Beberapa peneliti telah memodelkan mekanisme penumbuhan *nanotube* karbon meskipun demikian mekanisme penumbuhan *nanotube* karbon masih belum dapat dipahami secara mendalam meskipun sudah banyak kemajuan dalam penelitian *nanotube* karbon (Din et al,2004)

Dalam penelitian yang akan dilakukan nanti sampel dimasukkan kedalam tube *stainless steel* tertutup yang bisa dijadikan sebagai katalis dan dipirolisis pada suhu yang lebih rendah kemudian dilihat hasilnya menggunakan EDS, TEM dan XRD.

## 2.7 Dekomposisi 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 (Muradov,1993)(Steinberg, 1999):



proses reaksi dekomposisi metana bersifat endotermik ditandai dengan nilai  $\Delta H_r^0$  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)

Seiring dengan perkembangan penelitian, dekomposisi metana secara umum dapat digolongkan menjadi:

1. Dekomposisi metana secara termal (*thermal cracking*) yang menghasilkan hidrogen dan karbon hitam.
2. Dekomposisi katalitik metana dengan menggunakan katalis berdasar logam transisi (Fe, Co, dan Ni) yang menghasilkan jenis material karbon yang memiliki ukuran partikel nanometer yang biasa disebut dengan nanokarbon.

### 2.7.1 Peranan Katalis dalam Dekomposisi Metana

Katalis adalah suatu zat atau senyawa yang ikut berperan dalam mengubah kecepatan reaksi dan arah reaksi tetapi tidak dikonsumsi pada proses serta tidak

mengalami perubahan kimia selama reaksi berlangsung tetapi keadaan fisik dari katalis dapat berubah. Suatu katalis menyediakan mekanisme reaksi alternative yang lebih cepat dibandingkan reaksi tanpa katalis.

Penggunaan katalis dalam proses dekomposisi metana dimaksudkan karena reaksi endotermal yang terjadi sehingga dengan adanya katalis maka energi aktivasi dapat menurun. Dengan demikian konversi maksimum dapat dicapai pada suhu yang lebih rendah.

Pada penelitian ini digunakan logam Fe sebagai katalis karena katalis Fe memiliki kemampuan meningkatkan struktur kristalinitas graphite CNT lebih baik dibandingkan dengan katalis Ni dan Co (Lee, 2002). Selain itu FeO memiliki kestabilan yang lebih baik daripada NiO sehingga dapat mengkonversi metana lebih baik (Sivakumar, 2011).

### **2.7.2 Impregnasi Katalis terhadap Karbon Aktif**

Ukuran partikel katalis memiliki pengaruh terhadap laju pertumbuhan CNT dan nanokarbon. Selain itu, hal utama dalam laju pertumbuhan CNT adalah laju difusi karbon pada partikel katalis.

Ukuran diameter inti aktif katalis dapat dikontrol oleh metode preparasinya. Untuk menghasilkan nanokarbon pada reaksi dekomposisi katalitik metana, katalis yang digunakan dapat dipersiapkan dengan metode impregnasi. Metode-metode ini dapat menghasilkan inti aktif katalis Fe berukuran nanometer yang dapat digunakan untuk menghasilkan CNT.

Penempatan logam atau inti aktif katalis dalam pengemban merupakan hal penting dalam preparasi katalis. Penempelan logam dalam pengemban bertujuan untuk memperluas (memperbanyak) permukaan aktif (situs aktif). Teknik penempelan logam ke dalam pengemban akan berpengaruh terhadap dispersi dan juga sifat interaksi antara logam dengan pengemban, dimana yang biasa digunakan adalah dengan cara impregnasi basah, impregnasi kering dan dengan cara pertukaran ion.

Katalis logam pengemban dibuat dengan cara reduksi garam logam yang telah diembankan/dimasukkan dalam bahan pengemban, kemudian dipanaskan dan dikalsinasi untuk memodifikasi komposisi kimia, kemudian dilanjutkan dengan oksidasi dan reduksi untuk logam yang diembankan (Setyawan, 2001).

Impregnasi katalis merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menyatukan suatu katalis logam ke dalam bahan pengemban atau suatu media berpori

dimana diharapkan dari cara ini situs aktif logam dapat terdispersi secara merata ke seluruh permukaan dan pori-pori dari bahan pengemban tersebut.

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon dengan permukaan yang luas. Dalam penelitian ini, karbon aktif digunakan sebagai pengemban logam aktif (katalis). Terdapat sejumlah keuntungan jika katalis (logam aktif) ditebarkan pada pengemban antara lain:

- a. Fase aktif terdistribusi merata dalam sistem pori pengemban.
- b. Dalam kasus katalis logam akan dihasilkan permukaan lebih besar per unit berat logam aktif.
- c. Pengemban memberi jalan bagi pereaksi (gas) masuk ke situs aktif melalui pori dengan jalan difusi.
- d. Dapat mengurangi hilangnya panas reaksi.
- e. Memperlambat proses pelengketan (sintering).
- f. Menaikkan ketahanan terhadap racun katalis.
- g. Memperbaiki aktivitas katalis

(Wahyuni dan Priatmoko, 2000; Zabeti et al, 2009)

Proses impregnasi katalis terhadap karbon aktif dilakukan dengan beberapa tahap dimulai dengan pelarutan katalis menggunakan pelarut acetone untuk melarutkan garam dan mineralnya kemudian dicampurkan dengan sejumlah berat karbon aktif yang ukurannya tergantung dari kadar katalis yang ingin digunakan.

Pencampuran antara katalis dengan karbon aktif dihomogenkan dengan cara di sonifikasi atau diaduk selama beberapa saat lalu dikeringkan pada suhu dibawah 100°C agar pelarut dapat hilang (garam dan mineral teruapkan) kemudian tahap selanjutnya merupakan tahap penting dalam membuat inti aktif katalis didalam karbon aktif yaitu proses kalsinasi dan reduksi.

Karbon aktif merupakan bahan support katalis yang terdiri dari lapisan graphite sehingga membantu proses pertumbuhan CNT karena dasar dari struktur CNT adalah lapisan graphite yang menggulung membentuk tube.

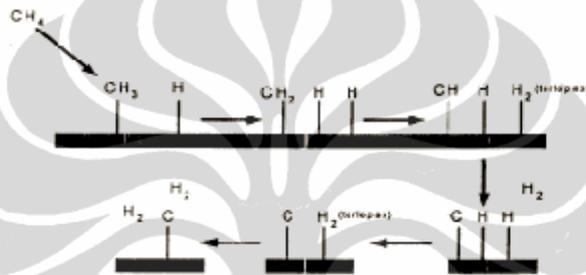
Karbon aktif yang diimpregnasi pada katalis akan membantu menjaga ukuran nanopartikel Fe sebagai inti aktif pada saat kalsinasi (pemanasan) karena pada umumnya kalsinasi menyebabkan sintering partikel-partikel inti aktif sehingga diameternya menjadi lebih besar.

Kalsinasi merupakan proses pemanasan untuk menghilangkan impurities sehingga akan terbentuk besi oksida ( $Fe_2O_3$ ) yang kemudian direduksi dengan gas hydrogen untuk menghilangkan oksida pada katalis sehingga akan terbentuk hanya inti

aktif katalis Fe saja yang tersisa (terbentuk) dan untuk memperkuat struktur graphitasi. Setelah katalis dipreparasi dengan karbon aktif maka campuran ini dapat menjadi media penumbuhan CNT dengan menggunakan gas metana.

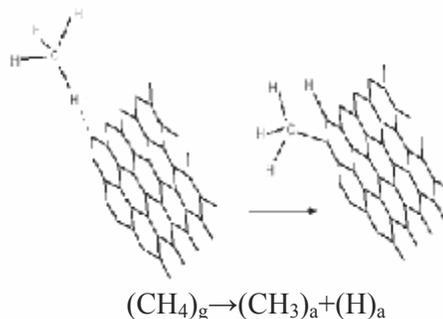
## 2.8 Mekanisme Reaksi Dekomposisi Metana terhadap Katalis Fe/Karbon Aktif

Pada reaksi dekomposisi metana, sebuah molekul metana direngkah (*cracking*) menjadi sebuah molekul karbon dan dua buah molekul hidrogen. Gambar 2.9 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.



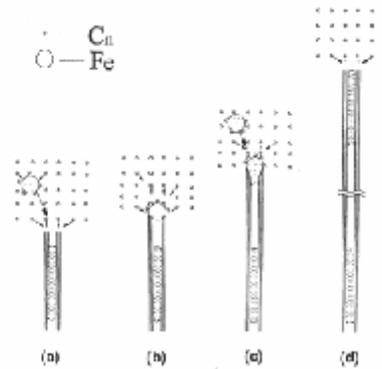
Gambar 2.9 Mekanisme reaksi permukaan dekomposisi katalitik metana (Snoeck,1997)

Mekanisme dekomposisi metana dengan media support karbon aktif yang dikatalisasi telah dinyatakan oleh Muradov pada penelitiannya. Menurutnya belum ada kesimpulan yang pasti atau dibuat untuk mekanisme katalisasi karbon yang didekomposisi metana. Kemungkinan besar, reaksi dimulai dengan disosiatif adsorpsi molekul metana pada HES (*High Energy Sites*) pada permukaan karbon, seperti yang digambarkan pada gambar dan persamaan dibawah ini:



Gambar 2.10 Mekanisme reaksi dekomposisi katalitik metana terhadap karbon aktif (Muradov,2005)

Teori mekanisme pertumbuhan nanokarbon dan CNT antara karbon dengan katalis Fe dinyatakan oleh Zhang et al yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini



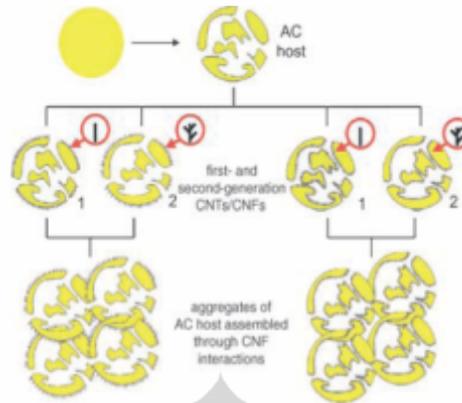
**Gambar 2.11 Mekanisme pertumbuhan karbon *nanotubes* (Zhang,2002)**

pertumbuhan CNT oleh Fe menyatakan bahwa CNT akan dapat tumbuh pada saat bagian ujungnya terbuka (a) selama proses pertumbuhan. Pada saat katalis Fe mengenai bagian ujung (b) maka dimulailah proses pertumbuhan *nanotube* secara cepat disertai masuknya partikel Fe kedalam selongsong sehingga proses pertumbuhannya terhenti. Saat katalis Fe datang dan masuk lagi ke ujung *nanotube* maka pertumbuhan kembali berjalan (c) begitu seterusnya hingga terbentuk tube yang panjang. Proses pertumbuhan benar-benar terhenti ketika inti aktif katalis telah habis (d).

Nanokarbon dengan struktur yang lebih kecil dan dimensi yang lebih besar sehingga memiliki sifat pembawa yang lebih baik sangat diinginkan. Untuk aplikasi kimia sangat penting bahwa hanya satu unsur kimia yang digunakan maka kombinasi dari nanocarbon dengan non-karbon sebaiknya dihindari karena akan mengakibatkan terputusnya proses penyerapan, ketidakstabilan kimia, dan secara sifat kimia akan menyebabkan kerusakan properti secara keseluruhan pada senyawa.

Karbon aktif merupakan sumber karbon dari sumber alam yang cukup ideal untuk pertumbuhan nanokarbon karena karbon aktif memiliki struktur lignin dan silica yang kuat, memiliki struktur yang baik pada beberapa dimensi, mudah dalam perubahan kimia, dan tersedia dalam jumlah besar (Donnet,1993)

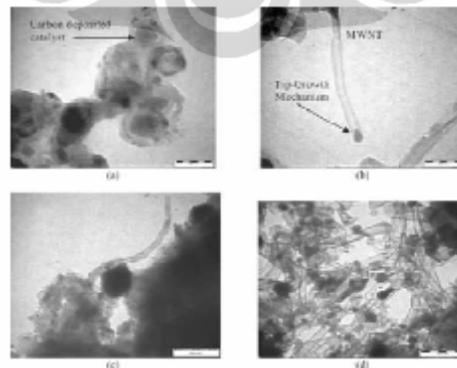
Hierarki pertumbuhan nanokarbon dan CNT pada katalis Fe/karbon aktif dijelaskan oleh Dang sheng Su et al yang dapat terlihat pada gambar dibawah ini:



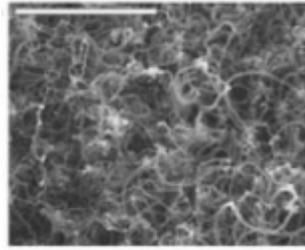
**Gambar 2.12** Peristiwa katalis dalam karbon aktif dalam mekanisme pertumbuhan nanokarbon dan CNT (Dang Sheng Su, 2005)

Gambar diatas menyatakan bahwa pada level makroskopis, sebagian besar struktur karbon aktif akan berubah menjadi *macroporous* karena dilakukannya kalsinasi terhadap karbon aktif dan katalis sehingga partikel katalis tertanam dalam matriks karbon. Setelah itu dengan proses reduksi yang digunakan untuk mengubah bentuk oxidic katalis untuk membuat porositas ke dalam bentuk logam. Transformasi tadi menjadikan katalis Fe dan karbon aktif sebagai support suatu media pertumbuhan nanokarbon dan CNT dengan metode CVD.

Terdapat beberapa penelitian mengenai pertumbuhan nanokarbon dan CNT pada media karbon aktif yang dikatalisasi dan dialiri gas hidrokarbon. Karbon aktif yang digunakan juga berbeda-beda mulai dari karbon aktif berkualitas rendah hingga berkualitas tinggi. Beberapa hasil dari penelitian sebelumnya diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.13** Hasil TEM CNT yang dibuat dari katalisasi Fe pada karbon aktif (a)750°C (b) 850°C dan dari katalisasi Ni pada karbon aktif (c)750°C (d)850°C pada laju alir gas N<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> (2:1) (Sivakumar et al, 2011)



**Gambar 2.14 Hasil gambar SEM carbon nanofibers (CNF) yang tumbuh pada 1%wt Fe/karbon aktif dengan suhu 700 °C pada laju alir gas 60% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> (Dang sheng su,et al 2005)**

## 2.9 Metode Karakterisasi

Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi untuk mengetahui morfologi nanokarbon dan luas permukaan nanokarbon sesuai dengan kondisi operasi yang divariasikan.

### 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.

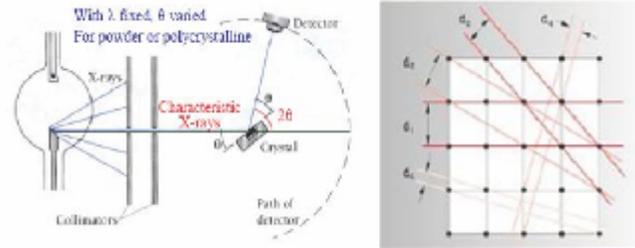
SEM membaca suatu permukaan sampel dengan suatu alat pembaca elektron (5-50kV). Pembesaran 20 hingga 50000 kali mungkin dilakukan dengan resolusi sebesar 5 nm. Suatu area dengan kedalaman yang besar dan struktur yang sangat tidak teratur dapat diketahui dengan efek 3D. Namun, keterbatasan resolusi membuat 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 (*Brunauer, Emmet dan Teller*)**

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 (Nasikin,2010). 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.

**c. X-ray diffraction (XRD)**

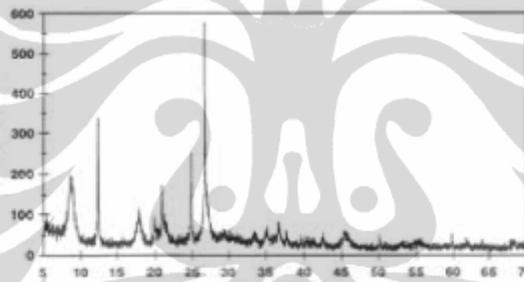
XRD dilakukan dengan menembakkan sinar *X-ray* pada material kemudian pantulannya akan ditangkap oleh *detector*. Prinsip dari XRD dimana electron yang berada pada bidang elektromagnetik akan bertolak dengan frekuensi yang sama. Ketika berkas *X-ray* menumbuk atom, electron disekitar atom akan mulai terpantul kesegala arah dengan frekuensi yang sama sebagai berkas sinar datang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 hampir di semua arah mempunyai interferensi yang saling melemahkan, yaitu gelombang gabungan keluar dari fasa dan tidak ada resultan energi meninggalkan sampel padat. Walau bagaimanapun atom pada kristal tergabung pada pola umum dan pada beberapa arah akan menghasilkan interferensi yang saling menguatkan. Oleh sebab itu, berkas sinar difraksi akan digambarkan sebagai berkas sinar dari sejumlah sinar tersebar yang saling menguatkan satu sama lain.



**Gambar 2.15 Mekanisme X-ray Diffraction**

(Sumber: <http://www.matter.org.uk/diffraction/X-ray/default.htm>)

Pada Gambar 2.16 dapat terlihat contoh hasil XRD. Hasil dari XRD dapat digunakan untuk mendeteksi secara kualitatif senyawa yang terkandung dalam suatu material. Setiap senyawa pasti memiliki posisi  $2\theta$  yang berbeda.



**Gambar 2.16 Contoh hasil XRD (Astini, 2008)**

XRD juga dapat digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif berdasarkan pernyataan dari B.D.Culity dalam buku *Element of X-ray diffraction* menyatakan bahwa analisa kuantitatif dengan XRD dapat dilakukan dengan memanfaatkan intensitas hasil pengukuran. Faktanya intensitas tergantung dari konsentrasi pada campuran sampel.

Hubungan antara intensitas dengan konsentrasi tidak selalu linear, karena intensitas difraksi tergantung dari koefisien absorbs pada setiap campuran yang bervariasi berdasarkan konsentrasi. Aplikasi XRD yang biasanya digunakan adalah untuk analisa kimia, meliputi identifikasi fasa, investigasi fasa temperature tinggi ataupun rendah, *solid solution* dan menentukan parameter sel dari material baru.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

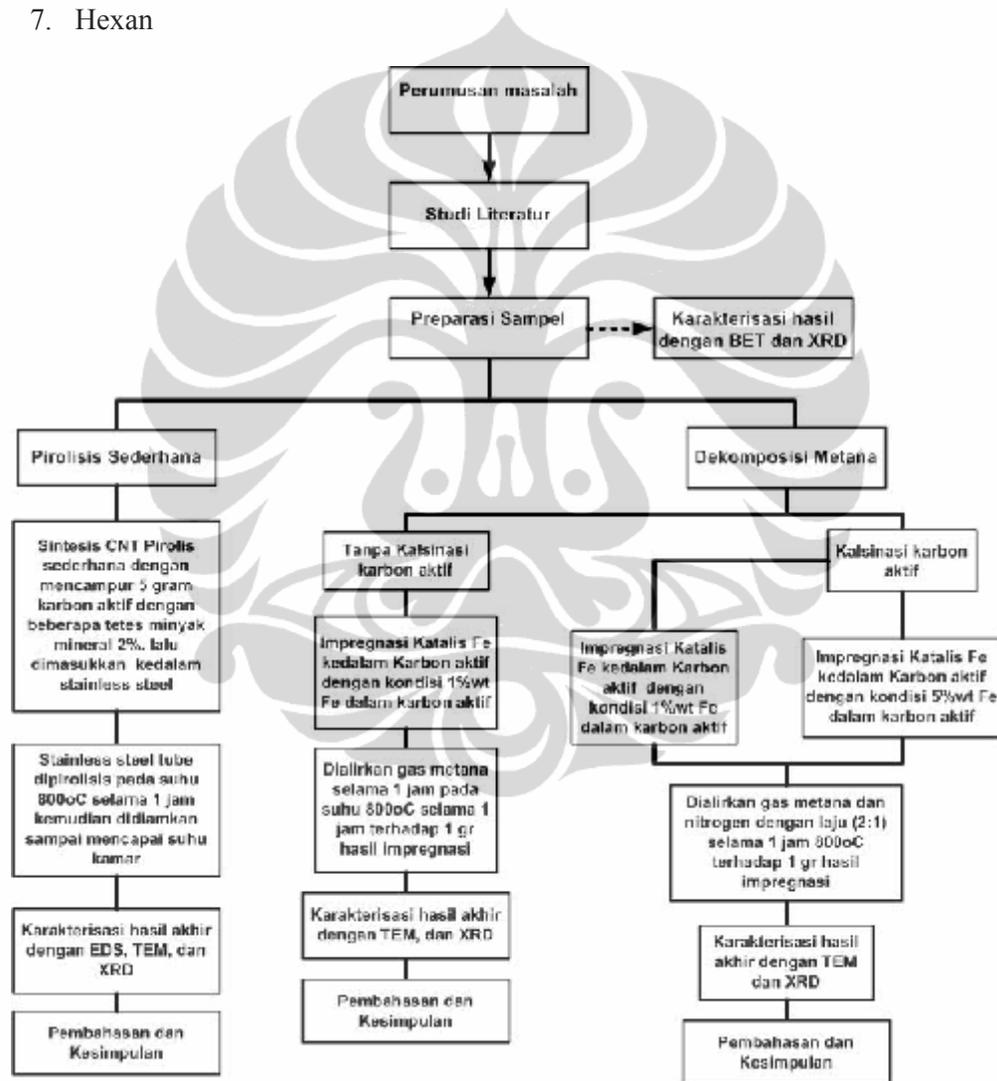
Diagram alir penelitian pertumbuhan nanokarbon menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang dengan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana dapat dilihat pada gambar 3.1. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan**

Peralatan			
1.	Gelas Beaker	9.	Reaktor Batch untuk reaksi pirolisis pada aktivasi karbon kulit pisang
2.	Labu ukur	10.	Reaktor "Atmospheric Fixed Bed" - Reaktor Kuarsa (ID=4,8 mm, OD=1.5 mm, Length = 423 mm)
3.	Gelas ukur	11.	<i>Stainless steel tube</i> (D = 11 mm, Thickness = 1 mm, Length = 150 mm ) - Reaktor Kuarsa (D <sub>atas</sub> = 16 mm, D <sub>bawah</sub> = 12 mm, Length = 500 mm)
4.	Pipet Volumetrik	12.	Saringan 400 mesh
5.	Pipet tetes	13.	<i>Ball mill grinder</i>
6.	Batang pengaduk	14.	<i>Sonifikasi</i>
7.	Spatula	15.	Neraca Digital
8.	Oven	16.	Pisau

Bahan-bahan yang digunakan :

1.  $\text{H}_3\text{PO}_4$
2. Akuades
3. Kulit Pisang
4. Minyak Mineral
5. HCL
6.  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
7. Hexan



Gambar 3.1 Diagram Alir Pertumbuhan nanokarbon menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang dengan metode pirolisis sederhana dan dekomposisi metana

### 3.2 Prosedur Penelitian

#### 3.2.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Pisang

- a. Kulit pisang yang digunakan sebagai bahan baku pembuat karbon aktif diambil secara berkala pada minggu pertama penelitian dari tempat-tempat di sekitar lingkungan kampus Universitas Indonesia.
- b. Kulit pisang yang dikumpulkan tidak bergantung pada jenis pisanginya dan merupakan kulit pisang yang baru dikupas dari buahnya dan langsung dipreparasi saat itu juga (pada hari yang sama).
- c. Kulit pisang dibersihkan bagian ujungnya dan dipotong-potong menjadi beberapa bagian tergantung dari besarnya kulit pisang. Kulit pisang tidak dipilih-pilih (bagian luar atau dalam) semua bagian digunakan



Gambar 3.2 Kulit Pisang sebelum masuk oven

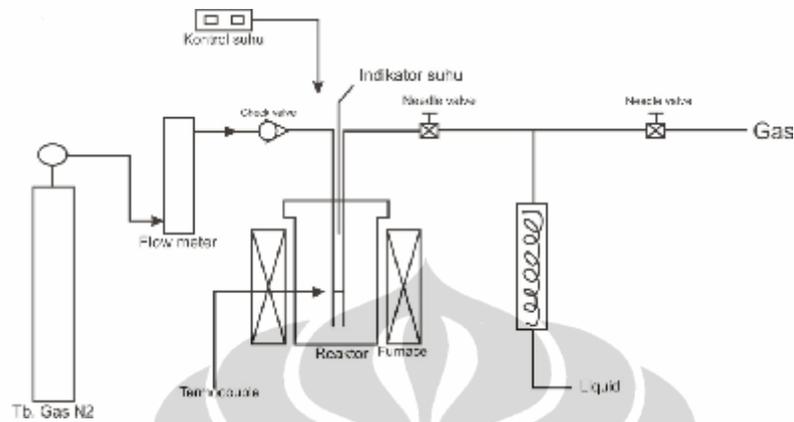
- d. Kulit pisang yang telah dibersihkan lalu ditaruh dalam wadah kemudian dimasukkan kedalam oven selama 2 jam pada suhu 120-150°C untuk menghilangkan air yang terkandung di kulit pisang.



Gambar 3.3 Kulit pisang setelah dioven (dikeringkan)

- e. Kulit pisang yang telah kering ini kemudian di karbonisasi pada suhu 400°C selama  $\pm$  2-2,5 jam dimana waktu dihitung pada suhu reactor telah mencapai 400°C.
- f. Proses karbonisasi dilakukan dua cara yaitu karbonisasi secara vakum dan karbonisasi *furnace*. Pada karbonisasi vakum gas inert yang di gunakan

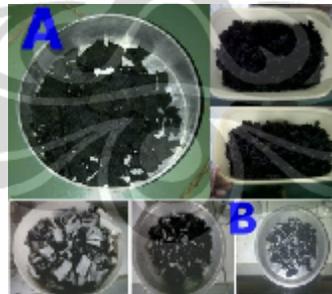
adalah gas nitrogen dan kondisi operasi pada saat karbonisasi (tekanan tetap pada  $\pm 1$  atm dan laju alir nitrogen  $\pm 67$  cc/menit)



Gambar 3.4 Skema Reaktor *Batch* untuk proses aktivasi (pirolisis) dan Karbonisasi vakum



Gambar 3.5 Alat percobaan karbonisasi *furnace*



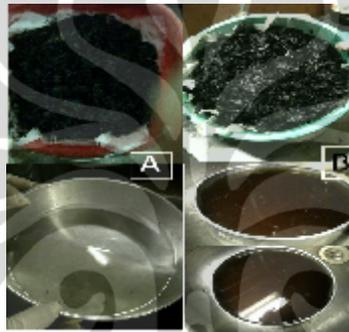
Gambar 3.6. Hasil karbonisasi vakum (a) dan karbonisasi *furnace* (b)

- g. Arang hasil karbonisasi kemudian diaktivasi dengan mula-mula merendam arang dengan zat kimia asam phosphate ( $H_3PO_4$ ) 7% pada perbandingan 1:10 selama 24 jam. Sebelum perendaman dilakukan pengadukan selama 30 menit.



**Gambar 3.7 Perendaman arang dengan zat activator**

- h. Hasil rendaman kemudian disaring dan ditiriskan selama 24 jam.



**Gambar 3.8 Hasil saringan Arang kulit pisang karbonisasi *furnace* (a) Hasil saringan arang kulit pisang karbonisasi vakum(b)**

- i. Setelah didiamkan, hasil saringan dikeringkan didalam oven pada suhu 120-150°C selama 24 jam
- j. Arang yang telah diaktivasi ini kemudian dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi yaitu 600°C dengan waktu pemanasan  $\pm$  2-2,5 jam dimana waktu mulai dihitung dari suhu reactor mencapai 600°C.



**Gambar 3.9 Hasil arang kulit pisang yang telah di aktivasi dan dikeringkan(a), (b) dan (c) Hasil karbon aktif yang telah dipirolisis 600°C untuk arang karbonisasi vakum, (d) Hasil karbon aktif yang telah dipirolisis 600°C untuk arang karbonisasi *furnace***

- k. Karbon aktif kulit pisang yang telah dihasilkan dicuci dengan HCL 5 N beberapa kali untuk menghilangkan unsur klorida.



**Gambar 3.10 Proses pencucian karbon aktif dengan larutan HCL 5N**

- l. Karbon aktif yang telah bebas klorida lalu dicuci dengan menggunakan air aquades panas sebanyak beberapa kali hingga netral
- m. Karbon aktif yang telah mencapai PH netral dicuci kembali dengan air aquades dingin untuk menghilangkan kandungan phosphor.
- n. Karbon aktif yang telah dicuci dan dinetralkan kemudian di keringkan kembali didalam oven pada suhu 120-150°C kemudian karbon aktif tersebut di hancurkan menggunakan blender dan mortal (pengulekkan/pembubukkan).
- o. Karbon aktif yang telah halus kemudian disaring dengan saringan 400 mesh.



**Gambar 3.11 Hasil Saring Karbon Aktif 400 mesh**

### **3.2.2 Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Campuran Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pisang dan Minyak Mineral 2% dengan Metode Pirolisis Sederhana**

- a. Dibuat larutan minyak mineral 2% dengan menggunakan pelarut hexan (mopoung dan thongcharoen, 2009) dimana 0,1 gram minyak mineral dilarutkan kedalam 4.9 gram hexan.

- b. Sebanyak 5g sampel karbon aktif yang telah dipreparasi ini kemudian di campur dengan beberapa tetes minyak mineral 2% dan dimasukkan ke dalam *stainless steel tube*.



**Gambar 3.12** *Stainless steel Tube* sebelum di welding (a) dan sesudah diwelding (b)

- c. *Stainless steel tube* tersebut dimasukkan kedalam reaktor pirolisis kondisi pertama tanpa reactor kuarsa pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam lalu dibiarkan mendingin kemudian sampel diambil untuk di karakterisasi.



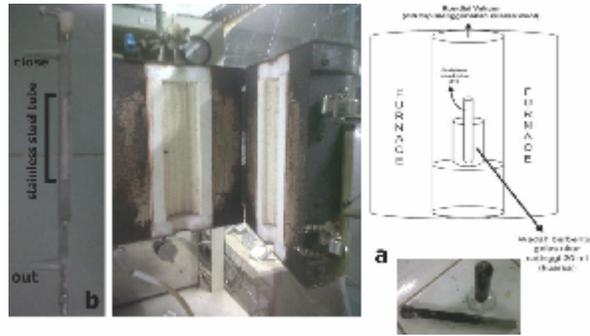
**Gambar 3.13** *Stainless steel* hasil pirolisis I

- d. Penelitian mahanandia et al (2008) yang melakukan pirolisis sederhana dengan suhu yang tinggi yaitu  $950^{\circ}\text{C}$  tanpa gas inert dilakukan pada reactor kuarsa. Dengan jumlah dan cara yang sama dipirolisis  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam lalu dibiarkan mendingin kemudian sampel diambil untuk di karakterisasi.



**Gambar 3.14** *Stainless steel* hasil pirolisis II

- e. Sampel dikarakterisasi dengan EDS, TEM dan XRD pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.15 Rangkaian alat pirolisis sederhana (a) modifikasi metode pirolisis sederhana dari (b) (mahanandia et al,2008)

### 3.2.3 Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon aktif dari Limbah Kulit Pisang dengan Dekomposisi Metana

#### 3.2.3.1 Karbon Aktif tanpa Kalsinasi

- Katalis  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan didalam aceton dengan konsentrasi  $\pm 0.09\text{M}$  kemudian dilarutkan 2 ml larutan Fe kedalam 1 gr karbon aktif yang menandakan terdapat 1%wt Fe didalam karbon aktif. (Dang sheng shu, et al, 2007)
- Hasil pencampuran karbon aktif dan katalis Fe kemudian disonifikasi (pengadukan ultrasonic) selama 1 jam yang disertai pemanasan pada suhu  $60\text{-}70^\circ\text{C}$  hingga seluruh pelarut teruapkan. Setelah itu dikeringkan pada suhu  $60\text{-}70^\circ\text{C}$  didalam oven semalaman.



Gambar 3.16 Hasil impregnasi 1% wt Fe/karbon aktif setelah dikeringkan

- Hasil impregnasi kemudian dikalsinasi dalam reactor kuarsa dengan mengalirkan gas nitrogen (50 ml/menit) pada suhu  $350^\circ\text{C}$  selama 3 jam dan direduksi pada suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 3 jam dengan mengalirkan gas hydrogen (70 ml/menit).
- Setelah proses reduksi, dialirkan gas metana 100 ml/menit selama 1 jam pada suhu  $800^\circ\text{C}$ . Setelah 1 jam aliran metana dimatikan dan suhu secara perlahan diturunkan hingga suhu kamar dengan mengalirkan gas nitrogen.
- Konversi metana diukur menggunakan Gas Chromatograph (GC).

f. Sampel dikarakterisasi dengan TEM dan XRD.

### 3.2.3.2 Karbon Aktif dengan Kalsinasi

a. Karbon aktif mula-mula di kalsinasi didalam *furnace* selama 4 jam pada suhu 400°C.



**Gambar 3.17** Karbon aktif setelah kalsinasi dalam *furnace* 400°C selama 4 jam

b. Katalis  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan didalam aceton dengan konsentrasi  $\pm 0.09\text{M}$  kemudian dibuat campuran impregnasi antara katalis Fe dan karbon aktif yang telah dikalsinasi dengan melarutkan 2 ml larutan Fe kedalam 1 gr karbon aktif (1%wt Fe) dan melarutkan 10 ml larutan Fe kedalam 1 gr karbon aktif (5%wt Fe).



**Gambar 3.18** Larutan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \pm 0.09 \text{ M}$

c. Masing-masing hasil impregnasi diperlakukan sama, yaitu disonifikasi (pengadukan ultrasonic) selama 1 jam yang disertai pemanasan pada suhu 60-70°C hingga seluruh pelarut teruapkan. Setelah itu dikeringkan pada suhu 60-70°C didalam oven semalaman.

d. Hasil impregnasi kemudian dikalsinasi dalam reactor kuarsa dengan mengalirkan gas nitrogen (50 ml/menit) pada suhu 500°C selama 4 jam dan direduksi pada suhu 700°C selama 4 jam dengan mengalirkan gas hydrogen (70 ml/menit).

- e. Pencampuran katalis Fe dengan karbon aktif di sonifikasi selama  $\pm 30$  menit pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  kemudian didiamkan 24 jam pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . sehingga sampel mengering dan semua solvent teruapkan.
- f. Fe/karbon aktif lalu di bubukkan kembali kemudian dimasukkan dalam reactor kuarsa untuk dikalsinasi dengan gas  $\text{N}_2$  70 ml/min pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam kemudian suhu dinaikkan hingga  $700^{\circ}\text{C}$  kemudian direduksi dengan gas  $\text{H}_2$  70 ml/min selama 4 jam.
- g. Suhu reactor dinaikkan hingga  $800^{\circ}\text{C}$  sambil dialirkan gas  $\text{N}_2$  dengan aliran rendah untuk menghilangkan oksigen kemudian setelah suhu  $800^{\circ}\text{C}$  tercapai aliran  $\text{N}_2$  dinaikkan hingga 200 ml/menit dan gas metana dialirkan bersama dengan laju aliran 100 ml/menit. Perbandingan  $\text{N}_2:\text{CH}_4$  (2:1) mengikuti aliran terbaik dekomposisi metana pada karbon aktif (Sivakumar et al, 2010)
- h. Konversi metana diukur menggunakan Gas Chromatograph (GC).
- i. Sampel dikarakterisasi dengan TEM dan XRD.

### 3.3 Skema Peralatan

Dibawah ini adalah gambar rangkaian alat reaktor pirolisis untuk menumbuhkan nanokarbon dan karbon *nanotube*.



**Gambar 3.19** Skema Reaktor *Atmospheric Fixed Bed* dan reactor kuarsa untuk proses impregnasi katalis dan proses penumbuhan nanokarbon

Alat untuk mengukur konversi metana terlihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 3.20** *Gas Chromatography*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil XRD Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah dibuat dikarakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD) karakterisasi ini mengungkapkan struktur kristal yang terdapat pada karbon aktif. Struktur kristal yang terdeteksi ini dapat membuktikan bahwa kulit pisang dapat menjadi bahan baku pembuatan karbon aktif.

##### a. Hasil XRD arang kulit pisang sebelum aktivasi

Untuk mengetahui bagaimana perbedaan dari setiap *treatment* yang dilakukan pada kulit pisang maka dilakukanlah karakteristik pada tahapan arang kulit pisang sebelum aktivasi. Arang kulit pisang yang telah dikarbonisasi namun belum di aktivasi memiliki banyak struktur kristal campuran.

##### - Arang kulit pisang karbonisasi vakum

Pada hasil XRD dapat dilihat bahwa profil grafiknya menunjukkan adanya kristalin campuran seperti KCL ( $28,58^\circ$ ,  $40,56^\circ$ , dan  $50,24^\circ$ ) ; peak yang lemah untuk  $K_2CO_3$  ( $32,4^\circ$ ).  $K_2CO_3$  merupakan hasil reaksi antara K yang banyak terkandung pada kulit pisang dengan  $CO_2$ . (mopoung, 2008)

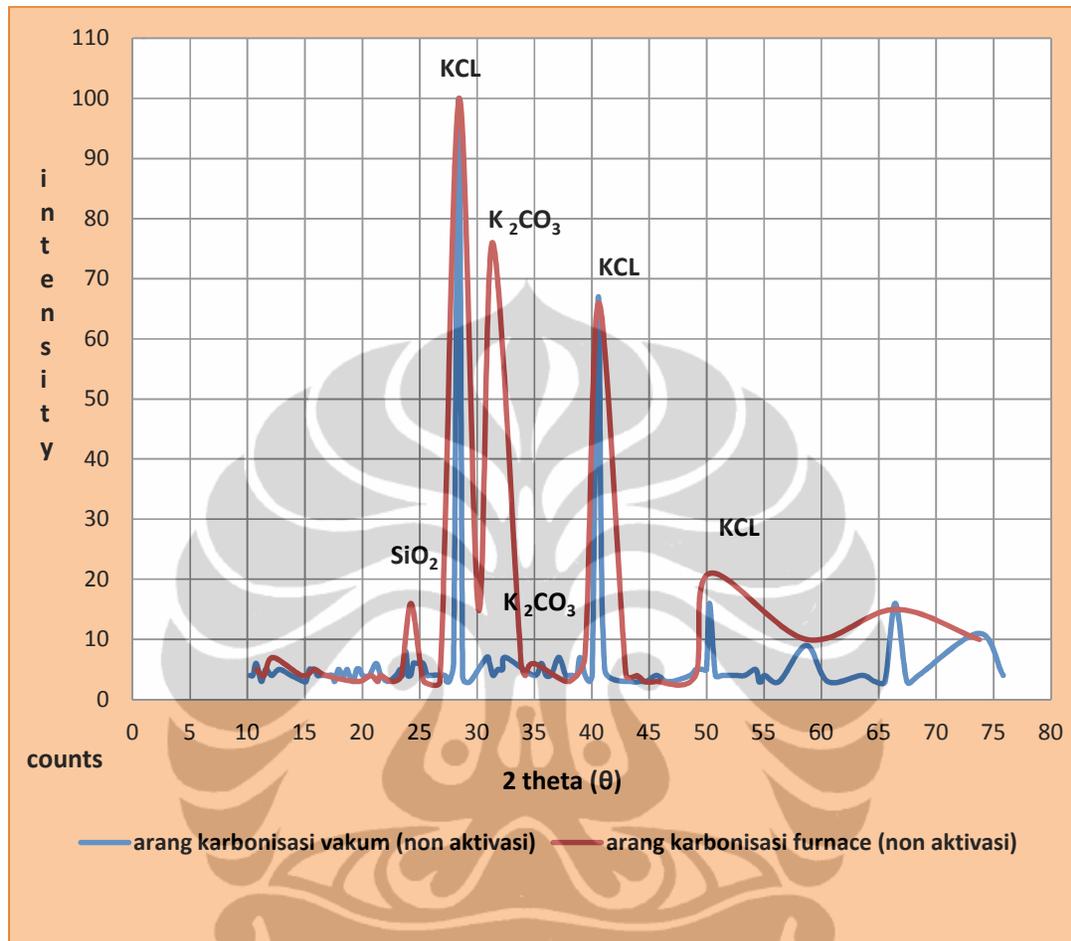
##### - Arang kulit pisang karbonisasi *furnace*

Hasil XRD menunjukkan keragaman kristal yang terbentuk pada arang kulit pisang hasil karbonisasi *furnace*. Hal ini terjadi karena kondisi karbonisasi yang kaya akan  $O_2$  membuat terjadinya banyak reaksi seperti terbentuknya  $K_2O$  dan  $K_2CO_3$  ( $28^\circ$ ,  $31,34^\circ$ ) akibat reaksi dari K dan  $KO_2$  dengan  $CO_2$ .

Terbentuk pula bentuk kristal akibat kadar abu yang tinggi yaitu  $SiO_2$  ( $24,22^\circ$ ) (mopoung, 2008). Bentuk kristal lain yang juga terbentuk adalah KCl ( $28,42^\circ, 40,59^\circ, dan 50,24^\circ$ ) kristal ini terbentuk dari proses dekomposisi zat organik kulit pisang yang bereaksi dengan unsur K.

Dengan membandingkan keduanya maka akan terlihat perbedaan dari arang kulit pisang yang dikarbonisasi secara vakum dan *furnace*. Tidak ada perbedaan yang mencolok hanya saja terlihat bahwa profile untuk arang dengan karbonisasi *furnace*

memiliki *impurities* yang lebih banyak. Hal tersebut dapat dilihat dengan grafik dibawah ini:



Gambar 4.1 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang sebelum aktivasi

#### b. Hasil XRD Arang Kulit Pisang setelah Aktivasi 600°C

##### - Aktivasi Arang karbonisasi vakum sebelum dicuci (netral)

Hasil XRD menunjukkan terjadinya perubahan structural pada arang kulit pisang setelah di aktivasi dan dipanaskan. Terlihat perubahan peak seperti munculnya kristalin  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( $23,82^\circ; 33,93^\circ$ ) karena reaksi antara K dan asam phosphate ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) sebagai zat aktivasi, munculnya peak karbon aktif (*C graphite*) pada  $2\theta$ :  $26,58^\circ$  dan  $44,45^\circ$  (lua A.C dan Teng H, 2004), (Xingzhong et al., 2010), (Fan et al, 2004), namun kemunculannya lemah, yang terlihat lebih kuat adalah C amorph pada  $45^\circ$  (mopoung, 2010).

Amorph yang kuat terlihat sebelum aktivasi seperti  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , dan KCl terlihat mulai melemah dimana hal ini terjadi karena pemanasan dan aktivasi

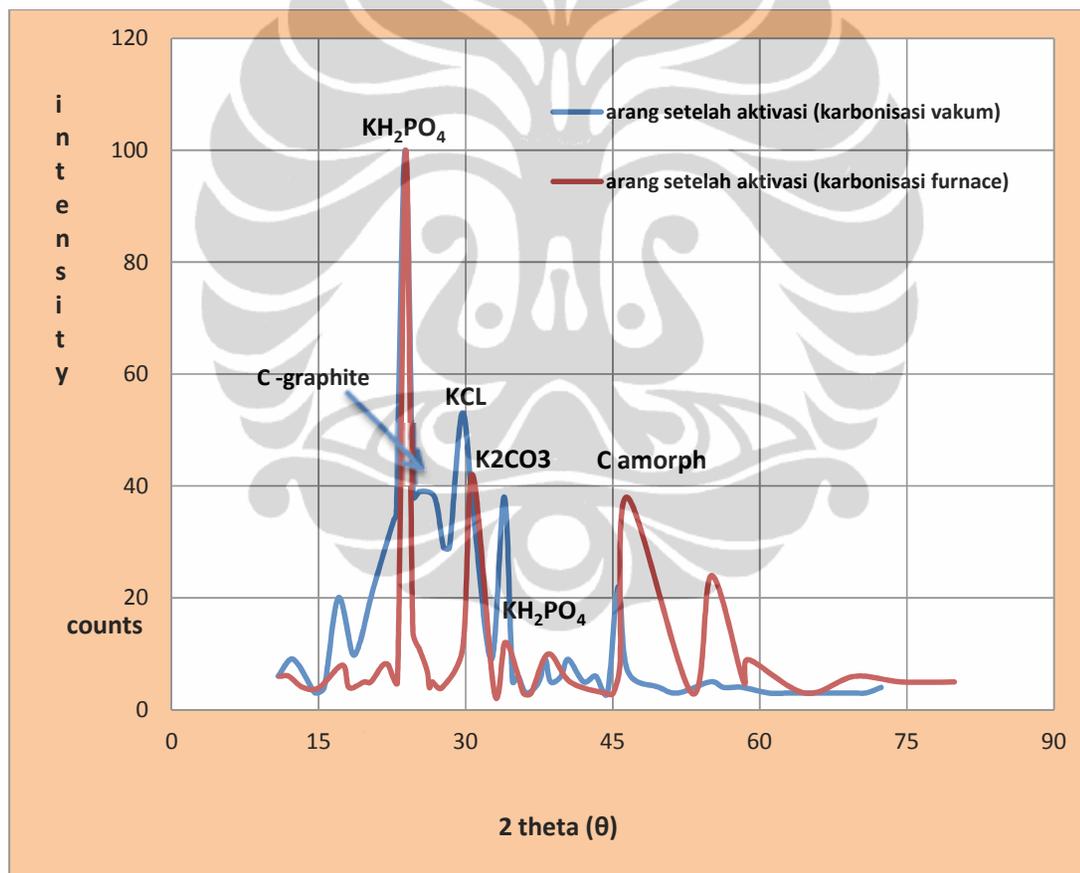
merubah atau mendegradasi derajat kristalinitas arang menjadi karbon aktif sehingga terjadi pergeseran struktur yang lebih teratur (Schukin et al,2002)

- **Aktivasi Arang karbonisasi *furnace* sebelum dicuci (netral)**

Dari hasil XRD dibawah ini dapat kita lihat bahwa peak kristalin yang paling kuat adalah  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( $23,89^\circ$ ;  $34^\circ$ ) dibandingkan dengan arang karbonisasi vakum kandungan  $\text{K}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  pada arang karbonisasi *furnace* masih lebih tinggi.

Kandungan C *graphite* nya pun lebih lemah dibandingkan dengan arang karbonisasi vakum dan masih terdapat C *amorph* yang belum terdegradasi sempurna membentuk *graphite*.

Dengan menggabungkan keduanya dapat terlihat perbedaanya:

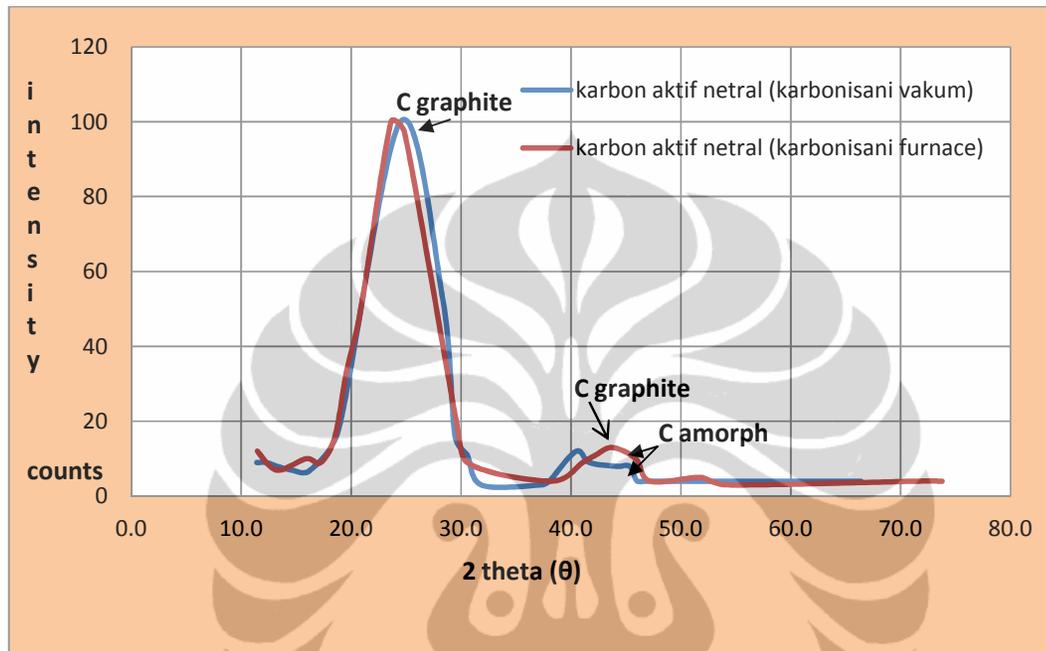


**Gambar 4.2 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang setelah aktivasi**

Dengan melihat perbandingan diatas ada sedikit perbedaan dimana kandungan KCl pada arang karbonisasi *furnace* tidak lagi terlihat sedangkan pada arang aktivasi vakum masih terlihat. Hal ini seperti halnya terjadi karena karbonisasi vakum seperti halnya

kurang dapat menghilangkan kandungan alkali yang terdapat pada kulit pisang. Hal ini juga terbukti dengan hasil saringan arang kulit pisang setelah diaktivasi dimana air hasil saring karbonisasi *furnace* lebih jernih daripada karbonisasi vakum.

c. Hasil XRD Arang Kulit Pisang setelah Aktivasi dan penetralan



Gambar 4.3 Hasil XRD perbandingan arang kulit pisang setelah aktivasi (pencucian dan penetralan)

Hasil XRD diatas membuktikan bahwa pencucian dan penetralan karbon aktif sangat penting karena dengan mencucinya dengan asam maka porositas dari karbon aktif lebih terbuka, terlihat dari profile XRD yang lebih teratur permukaannya dibandingkan sebelum dicuci (Azargohar,2009). *Impurities* seperti  $K_2O$ ,  $K_2CO_3$ , dan KCL tidak lagi dominan namun bukan berarti tidak ada. Karbon amorph masih terlihat pada peak  $45^\circ$

Karbon *graphite* terlihat sangat lemah pada peak  $44^\circ$  walaupun terjadi gelombang peak di sekitar 2 theta  $22^\circ$ - $30^\circ$  masih belum dapat memastikan apakah grahite C terbentuk dengan baik melihat profil XRD pada penelitian (mopoung,2008) (mopoung 2005) dikatakan bahwa c *graphite* terbentuk pada  $2\theta$ :  $25,9^\circ$ , $26,5^\circ$ , $26^\circ$ , $44^\circ$ , dan  $44,5^\circ$ . Sedangkan hasil XRD percobaan yang dilakukan intensity terbesar hanya ada pada peak  $25^\circ$ .

Dari hasil XRD diatas maka dapat disimpulkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan dengan karbonisasi vakum memiliki hasil yang lebih baik (peak mendekati

25,9°) dan akan digunakan untuk percobaan selanjutnya. Akan tetapi, karbon aktif ini memiliki struktur yang lemah dan kualitasnya rendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

- Perlakuan terhadap arang kulit pisang pada saat aktivasi dimana arang kulit pisang (setelah dikarbonisasi) sepertinnya perlu dihancurkan terlebih dulu sebelum direndam zat activator.
- Suhu pirolisis (aktivasi) karbon aktif yang perlu ditingkatkan (terbukti dari hasil BET pada karbon aktif yang dipirolis kembali pada suhu 700°C dimana luas permukaannya meningkat dari 0 m<sup>2</sup>/g menjadi 48,93 m<sup>2</sup>/g

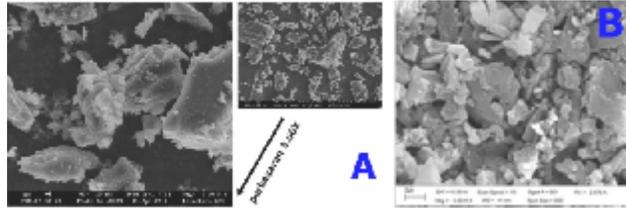
Dari hasil diatas dapat juga disimpulkan bahwa perlakuan karbonisasi tidak menjadi factor penting dalam kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Namun, proses aktivasilah yang paling berperan penting. (Subadra et al, 2005). Melalui proses aktivasi arang akan memiliki daya adsorpsi yang semakin meningkat, karena arang hasil karbonasi biasanya masih mengandung zat yang masih menutupi pori-pori permukaan arang. Zat yang menutupi pori dihilangkan dengan menggunakan activator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Pada saat perendaman larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> akan teradsorpsi oleh arang yang akan melarutkan tar dan mineral anorganik. Hilangnya zat tersebut dari permukaan arang aktif akan menyebabkan semakin besar pori dari arang aktif (Subadra et al, 2005).

Besarnya pori arang aktif berakibat meningkatnya luas permukaan arang aktif sehingga akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari arang aktif. Hal ini juga terbukti dari penelitian Mopoung et al (2011) dengan menggunakan beras ketan yang dijadikan arang menunjukkan bahwa pada karbonisasi (pirolisis) suhu 600°C dengan ukuran partikel yang lebih kecil menghasilkan *Cgraphite* yang walaupun lemah tapi lebih baik daripada ukuran partikel lainnya yang lebih besar.

#### 4.2 Hasil SEM Karbon Aktif

Karakterisasi dengan menggunakan SEM menunjukkan gambar atau bentuk dari karbon aktif dimana berdasarkan banyak penelitian karbon aktif dari kulit pisang akan menunjukkan suatu susunan heksagonal yang berbentuk lembaran *graphite*. (Mopoung,2010,2008). Namun pada penelitian Mopoung & Thongcharoen (2009), memperlihatkan hasil SEM karbon aktif dengan bentuk seperti bongkahan tidak beraturan yang terlihat pada gambar dibawah ini:

- Hasil karakteristik SEM karbon aktif vakum



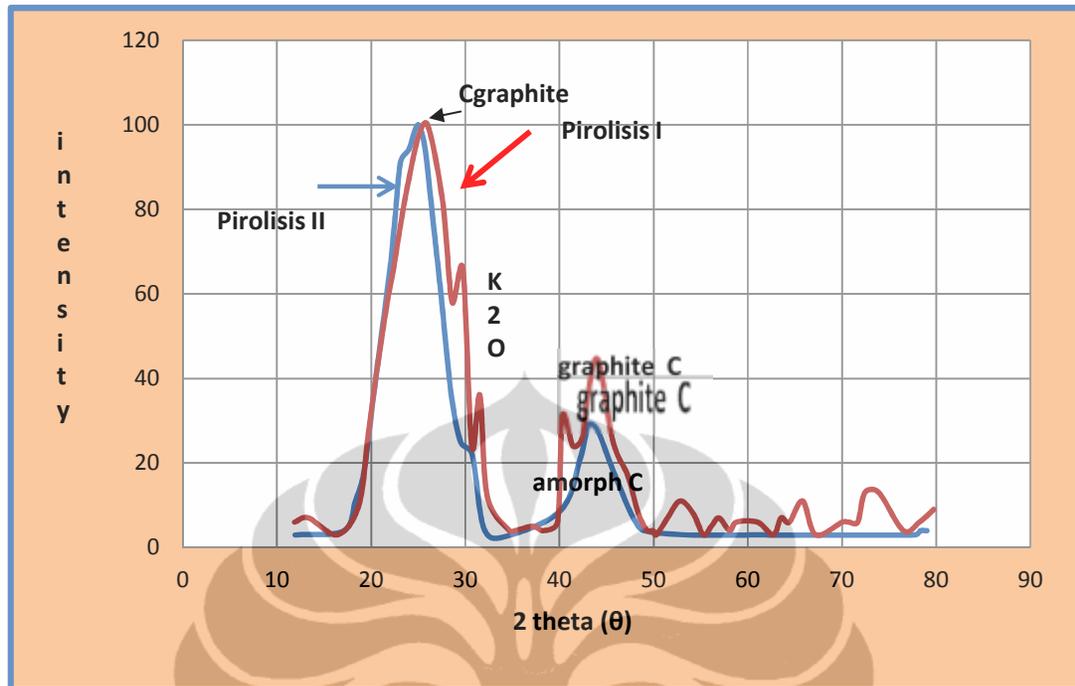
**Gambar 4.4 SEM karbon aktif vakum (a) dan Contoh gambar SEM karbon aktif kulit pisang (Mopoung,2008)**

Berdasarkan gambar diatas dimana terdapat suatu gambar perbandingan yang menunjukkan hasil SEM karbon aktif dari kulit pisang menggunakan  $H_3PO_4$  sebagai activator yang di aktivasi pada suhu  $600^\circ C$  maka dapat kita lihat bahwa hasil dari penelitian menunjukkan suatu perbedaan yang tidak menonjol. Artinya bahwa karbon aktif dengan perbesaran 1.00-5.00X menunjukkan hasil gambar SEM karbon aktif berupa suatu bongkahan-bongkahan yang berbentuk tidak teratur.

### **4.3 Pertumbuhan Nanokarbon dari Campuran Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang dan Minyak Mineral dengan Metode Pirolisis Sederhana**

#### **4.3.1 Hasil XRD dari Pirolisis Sederhana**

Hasil dari pirolisis kemudian di karakteristik dengan XRD sehingga diperoleh hasil:



**Gambar 4.5 Hasil XRD campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2%**

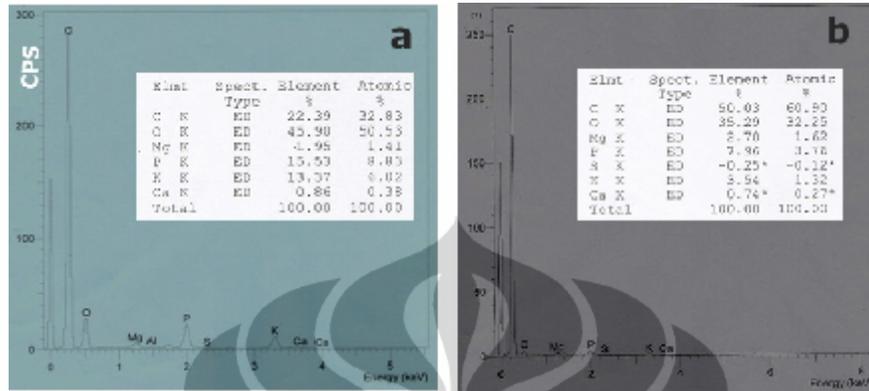
Dari hasil di atas diperoleh hasil dimana terjadi penguatan struktur kristalin karbon aktif pada range peak 25,8- 26° diikuti dengan peak 44° yang juga mengalami penguatan kristalin karbon aktif. Hal ini terjadi karena naiknya suhu pemanasan menjadi 800°C yang menyebabkan karbon amorphs yang bermutu rendah mulai berubah struktur menjadi *graphite*.

Akan tetapi, masih belum dapat dikatakan hanya karena suhu pemanasan yang naik, ada unsur minyak mineral yang perlu ditinjau lebih jauh lagi apakah mempengaruhi proses penguatan struktur kristal C *graphite*.

Untuk CNT sendiri tidak dapat dipastikan keberadaannya, pada profil XRD berdasarkan penelitian (mopoung,2010) CNT terbentuk pada peak 26°, 28,5°, 43°, dan 54,5°. untuk peak 26° dengan intensitas tinggi memang terbentuk pada hasil pirolisis I begitu pula dengan peak 28,46° dan 43° yang terbentuk namun dengan intensitas yang sangat rendah. Menurut literatur yang sama juga dikatakan bahwa pembentukan Fe yang bereaksi dengan karbon seharusnya terlihat pada hasil XRD namun dari hasil percobaan tidak terlihat peak yang menunjukkan arah kesana. Hal ini terjadi karena Fe kristalin baru dapat terbentuk pada saat pemanasan/pirolisis suhu 950°C (Mahanandia et al,2008).

### 4.3.2 Hasil EDS dari Pirolisis Sederhana

Hal ini diperkuat dalam hasil EDS:



Gambar 4.6 Hasil EDS pirolisis I (a) pirolisis II (b)

Dari hasil EDS diatas terlihat,yaitu:

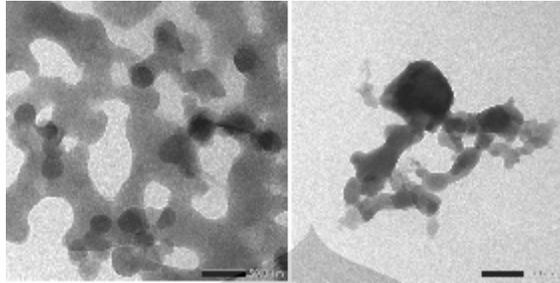
- Komponen utama pada hasil pirolisis I adalah carbon (22,39%wt), oksigen (45,90%wt), P (15,53%), dan K (15,53%wt). Sedangkan komponen sampingan yaitu Mg (1,95%wt) dan Ca (0,86%wt).
- Komponen utama pada hasil pirolisis II adalah carbon (50,03%wt), oksigen (35,29%wt), dan P (7,96%). Sedangkan komponen sampingan yaitu Mg (2,7%wt) dan K (3,54%wt)

Kandungan utama pada hasil pirolisis I dan II terlihat lebih didominasi oleh karbon dan oksigen. Kandungan oksigen yang lebih rendah disebabkan karena perpecahan ikatan C-C sehingga terjadi penyusunan kembali pada molekul interaksi antar molekul (Trompowsky et al., 2005).

Pada hasil EDS diatas tidak menunjukkan adanya kandungan Fe yang merupakan katalis untuk pembentuk CNT. Berdasarkan penelitian mopoung (2010) kandungan Fe harusnya terdapat dalam CNT yang dihasilkan karena Fe yang terkandung dalam *stainless steel tube* mampu terdegradasi bersama karbon aktif dan minyak mineral membentuk MWCNT.

### 4.3.3 Hasil TEM dari Pirolisis Sederhana

Sampel pirolisis I kemudian di karakterisasi TEM:



**Gambar 4.7 Gambar TEM Hasil Pirolisis 1**

Gambar diatas diambil pada titik yang berbeda dalam 1 sampel dimana terlihat bahwa terdapat struktur yang tidak homogen. Bentuk nanokarbon yang dihasilkan diatas berbentuk *quasispherical* dan *polygonal* (Mopoung,2011) dimana terdapat *nanocarbonfibrils* teragglomerasi belum sempurna didalam campuran karbon aktif dan minyak mineral.

Dari hasil TEM diatas dapat disimpulkan bahwa CNT belum terbentuk namun nanokarbon sudah mulai terbentuk. Pirolisis dengan suhu yang lebih tinggi menghasilkan material dengan luas permukaan yang lebih besar karena membentuk struktur mikro dan mesopori didalamnya (Mahreni dan Adi, 2011)(Chee et al, 2003). Oleh sebab itu, berdasarkan hasil uji BET diperoleh peningkatan luas permukaan pada hasil percobaan yaitu  $45,14 \text{ m}^2/\text{g}$

Hal ini memperkuat hasil yang telah disimpulkan bahwa dibutuhkan suhu yang tinggi untuk dapat membentuk CNT dengan menggunakan kristalin Fe yang terkandung dalam *stainless steel tube*.

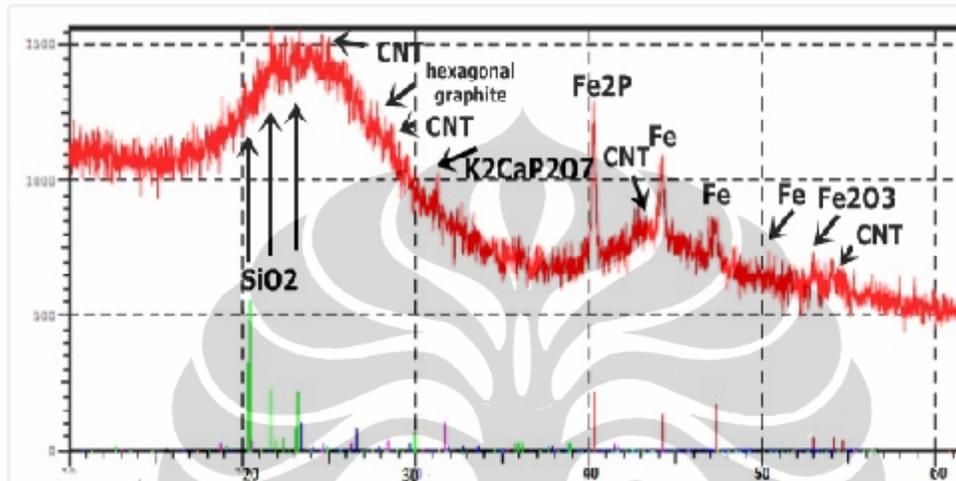
Analisa Kegagalan:

Suhu pirolisis yang kurang tinggi sehingga tidak mampu mendegradasi kandungan Fe yang terdapat pada *stainless steel tube* sehingga Fe tidak dapat bekerja dengan baik sebagai katalis pembentuk CNT. Hal ini diketahui berdasarkan penelitian (Mahanandia *et al.*, 2008) yang menyatakan bahwa dalam metode pirolisis sederhana yang digunakan dalam menghasilkan MWCNT dengan *single crystal iron* (Fe) membutuhkan suhu  $950^\circ\text{C}$ .

#### 4.4 Pertumbuhan Nanokarbon dari Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang dengan Katalis Fe Menggunakan Metode Dekomposisi Metana

##### 4.4.1 Hasil XRD Nanokarbon 1%wt Fe/Karbon Aktif Tanpa Kalsinasi

Hasil Karakterisasi XRD:



**Gambar 4.8 Hasil XRD nanokarbon impregnasi 1% wt Fe/karbon aktif (tanpa kalsinasi)**

Dari hasil karakterisasi diatas dapat dilihat munculnya peak Fe di  $44,6^\circ$  dan hal itu sesuai dengan hasil penelitan Mahandia et al (2008) dan  $50,2^\circ$  (Mopoung, 2011) lalu munculnya peak di  $25,5-26,3^\circ$  yang menandakan adanya hexagonal *graphite* seharusnya didukung oleh kemunculan peak di  $43,3^\circ$ , dan  $53,4^\circ$  namun justru munculnya peak  $28^\circ$  dan  $41,5^\circ$  yang menandakan adanya *fullerene* (Mopoung, 2011) selain itu adanya di  $54,5^\circ$  mencerminkan sekumpulan nanokarbon yang terbentuk. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Mopoung yang melaporkan bahwa CNT terdeteksi pada peak  $26,28,5,43$  dan  $54,5^\circ$ . *fullerene* pada peak  $11^\circ$ ,  $19^\circ$ ,  $21,5^\circ$ ,  $31,5^\circ$ ,  $41,5^\circ$  dan  $56,5^\circ$

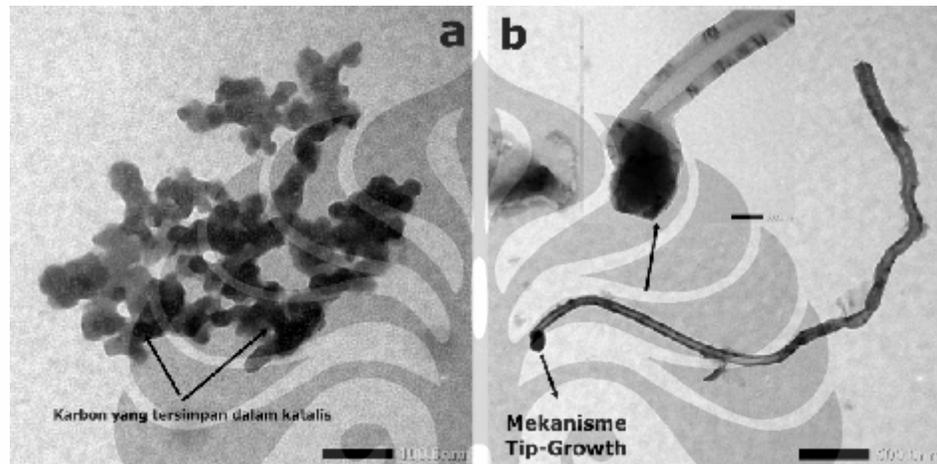
Pengotor juga terdeteksi pada peak  $58,5^\circ$  ( karbon amorph),  $Fe_2P$  pada peak  $40,2^\circ$ ,  $Fe_2O_3$  ( $53^\circ$ ),  $K_2CaP_2O_7$  ( $31,19^\circ$ ),  $SiO_2$  di peak  $20,5^\circ$ ,  $21,5^\circ$  dan  $24^\circ$  (Mopoung, 2011)(Mopoung et al, 2010). Terdapatnya  $Fe_2O_3$ ,  $K_2CaP_2O_7$ ,  $SiO_2$  dan  $Fe_2P$  kemungkinan terbentuk karena bereaksinya Fe kedalam C ,O, dan pengotor lainnya. K merupakan kandungan yang mendominasi kulit pisang sehingga kemungkinan mengalami oksidasi bersama dengan kandungan lainnya membentuk  $K_2CaP_2O_7$ .

Secara keseluruhan terlihat bahwa katalis logam Fe berhasil diimpregnasi kedalam karbon aktif hanya saja proses pembentukan nanokarbonnya belum dapat merata

keseluruh bagian. Hal ini kemungkinan disebabkan karena waktu pemanasan yang kurang serta suhu yang perlu ditingkatkan. Selain itu, faktor dari karbon aktif yang berluas permukaan rendah membuat metana kurang teradsorpsi.

#### 4.4.2 Hasil TEM Nanokarbon 1%wt Fe/Karbon Aktif Tanpa Kalsinasi

Hasil Karakterisasi TEM:



**Gambar 4.9 Hasil gambar TEM yang menunjukkan (a) 1%wt Fe/karbon aktif yang belum membentuk nanokarbon dan CNT (b) 1%wt Fe/karbon aktif yang sudah membentuk CNT**

Dari hasil gambar TEM diatas menunjukkan bahwa CNT dapat terbentuk dari katalis Fe/karbon aktif yang didekomposisi metana namun masih terdapat kekurangan pada hasil yang terbentuk dimana masih terdapat bagian dari Fe/karbon aktif yang belum membentuk CNT (gambar a). Hal ini mendukung hasil dari karakterisasi XRD.

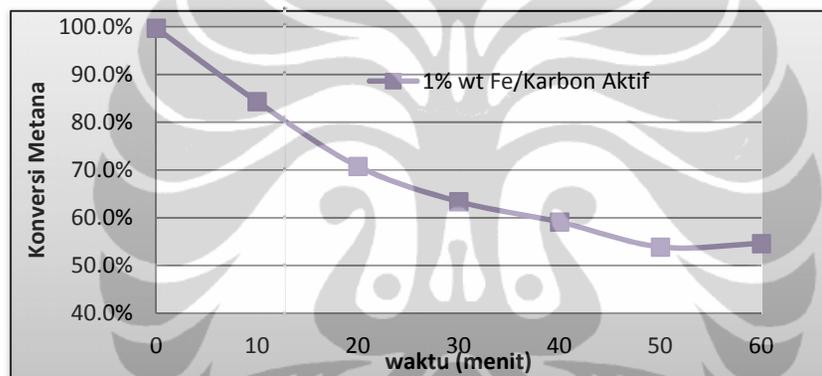
Bentuk CNT yang terbentuk berjenis multiwall dengan katalis logam Fe tertanam pada karbon aktif. Dari hasil TEM juga dapat diketahui bahwa ukuran diameter yang terbentuk tidak seragam yaitu antara 17-40 nm.

Fenomena pertumbuhan *tip growth* yang dihasilkan dari nanokarbon dijelaskan pada penelitian Zhang et al, 2002 bahwa pertumbuhan CNT oleh Fe akan dapat tumbuh pada saat bagian ujungnya terbuka selama proses pertumbuhan. Pada saat katalis Fe mengenai bagian ujung maka dimulailah proses pertumbuhan *nanotube* secara cepat disertai masuknya partikel Fe kedalam selongsong sehingga pertumbuhannya terhenti lalu saat katalis Fe datang dan masuk lagi ke ujung *nanotube* maka pertumbuhan kembali

berjalan begitu seterusnya hingga terbentuk tube yang panjang. Proses pertumbuhan benar-benar terhenti ketika inti aktif katalis telah habis.

Berdasarkan hasil TEM diatas dapat pula diketahui bahwa masih terdapat bagian karbon yang terperangkap dalam katalis dan belum berhasil membentuk CNT hal ini dapat terjadi beberapa hal yaitu:

- Luas permukaan karbon aktif yang rendah sehingga kurang maksimal mengadsorpsi gas metana dan katalis.
- Jumlah *nanotube* yang dihasilkan sedikit, hal ini terjadi karena kurangnya masa katalis karena berdasarkan (Noor, 2008) penambahan katalis sangat mempengaruhi jumlah *nanotube* yang dihasilkan.



**Gambar 4.10 Hubungan konversi karbon dengan waktu pada 1%wt Fe/karbon aktif tanpa kalsinasi**

Dari grafik diatas terlihat bahwa proses dekomposisi metana belum terhenti. Konsentrasi metana masih menunjukkan angka diatas 50% sehingga katalis masih memiliki keaktifan untuk terus bereaksi. Konsentrasi metana tidak dapat dijadikan dasar dalam pertumbuhan nanokarbon atau CNT karena terbukti dari hasil TEM diatas yang menunjukkan bahwa pada media Fe/karbon aktif hanya sedikit CNT yang terbentuk karena ada kemungkinan Fe terenkapsulasi dalam karbon aktif dan metana sulit masuk kedalam untuk membentuk nanokarbon/CNT.

#### **4.5 Pertumbuhan Nanokarbon dari Karbon Aktif Kulit Pisang dengan Katalis Fe Menggunakan Metode Dekomposisi Metana bersama Nitrogen**

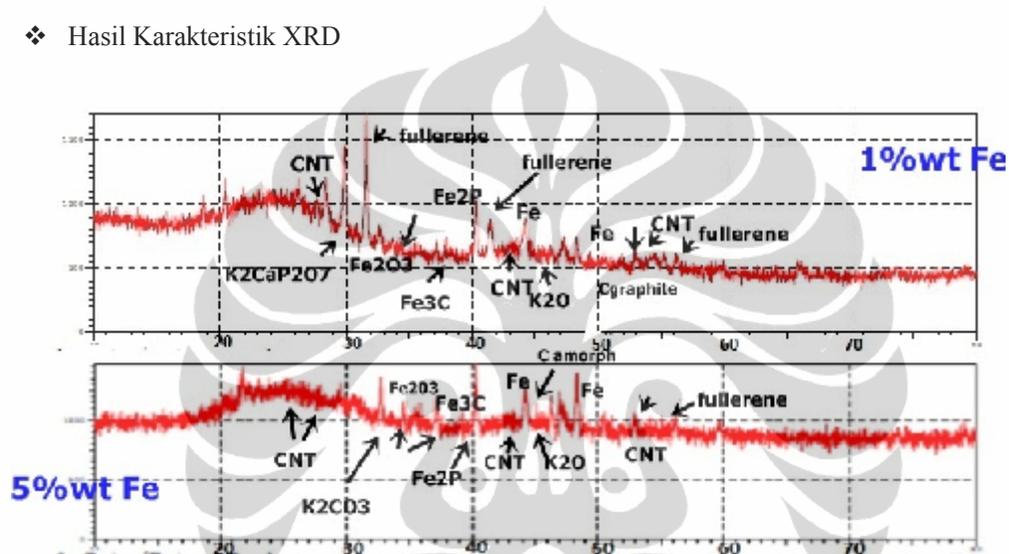
Melihat kondisi dan hasil dari percobaan sebelumnya maka perlu adanya perbaikan pada proses impregnasi katalis Fe dan karbon aktif. Hal ini dikarenakan:

- Karbon aktif yang memiliki luas permukaan 0 m<sup>2</sup>/g sehingga mengurangi kerja karbon aktif dalam mengadsorpsi gas ataupun katalis. Hal ini membuat impregnasi katalis dan karbon aktif kurang homogen (Alsaadi et al,2011)
- Yield nanokarbon dan CNT yang dihasilkan sangat sedikit

Dilakukan suatu metode baru dimana dari metode ini akan dapat memperlihatkan bagaimana pengaruh *loading* katalis dan efek luas permukaan karbon aktif.

#### 4.5.1 Hasil XRD Nanokarbon 1% dan 5% wt Fe/Karbon Aktif Kalsinasi

❖ Hasil Karakteristik XRD



Gambar 4.11 Hasil XRD nano karbon 1%wt dan 5%wt Fe/karbon aktif

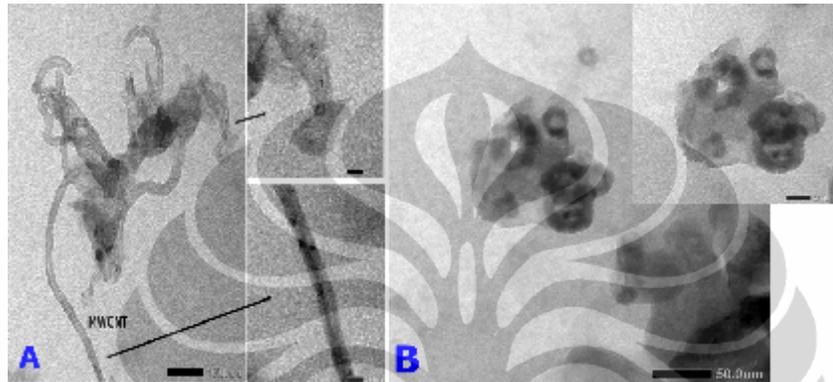
Dari hasil karakterisasi di atas dapat dilihat munculnya peak Fe di 44,6° dan 48° (Mahandia et al,2008) dan 50,2° (Mopoung, 2011). Munculnya peak 25,9°, 43,3°, dan 53,4° yang menandakan adanya hexagonal *graphite*. dari XRD di atas dapat kita lihat bahwa terdapat peak CNT di 28,5°, 43° dan 54,5°. Mopoung juga melaporkan hal yang sama bahwa CNT terdeteksi pada peak 26°, 28,5°, 43° dan 54,5°. *fullerene* pada peak 56,5°.

Pengotor juga terdeteksi pada peak 45° ( karbon amorph), Fe<sub>3</sub>C pada peak 38°, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (34,5°, K<sub>2</sub>O (46°), Fe<sub>2</sub>P pada peak 40,2°, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (53°), dan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (32°). Terdapatnya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>C dan Fe<sub>2</sub>P kemungkinan terbentuk karena bereaksinya Fe kedalam C, O, dan pengotor lainnya. K merupakan kandungan yang mendominasi kulit pisang sehingga kemungkinan mengalami oksidasi bersama dengan kandungan lainnya membentuk K<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. (Mopoung, 2011) (Mopoung et al, 2010)

Antara 1% dan 5% wt Fe terlihat bahwa 1%wt memiliki peak yang lebih tinggi (intensitasnya) dibandingkan dengan peak-peak pada 5%wt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa 1%wt Fe memiliki hasil nanokarbon yang lebih baik.

#### 4.5.2 Hasil TEM Nanokarbon 1% dan 5% wt Fe/Karbon Aktif Kalsinasi

##### ❖ Hasil Karakteristik TEM



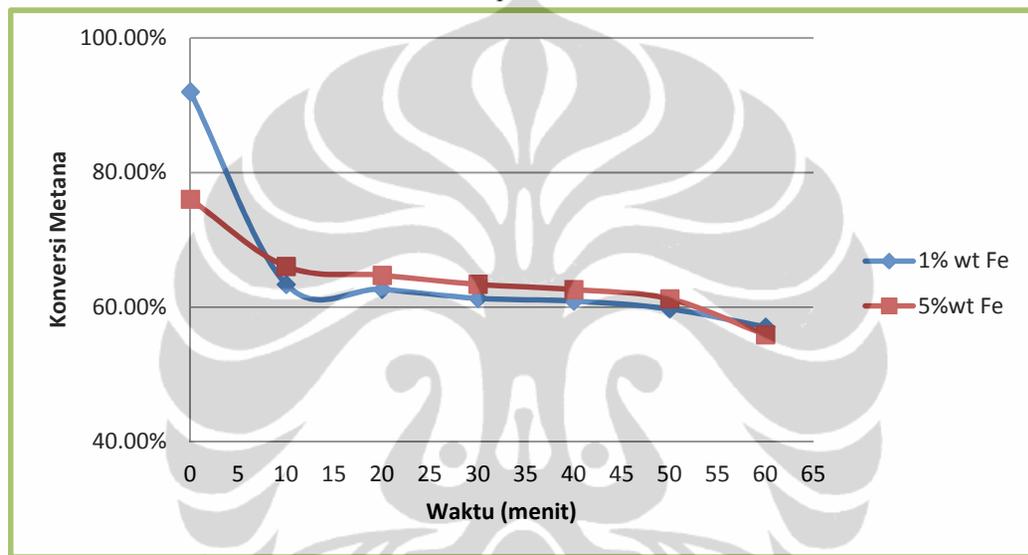
**Gambar 4.12 Karakteristik TEM 1% wt (a) dan 5%wt (b) Fe/karbon aktif (kalsinasi)**

Dari hasil karakteristik TEM diatas maka dapat kita lihat bahwa CNT dan nanokarbon yang terbentuk pada 1%wt Fe/karbon aktif yang terbentuk berjenis MWCNT. Pada 1%wt Fe/karbon aktif CNT yang terbentuk masih belum teratur bentuknya dan belum homogen dengan diameter antara 1,5-23 nm. Terdapat partikel Fe yang terpatris pada selongsong tengah CNT.

Secara teori hasil dari pertumbuhan nanokarbon dan CNT dengan penambahan katalis Fe dapat lebih banyak karena 5%wt Fe merupakan jumlah yang tepat dalam impregnasi dengan karbon aktif (Alsaadi,2011). Akan tetapi dalam percobaan yang telah dilakukan hasil 5%wt memiliki hasil yang kurang baik. Pertumbuhan CNT belum terbentuk dan baru membentuk *hollow onion fiber* (Wulan,2012). Hasil 5%wt Fe/karbon aktif diatas sama seperti hasil dari penelitian sivakumar (2011) yang melaporkan bahwa tidak terdapat CNT pada suhu 750°C dengan katalis dan laju yang sama. CNT baru terbentuk di 850°C sehingga hal ini sepertinnya perlu peninjauan lebih lanjut dimana untuk bahan baku karbon aktif dari kulit pisang dibutuhkan suhu reaksi yang perlu ditingkatkan dan waktu reaksi yang lebih lama agar nanokarbon dapat terbentuk lebih banyak dan homogen.

Fenomena pertumbuhan CNT diatas dijelaskan juga oleh Zhang et al,2002 yang menyatakan bahwa partikel Fe dikelilingi oleh lapisan karbon dan tertahan pada lubang CNT sedangkan pertumbuhan CNT tidak akan berhenti hingga katalis Fe habis sehingga CNT yang dihasilkan berdinding tidak teratur dan memiliki diameter yang juga beragam. Fenomena ini dikarenakan pada saat pertumbuhan *nanotubes* mencapai *nucleation stage* terjadi kekacauan atau peralihan. Alasan lain juga diungkapkan Zhang et al bahwa terjadi kompetisi pada saat pertumbuhan CNT.

❖ Berdasarkan Konsentrasi metana terhadap waktu:



**Gambar 4.13 Hubungan konsentrasi metana dengan waktu pada 1%wt dan 5%wt Fe/karbon aktif kalsinasi**

Konsentrasi metana menunjukkan seberapa banyak metana yang terpakai menjadi produk, baik produk utama (hidrogen dan karbon) maupun hasil sampingan (karbon monoksida dan karbon dioksida, bila terbentuk). Produk-produk berupa gas dapat dideteksi dari GC.

Konsentrasi metana pada 1%wt Fe memperlihatkan bahwa pada suhu 800°C pada awal reaksi terjadi penurunan konsentrasi metana secara cepat pada 10 menit pertama kemudian terjadi penurunan konsentrasi secara lambat hingga waktu reaksi dihentikan. Konsentrasi metana masih diatas 50% itu artinya inti aktif katalis masih dapat bereaksi.

Hal yang sama juga terjadi pada konsentrasi metana 5%wt Fe dimana grafik konsentrasinya masih tinggi pada saat waktu reaksi dihentikan yaitu masih memiliki

konsentrasi diatas 50%. Namun hasil rata-rata konsentrasi metana menunjukkan 1%wt Fe (65.27%) lebih besar daripada 5%wt Fe (64.30%).

Hal ini berarti dibutuhkan waktu yang lebih lama agar penumbuhan nanokarbon dapat lebih baik hal ini juga dibuktikan oleh penelitian PDK Wulan,2010 yang menyatakan bahwa konsentrasi metana menurun namun pertumbuhan nanokarbon meningkat.

Dari hasil diatas maka dapat membuktikan bahwa dengan mengkalsinasi karbon aktif sebelum preparasi impregnasi memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan CNT dan nanokarbon dimana dengan luas permukaan yang lebih besar membuat gas metana dapat teradsorp dengan lebih baik oleh karbon aktif sehingga jumlah CNT dan nanokarbon yang dihasilkan lebih banyak.

Penambahan gas nitrogen juga mempengaruhi pertumbuhan nanokarbon dan CNT dimana dengan adanya nitrogen maka kandungan oksigen dalam reaksi pembentukan CNT dapat berkurang sehingga dapat menambah yield dari CNT dan ukuran diameternya pun lebih kecil.

Hasil diatas juga menyakinkan bahwa bentuk dan ukuran dari katalis logam dapat mengontrol morfologi dari nanokarbon (Audier et al,1980). Baker at al. juga melaporkan bahwa nanofiber yang dihasilkan berasal dari katalis Fe yang berpartikel besar (>20nm) sedangkan *nanotubes* terbentuk dari partikel Fe yang lebih kecil (<20nm).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

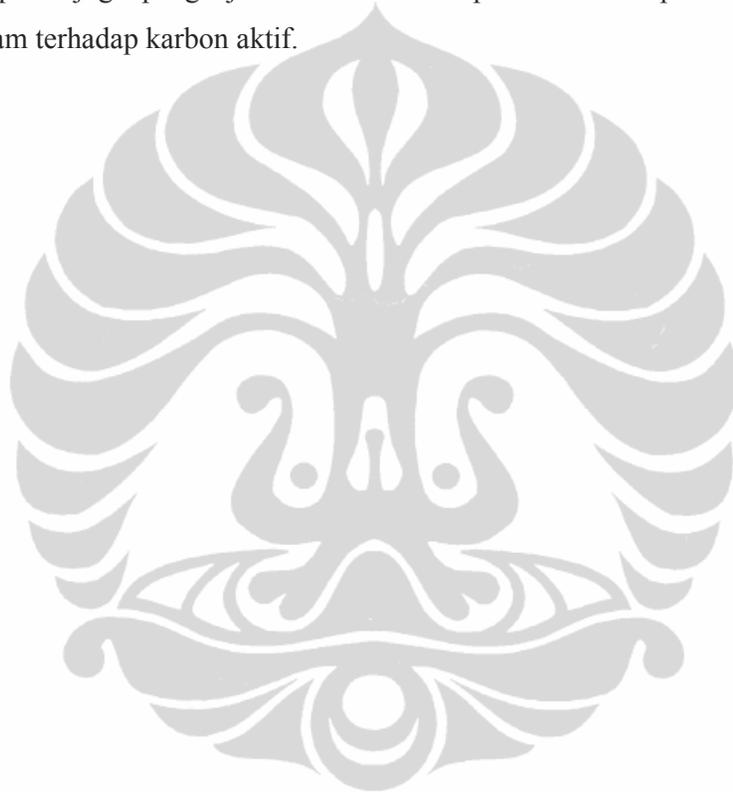
Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Karbon Aktif dapat dibuat dengan limbah kulit pisang namun memiliki kualitas yang cukup rendah.
2. Karbonisasi vakum memiliki kualitas karbon aktif yang lebih baik daripada karbonisasi furnace. Namun, penentuan kualitas karbon aktif diperankan oleh tahap aktivasi karbon aktif
3. Pertumbuhan nanokarbon dari campuran karbon aktif kulit pisang dan minyak mineral 2% dengan metode pirolisis sederhana pada suhu 800°C hanya dapat menghasilkan nanokarbon berkualitas rendah karena dibutuhkan suhu minimal 950°C untuk memecah single kristal besi yang terdapat pada *stainless steel tube*.
4. Pertumbuhan nanokarbon dengan dekomposisi metana menggunakan katalis logam dan karbon aktif kulit pisang dapat dilakukan
5. Karbon aktif yang dikalsinasi terlebih dulu menghasilkan nanokarbon dan CNT yang lebih banyak dan ukuran diameter yang lebih kecil daripada karbon aktif yang tidak dikalsinasi.
6. Aliran gas untuk pertumbuhan nanokarbon lebih baik menggunakan gas inert yang dicampur dengan metana bila dibandingkan dengan aliran gas metananya saja.
7. Pertumbuhan CNT yang dihasilkan berjenis MWCNT dengan *tip-growth*
8. Hasil XRD menunjukkan kristalinitas pada nanokarbon 1%wt Fe terlihat lebih baik daripada 5%wt Fe.
9. Dari hasil konsentrasi metana menyatakan bahwa 1%wt/karbon aktif (65.27%) lebih besar rata-ratanya daripada 5%wt Fe (64.30%)..
10. Walaupun karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan yang kecil namun dapat berhasil menumbuhkan CNT
11. Ukuran dan bentuk partikel logam mempengaruhi morfologi dari nanokarbon

## 5.2 Saran

Pada saat melakukan tahap aktivasi sebaiknya arang kulit pisangnya dihancurkan terlebih dahulu dan pada kondisi suhu 50-60° diaduk dengan zat aktifator dalam waktu yang lama agar penyerapan zat activator dapat lebih baik.

Perlu dilakukan analisa lanjutan terhadap proses pirolisis sederhana yang menggunakan karbon aktif dari limbah kulit pisang dan minyak mineral 2%. Selain itu, perlu juga pengkajian metode dekomposisi metana pada katalisasi partikel logam terhadap karbon aktif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anhwange, B.A., T. J. Ugye, T.D. Nyiaatagher. (2009). Chemical Composition of Musa Sapientum (banana) Peels. *EJEAFChe*, 8 (6): 437-442.
- Adrian Nur, Erwan Yudhi E., Gregorius P.I.B. (2008). Sintesis dan Purifikasi CNT dari Etanol. *E K U I L I B R I U M* Vol. 7 No. 1. Januari 2008 : 37 – 47
- Badan Pusat Statistik, 2010
- Buletin Teknopro Holtikultura. (Edisi 72, Juli 2004). Direktorat Pengolahan dan Pemasaran Hasil Holtikultura.
- Chand Bansal, Roop dan Meenakshi Goyal, (2005). "Activated Carbon Adsorption", Lewis Publisher, United States of America.
- Charles Y. Wereko-Brobby; Essel B. Hagan. (1996). Biomass Conversion and Technology.
- Chen J., Li Y., Ma Y., Qin Y., Chang L. (2001). Formation of Bamboo-Shaped Carbon Filaments and Dependence of Their Morphology on Catalyst Composition and Reaction Conditions. *Carbon*; 39:1467-1475
- Chen Jiuling, et al. (2004). Production of COx-free Hydrogen and Nanocarbon by Direct Decomposition of Undiluted Methane on Ni-Cu-Alumina Catalyst. *Applied Catalysis A: General*; 269:179-186.
- Cheol Jin Lee, Jeunghye Park, Jeong A. Yu. (2002). Catalyst Effect on Carbon Nanotubes Synthesized by Thermal Chemical Vapour Deposition. *Chemical Physics Letter* 360:250-255
- C.P. Deck and K. Vecchio, (2006) *Carbon*, 44, 267.
- Daenan M, de Fouw RD, Hamers B, Janssen PGA, Schouteden K, Veld MAJ. (2003). Wondrous World of Carbon Nanotubes. Eindhoven University of Technology.
- F. Din, K. Bolton, A. Rosén, (2004). *J. Phys. Chem. B* **108**, 17369
- Girgis B.S., Samya S.Y and Ashraf M.S. (2002). Characteristic of activated carbon from peanut hulls in relation to condition of preparation. *Material Letters*. 57(1): Abstrak.
- Gullon IM, Vera J, Conesa JA, Gonzalez JL, Monino C. (2006). Differences between carbon nanofibers produced using Fe and Ni catalyst in a floating catalyst reactor. *Carbon*.
- Guo, T., Nikolaev, P., Thess, A., Colbert, D.T., and Smalley, R. E., (1995). *Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser Vaporization*, *Chemical Physics Letters* 243(1,2), 49 – 54.

- H.Dai, A.G. Rinzler, P.Nikolaev, A. Thess,D.T. Colbert, R.E.Smalley,.(1996). Chem. Phys.Lett; 260,471
- He C, Zhao N, Shi C, Xiwen D, Li J. (2006). Carbon nanotubes and onions from methane decomposition using Ni/Al catalyst. *Materials Chemistry and physics*; 97: 109-115.
- Hill J.W dan Petrucci R.H. (2002), *General Chemistry : An Integrated Approach.3 rd Edition*. New Jersey : Prentice Hall.
- Iijima, S.. (1991). Helical Microtubes of Graphitic Carbon, *Nature*, 354; 56-58
- Iijima S. (2002). Carbon nanotubes : past, present, and future. *Physica B*;323:1-5.
- Jan-Dierk Grunwaldt,.(2007).”X-ray Diffraction in heterogeneous Catalysis”.
- Jankowska H, Andrzes S, Jerzy C. (1991). *Active Carbon*. Ed ke-1. New York: Ellis Horwood.
- J.-B. Donnet, R. C. Bansal, M.-J.Wang in *Carbon Black, Science and Technology*, Marcel Dekker, New York, 1993.
- K.M. Samant, S.K. Haram, S. Kapoor, *Indian Acad.Sci. (Pramana J.Phys.)*,. (2007); 68,51
- Lartey, R.B. dan Francis Acquah, (1999), “*Developing National Capability For Manufacture Of Activated Carbon From Agricultural Wastes*”, Institute Of Industrial Research, Csiir, Ghana. Published In The Ghana Engineer Reprinted With Ghie Permission By The African Technology Forum.
- Liu, C., Fan, Y. Y., Liu, M., Cong, H. T., Cheng, H. M., and Dresselhaus, M. S., (1999).*Science*, **286**, (5442), 1127-1129.
- L. P. Biró, Z. E. Horváth, A. A. Koós, Z. Osváth, Z. Vértesy, Al. Darabont, K. Kertész, C. Neamtu, Zs. Sárközi, L. Tapasztó, J. (2003). *Optoelectron. Adv. Mater.* **5**,661.
- Lux Research Inc, 2011
- M. Audier, M. Coulon, A. Oberlin, *Carbon* 1980, 18, 73.
- Michael Roy, Glenn, (1995), “*Activated Carbon Applications in the Food and Pharmaceutical Industries*”, Lewis Publisher , United States of America.
- M. Steinberg, *Int. J. Hydrogen Energy*, 24 (1999) 771
- M. Kumar and Y. Ando, (2005). Controlling the diameter distribution of carbon nanotubes grown from camphor on a zeolite support. *Carbon* 43, 533.
- Mopoung, S.,Udeye, V.,Mopoung, R.,Boonphong, S.,O.Donnohuy,J., (2000) Production of biogas from banana peeling. *Nation. Res. Counc.Thail.*, 432, 23-28.

- Mopoung S,.(2008). Surface Image of Charcoal and Activated Charcoal from Banana Peel. *NU Sci. J*
- Mopoung S, Liamsombut T, Thepsuya N (2010). Production of composite sodium-nanocarbon from mixtures of banana peel charcoal and sodium hydroxide by pyrolysis process. *Continental J.Appl. Sci.*, 5: 61-68
- Mopoung. S (2011). Occurance of Carbon Nanotube from Banana Peel Activated Carbon Mixed with Mineral Oil. *Phys.sci vol 6(7) 1789-1792*
- Mopoung S, Thongcharoen P (2009). Coloured intensity enhancement of latent fingerprint powder obtained from banana peel activated carbon with methylene blue. *Sci. Res. Essays*, 4(1): 008-012.
- N. Muradov, *Int. J. Hydrogen Energy*, 18 (1993) 211
- Nazim Muradov, Franklyn Smith and Ali Raissi. (2005).Catalytic Dissociation of Hydrocarbons: a Route to CO-free Hydrogen. *Catal. Today* 102–103 (2005) 225.
- Nur, A., Jumari, A., Dyartanti, R.D., Paryanto, (2007). Carbon Nanotube Synthesis for Hydrogen Storage : A Review, *International Symposium Nanotechnology Catalysis*, Serpong.
- N. Yalçın, V. Sevinç, (2000), “Studies of the Surface Area and Porosity of Activated Carbons Prepared from Rice Husks”, *Sakarya University, Art and Sciences Fakulty, Chemistry Department, Serdivan, Sakarya, Turkey.*
- Paradise M, Goswami T (2007). Carbon nanotubes-production and industrial applications. *Mater. Des.*, 28: 1477-1489.
- Patomsok Walaipon.(2009). The Effects of Briquetting Pressure on Banana-Peel Briquette and the Banana Waste in Northern Thailand. *American Journal of Applied Sciences* 6 (1): 167-171.
- P. Mahanandia, P.N. Vishwakarma, K.K. Nanda, V. Prasad, S.V. Subramanyam, S.K. Dev, P.V. Satyam, *Mater. Res. Bullet.* 41 (2006) 2311.
- Popov VN. (2004). Carbon nanotubes: Properties and application. *Mater. Sci. Eng. R.*, 42: 61-102.
- Purwanto WW, et al.(2005). Utilization of Very Small Field of Natural Gas by Methane Catalytic Decomposition Effect of Nickel Catalyst Diameter and Acidity on Nanocarbon and Hydrogen Quality and Methane Activation. *International Energy Conference 5-7 August. Jakarta*
- .Puziy, A.M., O.I. Poddubnaya., A.M Alonso., F.S. Garcia, and J.M.D Tascon.(2003). Synthetic carbon activated with phosphoric acid III. Carbon prepared in air. *Carbon* 41: 1181-1191
- Rao CNR, Satishkumar BC, Govindaraj A, Nath M. (2001). Nanotubes. *Chemphyschem*; 2: 78-105.

- Rinaldi A, Abdullah N, Ali M, Furche A, Hamid S, Su D, Robert S.(2009). Controlling the yield and structure of carbon nanofibers grown on a nickel/activated carbon catalyst. *Carbon*. 47(13): 3023-3033.
- R. T. K. Baker, M. A. Barber, P. S. Harris, F. S. Feates, R. J. Waite, *J. Catal.* 1972, 26, 51.
- R. T. K. Baker, N. M. Rodrigues in *Materials Research Society Symposium Proceeding*, Vol. 2, 1999.
- S. Baksi, Soumitra Biswas, dan S Mahajan, (2003), "Activated Carbon from Bamboo-Technology Development towards Commercialisation", Department of Chemical Engineering of IIT, Bombay.
- Sembiring, Meiliata Tryana dan Tuti Sarma, S, (2003), "Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)", USU Digital Library, Indonesia, hal 1-9.
- 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
- S. Tippawan, T.Udom and P.Supakorn.(2005). The Effect of Temperature on the Growth of Carbon Nanotubes by Catalytic Chemical Vapor Depositio, Department of Physics, Ubon Ratchathani,34190, Thailand.
- Su Ds, Chen X, Weinberg G, Klein-Hoffman A, Timpe O, Hamid SBA, et al.(2005) Hierarchically Structured Carbon: Synthesis of Carbon Nanofibers Nested inside or Immobilized onto Modified Activated Carbon. *Angew Chen Int Ed* 2005;44:5488-92.
- Su Ds, Chen X, Hamid SBA, and Robert Schlogl. (2007). The Morphology, porosity and Productivity Control of Carbon Nanofibers or Nanotubes on Modified Activated Carbon. *Carbon* 45 895-898.
- Sumrit Mopoung, Anchalee Sirikulajorn, Duennapa Dummun and Pichyawee Luethanom. 2011. Nanocarbonfibril in Rice Flour Charcoal. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 7(2), pp. 214 - 221, 9 January, 2012
- Trompowsky PM, Benites V de M, Madari BE, Pimenta AS, Hockaday WC, Patrick G, Hatcher PG (2005). Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. *Org. Geochem.*, 36(11): 1480-1489.
- Vigouroux, R.Z. (2001). Pyrolysis of biomass. Dissertation. Stockholm. Royal Institute of Technology.
- Vita Astini .(2008). Efektivitas penambahan karbon terhadap proses reduksi langsung besi oksida. *Teknik metalurgi dan Material UI*. hal, 25-28
- V.M.Sivakumar, A.Z.Abdullah, A.R.Mohamed and S.P.Chai (2011). Optimized Parameters for Carbon Nanotubes Synthesis Over Fe and Ni Catalyst Via Methane CVD. *Rev.Adv.Mater.Sci.*27(2011)25-30

- X. Zhang, A. Cao, B. Wei, Y. Li, J. Wei, C. Xu, D. Wu,(2002). Rapid Growth of Well-Aligned Carbon Nanotube Arrays. *Chem. Phys. Lett.* 362 (2002) 285–290.
- Y. Sudaryanto, dkk (2006), “High Surface Area Activated Carbons Prepared from Cassava Peel by Chemical Activation. *Chemical Engineering*”, Widya Mandala Surabaya Catholic University, hal 734-739.
- Zhang Y, Zhu J (2002). Synthesis and characterization of several onedimensional nanomaterials. *Micron*, 33(6): 523-534.
- Z.W. Pan, S.S. Xie, B.H. Chang, C.Y. Wang, L. Lu, W. Wu, W.Y. Zhou, W.Z. Li, L.X. Qian, *Nature* 394 (1998)631.



## LAMPIRAN A. Perhitungan Molaritas dan Konsentrasi Larutan

1.  $H_3PO_4$  7%

Dibuat 3000ml  $H_3PO_4$  7% dari  $H_3PO_4$  p.a (85%)

$$\frac{\frac{7}{100} \times 3000ml}{\frac{85}{100}} = 247,1ml$$

Dilarutkan 247,1 ml  $H_3PO_4$  p.a (85%) kedalam  $\pm 2752.9$  ml Akuades

2. HCL 5N

Dibuat 500ml 5N dari HCL p.a (12N) sehingga:

$$\frac{5N \times 500ml}{12N} = 208,3ml$$

3. Minyak Mineral 2%

Dibuat 5 ml minyak mineral 2% (dalam hexan)

$$\frac{2}{100} \times 5ml = 0.1ml$$

Sehingga,

0,1 ml minyak mineral dilarutkan dalam 4,9 ml larutan hexan

4. Larutan  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O \pm 0.09 M$

$$\frac{gr}{Mr} \times \frac{1000}{ml} = \pm 0.09M$$

$$\frac{gr}{404} \times \frac{1000}{25ml} = \pm 0.09M$$

$$gr = 0.909gr \approx 1gr$$

sehingga dilarutkan 1gr  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  kedalam 25ml acetone

5. 1%wt Fe/Karbon Aktif

dilarutkan 2ml larutan Fe  $\pm 0,09M$  kedalam 1gr karbon aktif

$$\frac{1}{100} \times 1gr = 0.01gr \text{ (disamakan penyebut x100)}$$

$$\frac{1}{100} \times 2ml = 0.02ml \text{ (disamakan penyebut x100)}$$

sehingga dalam larutan 1%wt Fe terdapat:

$$\frac{gr}{404} \times \frac{1000}{2ml} = \pm 0.09M$$

$$gr = 0.068gr \approx 0.07gr$$

6. 5% wt Fe/Karbon Aktif

dilarutkan 10ml larutan Fe  $\pm 0,09M$  kedalam 1gr karbon aktif

$$\frac{1}{100} \times 1gr = 0.01gr \text{ (disamakan penyebut x100)}$$

$$\frac{1}{100} \times 2ml = 0.02ml \text{ (disamakan penyebut x100)} \times 5$$

sehingga dalam larutan 1% wt Fe terdapat:

$$\frac{gr}{404} \times \frac{1000}{10ml} = \pm 0.09M$$

$$gr = \approx 0.3636gr$$

## LAMPIRAN B. Karakteristik Karbon Aktif

XRD Karbon Aktif setelah Karbonisasi Vakum

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

Group : 30  
Data : AR-NABP

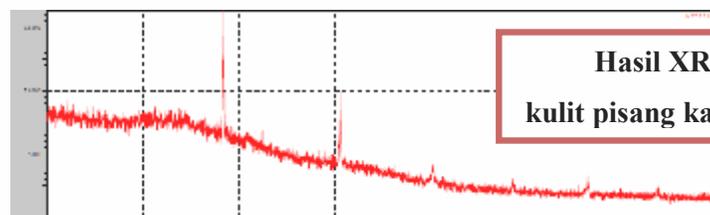
# Strongest 3 peaks

no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated I (Counts)
1	47	28.3851	100	0.19510	371	3876
2	71	40.5602	67	0.20050	248	2698
3	85	50.2423	16	0.19890	60	663

# Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated I (Counts)
1	10.2130	8.65435	4	0.12060	16	93
2	10.4537	8.45561	4	0.06250	14	60
3	10.7425	8.22893	6	0.20500	22	212
4	11.1900	7.90083	3	0.14000	11	107
5	11.5650	7.64547	5	0.17000	19	244
6	12.0960	7.31101	4	0.07200	16	71
7	12.7560	6.93418	5	0.11200	18	124
8	13.7733	6.42422	4	0.08000	13	91
9	14.8483	5.96145	3	0.11670	12	65
10	15.0840	5.86882	3	0.04800	12	31
11	15.3769	5.75768	5	0.20620	18	187
12	15.5582	5.69100	5	0.06640	17	63
13	15.8519	5.58621	5	0.10960	20	111
14	16.0812	5.50707	4	0.16250	15	126
15	16.3317	5.42316	4	0.13000	16	113
16	16.9712	5.22022	4	0.31250	16	297
17	17.3844	5.09706	4	0.15780	16	112
18	17.5860	5.03908	3	0.14800	12	95
19	17.8997	4.95147	5	0.08940	19	109
20	18.2406	4.85969	4	0.17470	15	112
21	18.4016	4.81754	4	0.05670	13	38
22	18.6644	4.75029	5	0.05770	17	61
23	18.8766	4.69737	4	0.11330	15	129
24	19.2050	4.61778	3	0.13000	11	104
25	19.4875	4.55147	5	0.13500	19	158
26	19.7697	4.48713	5	0.11780	18	109
27	20.0166	4.43234	4	0.15330	16	221
28	20.5931	4.30954	4	0.06040	13	86
29	21.1912	4.18924	6	0.09750	24	215
30	21.6200	4.10711	4	0.07000	14	106
31	22.2380	3.99435	3	0.11600	12	72
32	22.9262	3.87598	4	0.20250	16	254
33	23.2950	3.81544	5	0.15000	18	124
34	23.4616	3.78873	4	0.06330	14	54
35	23.7733	3.73975	8	0.13330	29	190
36	23.9600	3.71103	4	0.08660	13	99
37	24.1971	3.67520	4	0.09710	13	75
38	24.4400	3.63922	6	0.12000	24	153
39	24.6478	3.60901	6	0.20430	21	291
40	25.2923	3.51849	6	0.12740	22	176
41	25.6150	3.47489	4	0.09000	14	71
42	25.8150	3.44842	4	0.17000	16	219
43	27.1712	3.27930	4	0.11750	13	138
44	27.3075	3.26324	3	0.13500	11	68
45	27.5600	3.23391	3	0.18000	11	114
46	27.9375	3.19107	6	0.09000	22	113
47	28.3851	3.14176	100	0.19510	371	3876
48	28.7271	3.10513	4	0.10080	15	79
49	28.8625	3.09087	3	0.08500	12	82
50	29.3959	3.03598	3	0.06530	12	52
51	30.8200	2.89887	7	0.16000	27	260
52	31.0800	2.87521	6	0.14660	24	236
53	31.3793	2.84846	4	0.09860	16	139

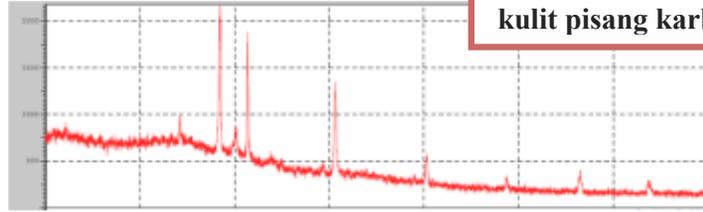
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I <sub>1</sub>	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
54	31.7943	2.81222	5	0.08000	18	91
55	32.2144	2.77650	5	0.17110	19	164
56	32.4623	2.75586	7	0.13930	26	191
57	34.9366	2.56614	4	0.11330	13	126
58	35.5766	2.52143	6	0.16670	21	216
59	36.0020	2.49261	4	0.07600	13	84
60	36.4117	2.46550	4	0.09000	16	84
61	36.6480	2.45014	5	0.11200	18	116
62	37.1383	2.41891	7	0.14330	25	222
63	37.7110	2.38348	4	0.16200	16	160
64	38.0300	2.36422	4	0.14000	15	106
65	38.3440	2.34558	4	0.12800	13	94
66	38.6880	2.32551	4	0.10400	13	89
67	38.9550	2.31018	7	0.13000	26	201
68	39.4003	2.28509	4	0.15270	15	180
69	39.7775	2.26429	3	0.14500	11	120
70	40.0193	2.25116	4	0.06530	13	56
71	40.5602	2.22238	67	0.20050	248	2698
72	41.1139	2.19372	5	0.12780	17	158
73	43.4020	2.08323	3	0.11600	11	116
74	44.1465	2.04981	3	0.12300	12	126
75	44.3860	2.03930	3	0.09200	11	88
76	44.7960	2.02158	3	0.08800	11	78
77	45.6280	1.98664	4	0.22400	15	236
78	46.4108	1.95493	3	0.13030	12	103
79	46.8050	1.93938	3	0.07000	11	63
80	47.0575	1.92956	3	0.08500	12	88
81	48.5441	1.87389	4	0.16170	15	159
82	49.0631	1.85528	5	0.12040	17	128
83	49.6375	1.83514	5	0.20500	17	199
84	49.9800	1.82337	5	0.14660	20	166
85	50.2423	1.81446	16	0.19890	60	663
86	50.7600	1.79716	4	0.12000	15	116
87	51.3150	1.77902	4	0.15660	15	143
88	51.6460	1.76940	4	0.14000	16	125
89	52.5983	1.73860	4	0.14330	16	159
90	53.3200	1.71676	4	0.08000	13	70
91	54.2600	1.68921	5	0.12000	17	132
92	54.5450	1.68106	3	0.11000	11	64
93	54.7966	1.67393	3	0.08670	11	51
94	55.0613	1.66651	4	0.13070	14	108
95	56.3226	1.63215	3	0.09870	12	99
96	58.6835	1.57198	9	0.17290	34	396
97	60.5300	1.52837	3	0.10000	12	82
98	63.4966	1.46392	4	0.16670	13	191
99	64.6400	1.44076	3	0.16000	11	182
100	65.5416	1.42311	3	0.10330	11	81
101	66.4280	1.40625	16	0.19320	60	726
102	67.4450	1.38750	3	0.21000	12	236
103	68.4533	1.36950	4	0.16000	13	124
104	73.7233	1.28408	11	0.19330	41	538
105	75.8358	1.25347	4	0.14170	13	120



Hasil XRD arang  
kulit pisang karbonisasi

## XRD Karbon Aktif setelah Karbonisasi Furnace

Hasil XRD arang  
kulit pisang karbonisasi



```

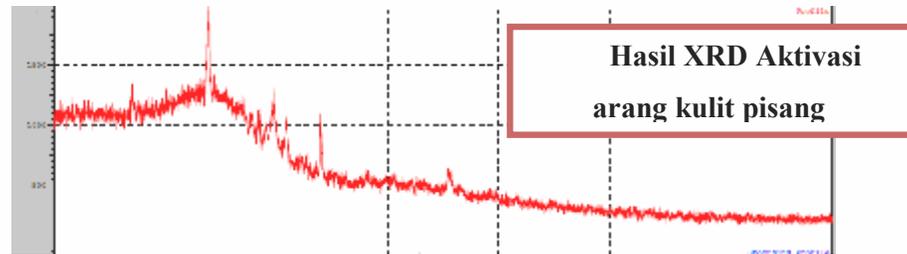
*** Basic Data Process ***
Group      : 30
Data       : AR-NAP

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d          I/I1      FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)      (Å)          (deg)      (deg)      (Counts)  (Counts)
  1    16    28.4234    3.13761   100    0.21640    613    7539
  2    18    31.3472    2.85131    76    0.17010    467    4321
  3    24    40.5954    2.22054    66    0.22810    404    5477

# Peak Data List
peak      2Theta      d          I/I1      FWHM      Intensity  Integrated Int
no.       (deg)      (Å)          (deg)      (deg)      (Counts)  (Counts)
  1      10.7882    8.19418     5    0.21640     28     414
  2      11.4150    7.74560     4    0.33000     24     448
  3      12.1900    7.25485     7    0.26000     43     777
  4      14.7372    6.00614     4    0.20550     25     525
  5      15.8285    5.59442     5    0.17710     31     608
  6      16.8200    5.26680     4    0.00000     24     0
  7      19.5814    4.52986     3    0.11710     21     255
  8      20.7300    4.28139     4    0.14000     26     381
  9      21.3200    4.16422     3    0.07420     18     121
 10      21.5800    4.11463     4    0.47000     22     480
 11      22.5737    3.93570     3    0.19250     21     366
 12      23.3844    3.80106     4    0.08890     23     216
 13      24.2238    3.67121    16    0.17520     99    1158
 14      25.3415    3.51177     3    0.42700     21     859
 15      26.7453    3.33054     3    0.07730     19     109
 16      28.4234    3.13761    100   0.21640    613    7539
 17      30.1134    2.96526    15    0.32460     95    2129
 18      31.3472    2.85131     76    0.17010    467    4321
 19      33.8233    2.64802     6    0.31330     38     802
 20      34.1616    2.62257     4    0.14330     27     326
 21      34.9375    2.56608     6    0.16500     35     386
 22      37.9908    2.36657     3    0.14830     21     297
 23      39.3763    2.28643     7    0.19270     43     589
 24      40.5954    2.22054     66    0.22810    404    5477
 25      42.9720    2.10307     4    0.18400     22     506
 26      43.9000    2.06074     4    0.16000     25     405
 27      44.6066    2.02973     3    0.37330     18     532
 28      45.5520    1.98977     3    0.22400     21     485
 29      49.0010    1.85748     4    0.12600     24     199
 30      50.2412    1.81450    21    0.24240    131    1667
 31      58.6983    1.57162    10    0.17000     64     589
 32      66.4308    1.40620    15    0.27830     89    1493
 33      73.7350    1.28390    10    0.27000     64     974

```

XRD Karbon Aktif Setelah Aktivasi Sebelum Pencucian dan Penetralkan (Vakum)



```

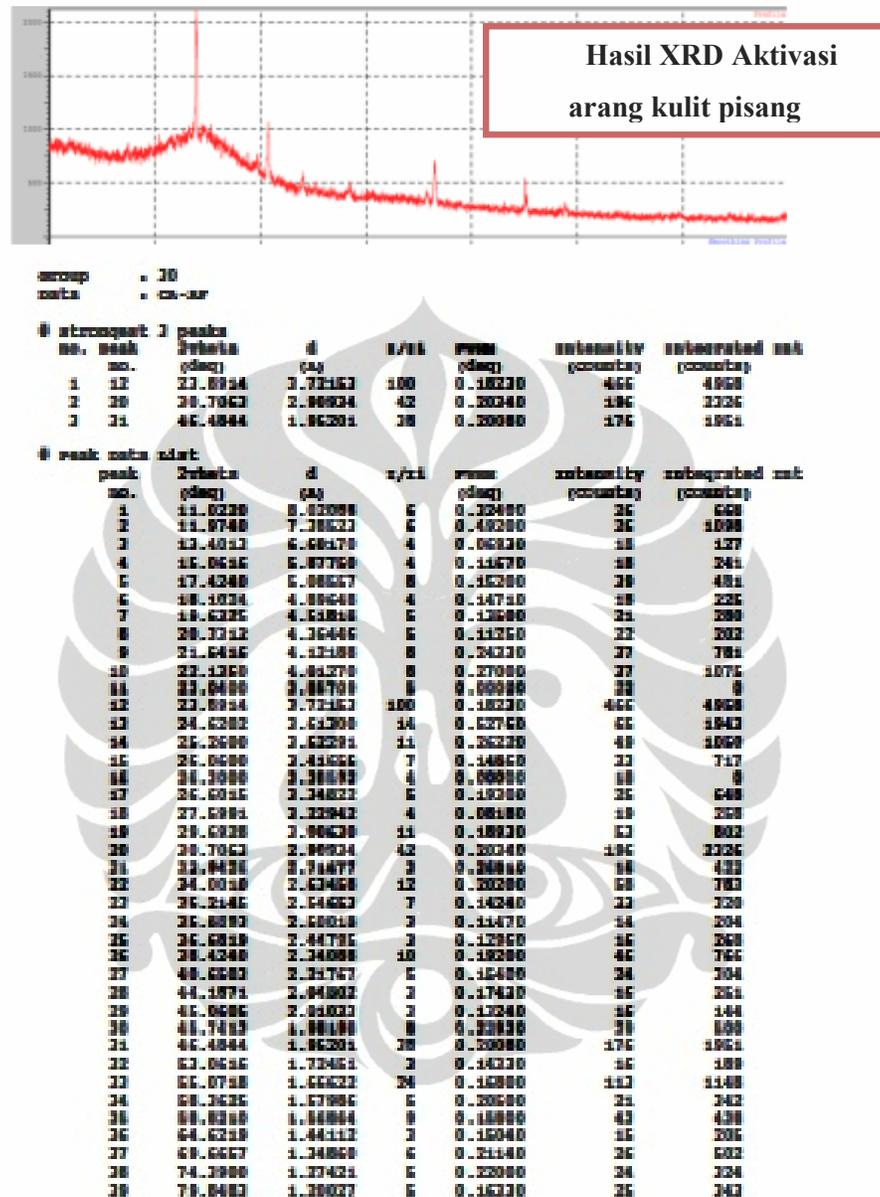
group      : 30
name       : cu-amp

# startcount 3 peaks
# no. peak 2-theta d h k l FWHM intensity integrated int
#   no.    (deg) (Å)   100 100 100  (counts) (counts)
#-----
1  14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
2  20  29.6473  3.01081  63  0.66350  164  6320
3  16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0

# peak name start
# peak no. 2-theta d h k l FWHM intensity integrated int
#   no.    (deg) (Å)   100 100 100  (counts) (counts)
#-----
1  14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
2  20  29.6473  3.01081  63  0.66350  164  6320
3  16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
4  14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
5  16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
6  14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
7  16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
8  14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
9  16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
10 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
11 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
12 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
13 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
14 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
15 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
16 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
17 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
18 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
19 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
20 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
21 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
22 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
23 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
24 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
25 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
26 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
27 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
28 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
29 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
30 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
31 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
32 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
33 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
34 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
35 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
36 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
37 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
38 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
39 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
40 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
41 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
42 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
43 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
44 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663
45 16  26.3480  3.43566  39  0.00000  121  0
46 14  33.8386  3.73343  100  0.49970  311  13663

```

## XRD Karbon Aktif Setelah Aktivasi Sebelum Pencucian dan Penetralkan (Furnace)



## XRD Karbon Aktif Setelah Pencucian dan Penetralan (Vakum)

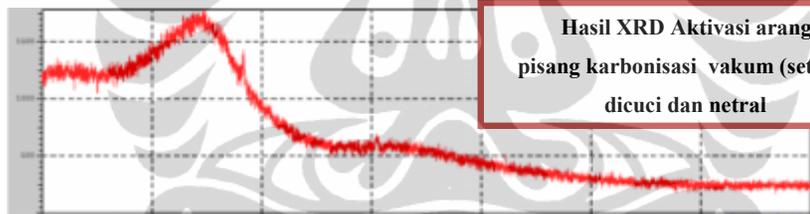
Gross : 10  
 Data : CA-000

# Hitung 3 peaks

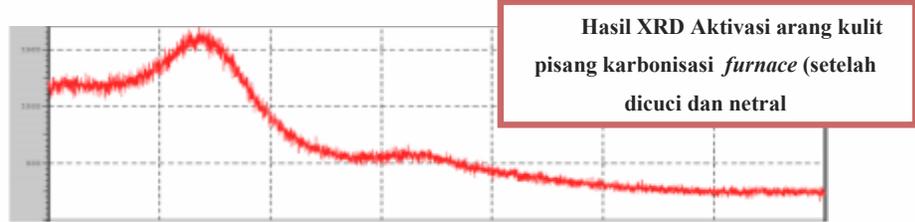
no. peak	2 $\theta$ (deg)	d (Å)	I/I <sub>1</sub>	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	7.8888	11.2846	100	0.88888	338	0
2	18.3200	4.8563	63	0.76000	158	4207
3	18.8800	4.6865	18	1.18660	41	2833

# Peak Data List

peak no.	2 $\theta$ (deg)	d (Å)	I/I <sub>1</sub>	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.4233	7.72000	9	0.78000	31	1877
2	12.3080	7.18666	9	0.86000	31	607
3	12.2525	7.67648	8	0.67600	38	732
4	14.6133	6.06678	7	0.28670	56	317
5	16.2900	5.43605	7	0.26000	56	434
6	18.8800	4.68650	18	1.18660	41	2833
7	24.6000	3.63846	100	0.60000	226	0
8	28.3200	3.14880	63	0.76000	158	4207
9	29.4600	2.92962	16	0.98660	37	2320
10	30.6000	2.82204	11	0.60000	34	866
11	31.8700	2.70672	3	0.66000	7	67
12	37.1100	2.40000	3	0.14000	7	81
13	38.0000	2.36672	4	0.40000	8	246
14	40.4633	2.22748	12	0.60330	28	1806
15	41.6000	2.16629	9	0.60000	28	1862
16	44.1000	1.96186	8	1.40000	58	1627
17	45.3400	1.89860	8	0.90000	58	746
18	46.8100	1.81101	4	0.80000	18	0
19	47.2666	1.82162	4	0.28330	50	386
20	66.3800	1.40716	4	0.60000	50	380



XRD Karbon Aktif Setelah Pencucian dan Penetralan (Furnace)



```

group      : 38
data       : cu-ka

# stroustrup 3 peaks
no. peak   2-theta      d              I/I0         FWHM         intensity     integrated int
          (deg)         (Å)              (%)           (deg)         (counts)      (counts)
1         0          23.6000        3.76064       100          0.30000       100        36311
2         10         34.8000        3.57086       67          0.70000       100        30664
3         0          20.8400        4.26094       49          0.60000       86         0

# peak data xdat:
peak      2-theta      d              I/I0         FWHM         intensity     integrated int
no.       (deg)         (Å)              (%)           (deg)         (counts)      (counts)
1         11.4016        7.70002       12          0.70000       34         1341
2         12.6200        7.00000        8          0.80000       15         627
3         13.6600        6.47726        7          1.10000       14         623
4         15.0226        5.96813       10          0.67000       30         790
5         17.2600        5.12062        9          0.76000       18         796
6         18.6400        4.78100       16          1.20000       31         1762
7         19.6400        4.51647       34          1.00000       67         6267
8         20.8400        4.26094       49          0.60000       86         0
9         23.6000        3.76064       100          0.30000       100        36311
10        34.8000        3.57086       67          0.70000       100        30664
11        39.4000        3.00000       23          1.00000       44         3100
12        39.6000        2.92294        9          0.80000       17         1069
13        39.1400        2.96726        4          0.95000        8         140
14        41.0000        2.8404        9          0.70000       10         943
15        42.2000        2.82000       11          1.00000       23         1000
16        43.7000        2.80011       13          0.90000       26         1200
17        45.8000        2.67540       10          0.90000       18         904
18        47.3200        2.63330        4          0.94000        7         166
19        51.0000        2.76171        6          0.93670       10         204
20        54.2100        2.60000        3          0.90000        6         120
21        71.8400        2.31013        4          0.90000        8         147
22        73.7023        2.28210        4          0.90000        7         220
    
```

## BET Karbon Aktif Setelah Pencucian dan Penetralan (Vakum)

Date: 05/14/2012

Page 1

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-1 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	K.Aktif				
Description	najma				
Comments					
Sample Weight	0.3060 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	45.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/11/2012 10:31
NonIdeality	6.580E-05	Equl Time	2	File Name	AS977865.RFM
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				

## AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

## SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	0.800E+00	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	-1.417E+00	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	-7.636E-01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	7.636E-01	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.019E+33	m <sup>2</sup> /g

## PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	-9.100E-05	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	5.019E+33	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	0.000E+00	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	0.000E+00	cc/g

## PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.004E+35	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.780E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.533E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	3.866E+01	Å

## DATA REDUCTION PARAMETERS

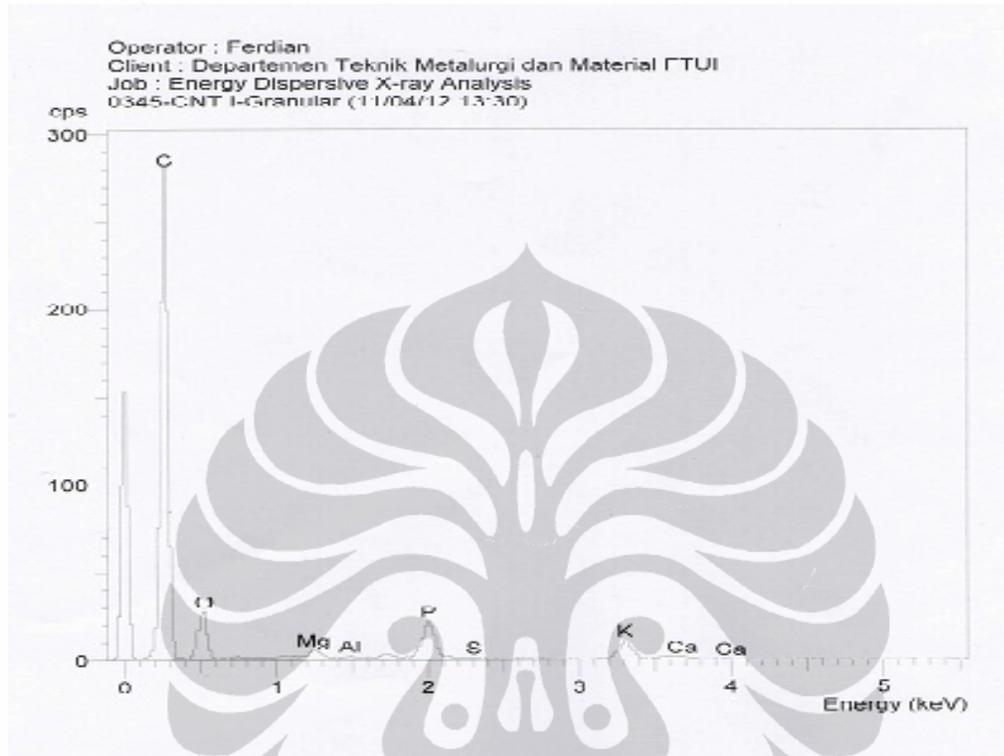
Thermal Transpiration : OFF  
 Last Po Acquired 765.58 mm Hg  
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.5600 nm<sup>3</sup> → kJ/mol

## LAMPIRAN C. Karakterisasi CNT Metode Pirolisis Sederhana

EDS CNT Pirolisis I, 800<sup>0</sup>C selama 1 jam



SEMOuant results. Listed at 13:31:50 on 11/04/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: 0345-CNT I-Granular

System resolution = 50 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 2.64 keV

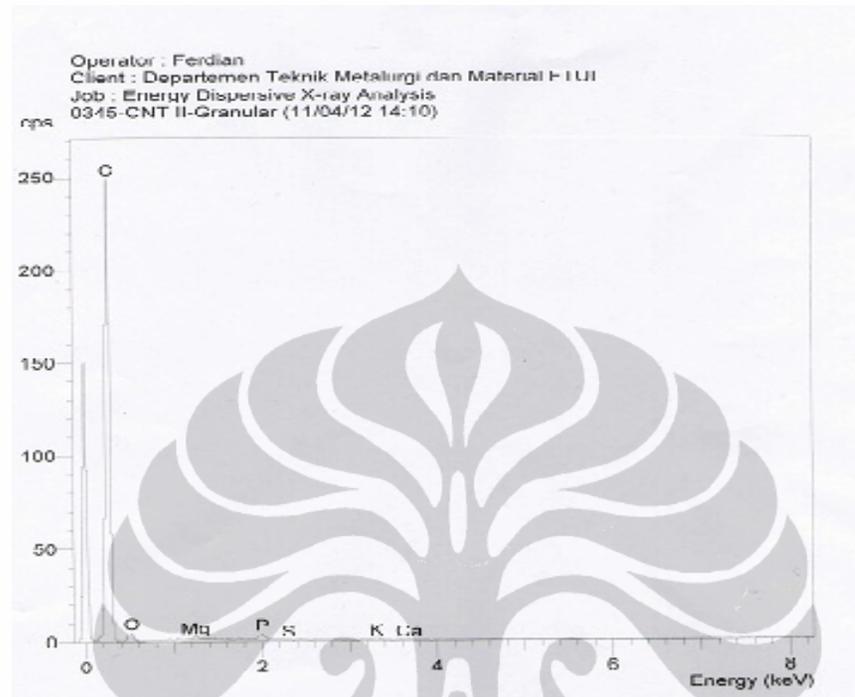
Standards :

C	K	Carbon Low	13/09/06
O	K	AL2O3	20/05/11
Mg	K	Magnesium Oxide	20/05/11
P	K	GaP	18/05/11
K	K	Orthoclase	18/05/11
Ca	K	Wollastonite	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C	K ED	22.39	32.83
O	K ED	45.90	50.53
Mg	K ED	1.95	1.41
P	K ED	15.53	8.83
K	K ED	13.37	6.02
Ca	K ED	0.86	0.38
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

EDS CNT Pirolisis II, 800°C selama 1 jam



SEMQuant results. Listed at 14:11:38 on 11/04/12  
 Operator: Ferdian  
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTU  
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
 Spectrum label: 0345-CNT II-Granular

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 20/05/11
Mg K	Magnesium Oxide 20/05/11
P K	GaP 18/05/11
S K	FeS2 18/05/11
K K	Orthoclase 18/05/11
Ca K	Wollastonite 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	50.03	60.90
O K	ED	35.29	32.25
Mg K	ED	2.70	1.62
P K	ED	7.96	3.76
S K	ED	-0.25*	-0.12*
K K	ED	3.54	1.32
Ca K	ED	0.74*	0.27*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

Universitas Indonesia

XRD CNT Pirolisis I, 800°C selama 1 jam

Group : 41  
Data : CNT1

# Stroupeck 2 peaks

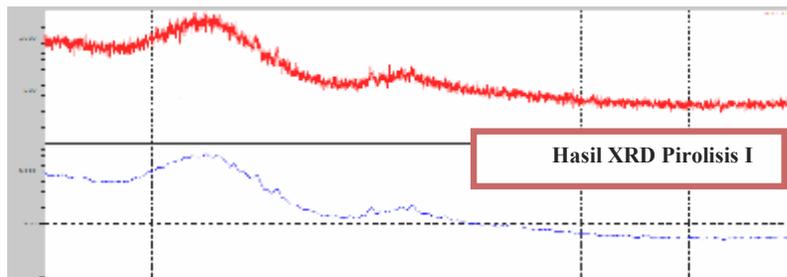
no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.0000	3.42430	100	0.00000	100	0
2	11.0000	3.55896	87	0.00000	106	0
3	10.7400	3.76492	84	0.00000	92	0

# Peak Data List

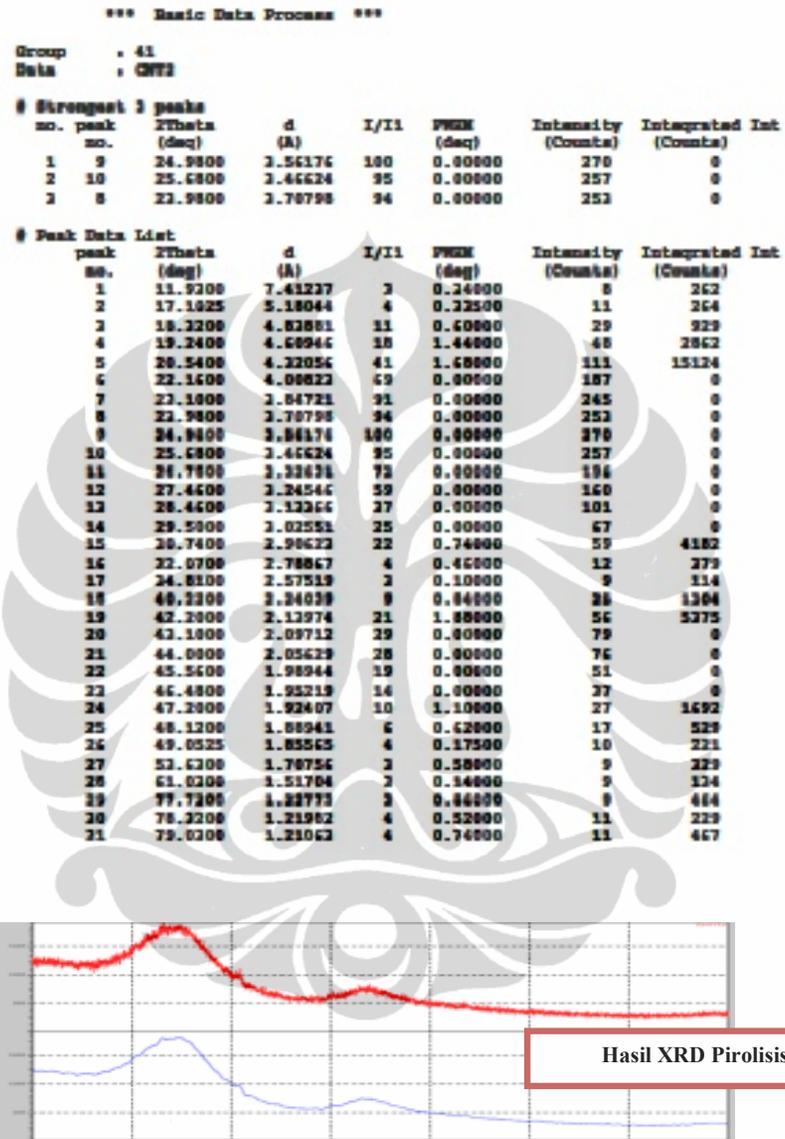
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.0000	7.44246	6	0.00000	7	79
2	11.2650	6.52448	7	0.20000	8	229
3	16.4200	5.39419	3	0.04000	3	14
4	18.7050	4.74907	10	0.37000	11	279
5	19.6600	4.51192	26	0.84000	28	1020
6	20.0000	4.32899	40	1.30000	44	1734
7	21.7200	4.00843	58	0.00000	63	0
8	22.3200	3.87866	66	0.00000	71	0
9	22.0400	3.96709	76	0.00000	82	0
10	22.7400	3.76492	84	0.00000	92	0
11	25.0000	3.55896	87	0.00000	106	0
12	26.0000	3.42430	100	0.00000	100	0
13	27.0000	3.22922	82	0.00000	89	0
14	28.6200	3.11650	68	0.00000	63	0
15	29.7400	2.99154	64	0.90400	72	4854
16	30.7000	2.90993	34	0.00000	26	0
17	31.6600	2.83209	26	0.66000	29	1425
18	32.3500	2.78117	13	0.00000	13	329
19	24.6850	2.58418	4	0.11000	4	28
20	26.3050	2.54921	4	0.07000	4	20
21	37.1566	2.41776	6	0.02200	6	18
22	38.2600	2.36523	4	0.06000	4	22
23	39.8900	2.28206	6	0.00000	7	64
24	40.3400	2.23400	21	0.66600	24	1062
25	41.4400	2.17721	24	0.66000	26	876
26	42.4400	2.12919	26	1.12000	28	1561
27	43.0400	2.09991	26	0.00000	28	0
28	44.1000	2.05196	44	1.14000	48	2466
29	45.7000	1.98267	26	0.66600	27	1146
30	47.2650	1.92158	17	0.71000	18	812
31	48.1900	1.87960	8	0.30000	8	269
32	49.2250	1.84569	4	0.03000	4	9
33	49.9400	1.82472	4	0.16000	4	76
34	50.2000	1.81252	3	0.00000	3	60
35	51.4000	1.77129	7	0.14000	8	119
36	52.8200	1.72182	11	0.36000	12	224
37	54.2200	1.69037	8	0.24000	9	200
38	55.2800	1.66943	3	0.04000	3	21
39	56.1300	1.63729	6	0.06000	6	40
40	56.9650	1.61547	7	0.25700	8	228
41	58.0800	1.58677	4	0.12000	4	60
42	59.7950	1.55837	6	0.17000	6	86
43	61.0400	1.51682	6	0.20000	7	162
44	62.7200	1.48917	3	0.04000	3	16
45	63.6100	1.46213	7	0.10000	8	126
46	64.4350	1.44522	6	0.19200	6	129
47	65.8400	1.41738	11	0.60000	12	260
48	67.2100	1.39179	3	0.06000	3	18
49	70.0200	1.34248	6	0.22000	6	118

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
50	70.7000	1.33067	8	0.23000	7	113
51	71.6900	1.31667	6	0.24000	6	103
52	72.4900	1.30266	13	0.41000	14	261
53	73.0200	1.29116	13	0.40000	14	266
54	76.6200	1.24286	4	0.08000	4	26
55	78.2300	1.20999	6	0.10000	7	106
56	79.7000	1.18138	8	0.09000	10	179



XRD CNT Pirolisis II, 800<sup>0</sup>C selama 1 jam



## BET CNT Pirolisis II

Date: 06/13/2012

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	ac cnt				
Description	najma				
Comments					
Sample Weight	0.3000 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Vajat
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	46.8 min
Nonideality	6.180E-05	P/Po Toler	3	End of Run	06/12/2012 15:16
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS971886.RAW
Station #	5	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

## AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

## SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	4.514E+01	m <sup>2</sup> /g
Lanquair Surface Area.....	7.169E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	4.276E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.319E+00	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	6.216E+01	m <sup>2</sup> /g

## PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.105E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.234E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.860E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.900E-02	cc/g

## PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.114E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.780E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.423E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.676E+01	Å

## DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Las: Po Acquired 767.84 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

### LAMPIRAN D. Karakterisasi CNT Metode Dekomposisi Metana

Data Perhitungan GC Nanokarbon 1%wt Fe Tanpa Kalsinasi

Suhu (°C)	t Pengambilan Data, menit ke-	F Umpan Aktual, kmol/jam	F Produk CH <sub>4</sub> , kmol/jam	Peak Area				Konversi, X <sub>CH<sub>4</sub></sub>
				CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	
800	0	0.000242923	4.823E-07	6359	281118	328908		99.75%
	10	0.000242923	3.578E-05	737274	1010755	2249		84.36%
	20	0.000242923	8.921E-05	836848	693839	916		70.78%
	30	0.000242923	8.887E-05	913834	491360	747		63.42%
	40	0.000242923	9.931E-05	937777	228284	304		59.12%
	50	0.000242923	0.000112	944028	176340	839		53.91%
	60	0.000242923	0.0001102	954880	144469	884		54.64%
<b>Rata-rata</b>								<b>69.43%</b>

Data Perhitungan GC Nanokarbon 1%wt Fe dengan Kalsinasi

Suhu (°C)	t Pengambilan Data, menit ke-	F Umpan Aktual, kmol/jam	F Produk CH <sub>4</sub> , kmol/jam	Peak Area				Konversi, X <sub>CH<sub>4</sub></sub>
				CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	
800	0	0.000242923	1.95026E-05	498305	1318237	1017646		91.97%
	10	0.000242923	8.89872E-05	928436	326031	240		63.37%
	20	0.000242923	9.07962E-05	733182	1065132	1331		62.62%
	30	0.000242923	8.44134E-05	360763	187451	237053		61.29%
	40	0.000242923	9.50277E-05	359651	213430	235767		60.88%
	50	0.000242923	9.78372E-05	354973	198858	237823		59.73%
	60	0.000242923	0.00010436	369051	135629	237975		57.04%
<b>Rata-rata</b>								<b>65.27%</b>

## Data Perhitungan GC Nanokarbon 5%wt Fe dengan Kalsinasi

Suhu (°C)	t Pengam- bilan Data, menit ke-	F Umpan Aktual, kmol/jam	F Produk CH <sub>4</sub> , kmol/jam	Peak Area				Konversi, X <sub>CH<sub>4</sub></sub>
				CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	
800	0	0.000242923	8.249E-05	106602	82010	353466		76.02%
	10	0.000242923	8.249E-05	275894	482980	231941		66.04%
	20	0.000242923	8.571E-05	281057	350400	247172		64.72%
	30	0.000242923	8.895E-05	296673	303272	246943		63.38%
	40	0.000242923	9.089E-05	196602	69010	303466		62.58%
	50	0.000242923	9.422E-05	223415	94096	293107		61.21%
	60	0.000242923	0.0001071	245439	76212	287625		55.89%
<b>Rata-rata</b>								<b>64.30%</b>

Persamaan konversi metana:

$$X_{CH_4} = \frac{[(CH_4)_{in}] - (CH_4)_{out}}{(CH_4)_{in}} \times 100\%$$

## XRD Nanokarbon 1%wt Fe Tanpa Kalsinasi

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

Group : 0619  
Data : CNT-1% NK

# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	6	24.0800	3.69281	100	0.00000	155	0
2	7	25.1400	3.53945	92	6.04000	142	22052
3	5	21.8600	4.06255	85	3.40000	132	27097

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	11.4100	7.74898	10	1.06000	16	1217	
2	13.4600	6.57304	6	0.28000	9	322	
3	15.6050	5.67403	3	0.11000	5	72	
4	17.2866	5.12568	3	0.13330	5	104	
5	21.8600	4.06255	85	3.40000	132	27097	
6	24.0800	3.69281	100	0.00000	155	0	
7	25.1400	3.53945	92	6.04000	142	22052	
8	28.7600	3.10165	35	2.06660	55	5784	
9	31.1925	2.86509	17	0.61500	26	878	
10	35.9350	2.49710	7	0.21000	11	270	
11	37.0716	2.42311	8	0.36330	13	270	
12	38.4200	2.34111	5	0.16000	7	165	
13	40.2365	2.23951	83	0.59810	128	4098	
14	42.6600	2.11773	37	1.05340	57	4566	
15	44.1445	2.04989	76	0.75900	118	6329	
16	45.5800	1.98862	23	0.00000	35	0	
17	47.2050	1.92388	39	0.71000	60	3526	
18	48.2333	1.88524	11	0.74670	17	809	
19	50.4450	1.80764	5	0.31000	8	153	
20	52.9200	1.72879	15	0.52000	23	653	
21	54.2116	1.69061	14	1.00330	22	1023	
22	56.2000	1.63542	5	0.24000	8	190	
23	62.1300	1.49289	11	0.32000	17	473	
24	63.5900	1.45994	3	0.10000	5	30	
25	66.2100	1.41035	5	0.18000	8	204	
26	67.9400	1.37859	3	0.16000	5	68	
27	72.2600	1.30644	6	0.60000	10	309	
28	73.6400	1.28533	15	0.44000	23	673	
29	77.0200	1.23713	6	0.28000	9	352	
30	79.0450	1.21044	10	0.69000	15	926	

## XRD Nanokarbon 1%wt Fe dengan Kalsinasi

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

Group : 0619  
Data : CNT-1%

# Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	22	21.5854	2.82024	100	0.22190	276	4729
2	20	29.8404	2.99176	74	0.25380	279	2822
3	20	40.2945	2.22642	46	0.22050	173	2228

# Peak Data List

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	1	11.2216	7.87866	3	0.12670	12	108
2	2	12.5206	7.06402	4	0.14530	16	182
3	3	14.2940	6.19125	4	0.10800	15	163
4	4	14.9000	5.94088	3	0.04000	11	75
5	5	15.5200	5.70492	4	0.08000	16	147
6	6	18.6892	4.74405	13	0.20740	48	538
7	7	19.4225	4.56423	6	0.15500	21	183
8	8	20.4013	4.34962	10	0.20920	68	762
9	9	21.1400	4.19838	4	0.04000	18	137
10	10	21.7916	4.07516	9	0.29670	34	1051
11	11	23.0766	3.88106	8	0.21330	31	870
12	12	23.6600	3.75740	4	0.00000	14	9
13	13	23.9282	3.71426	10	0.22640	27	455
14	14	24.4100	3.62662	7	0.04000	26	929
15	15	25.0000	3.55896	3	0.04000	13	83
16	16	26.1871	3.40026	10	0.22000	66	1520
17	17	26.7266	3.32161	4	0.29230	16	284
18	18	27.4703	3.22127	14	0.24730	81	719
19	19	28.3785	3.14247	21	0.27300	118	1040
20	20	29.8404	2.99176	74	0.25380	279	2822
21	20	30.7800	2.90254	5	0.22280	20	252
22	21	31.5854	2.82024	100	0.22190	276	4729
23	22	32.6222	2.74190	16	0.27950	59	1029
24	24	33.6467	2.66167	10	0.18550	36	522
25	24	34.2223	2.61721	7	0.16190	27	416
26	26	35.9180	2.49825	7	0.15600	28	470
27	27	37.1438	2.43857	10	0.19620	39	505
28	28	37.8860	2.37287	12	0.25200	45	654
29	28	38.8000	2.32643	4	0.12380	14	287
30	30	40.2945	2.22642	46	0.22050	173	2228
31	41	41.4615	2.17613	28	0.25200	106	1968
32	42	42.4283	2.12828	4	0.17670	16	157
33	42	43.0343	2.10017	7	0.21140	25	408
34	44	44.1288	2.05059	29	0.25110	110	2228
35	44	44.2527	1.96125	7	0.24950	25	464
36	47	47.1662	1.92537	17	0.21250	63	1178
37	48	48.2385	1.88284	20	0.18470	77	884
38	48	48.3483	1.84622	9	0.29000	13	268
39	50	50.2560	1.81062	6	0.16800	24	292
40	51	51.6783	1.76737	4	0.22670	15	214
41	52	52.9495	1.72789	14	0.18900	52	592
42	54	54.2223	1.68998	10	0.57220	27	1167
43	55	55.1883	1.66298	10	0.20220	29	408
44	56	56.1682	1.63627	12	0.22640	45	751
45	58	58.5766	1.57460	5	0.10670	18	122
46	59	59.8823	1.54222	7	0.11220	28	201
47	60	60.8420	1.52128	4	0.18600	18	263
48	61	61.5262	1.50577	6	0.18750	23	205
49	62	62.3183	1.48874	3	0.17670	11	160

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
50	64.0223	1.45294	7	0.15330	25	225
51	64.3028	1.44731	8	0.09930	19	184
52	65.9614	1.41507	13	0.23710	49	1245
53	67.3210	1.38860	8	0.28330	17	394
54	70.5475	1.32389	3	0.14500	12	196
55	71.2100	1.32210	3	0.10000	13	126
56	72.2065	1.30571	6	0.15700	23	210
57	73.5976	1.28596	9	0.26190	25	792
58	75.5200	1.25792	3	0.06000	11	87
59	77.2491	1.22402	4	0.22170	16	221
60	79.1090	1.20962	6	0.27000	24	547

## XRD Nanokarbon 5%wt Fe dengan Kalsinasi

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

Group : 0619  
Data : 097-04

# Strongest 3 peaks

no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	40.2054	1.88259	100	0.21090	204	2690
2	40.2827	2.22705	99	0.18080	204	2360
3	22.7226	2.72452	74	0.18520	153	1710

# Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	10.9088	8.10286	10	0.05220	21	168
2	12.1905	7.30820	12	0.15210	24	400
3	12.9400	6.82599	3	0.02000	7	84
4	13.2650	6.56322	15	0.12000	20	291
5	13.6425	6.40552	12	0.18500	25	429
6	14.4600	6.12025	6	0.05500	12	184
7	15.1172	5.85601	13	0.11450	27	252
8	16.1610	5.48006	8	0.09000	17	216
9	17.4316	5.08626	6	0.04820	13	89
10	18.6022	4.76576	10	0.08670	21	189
11	19.4300	4.54481	12	0.09000	20	266
12	20.2266	4.36274	19	0.08710	40	406
13	21.7294	4.08462	29	0.26110	81	2129
14	22.0416	4.05602	19	0.18220	40	719
15	24.2974	3.64548	11	0.18240	22	448
16	25.0567	3.55104	16	0.22000	22	649
17	25.9026	3.42696	7	0.05070	15	172
18	26.5862	3.34764	18	0.13240	27	410
19	27.4200	3.23877	11	0.10000	62	285
20	29.4025	3.02522	19	0.23500	29	948
21	30.6000	2.91921	10	0.00000	20	0
22	31.1511	2.86991	11	0.09120	23	191
23	22.7226	2.72452	74	0.18520	153	1710
24	22.5971	2.67229	16	0.13420	22	466
25	24.5266	2.59567	29	0.24220	60	1027
26	25.4700	2.52877	11	0.18000	62	872
27	25.8000	2.50621	6	0.02600	12	14
28	26.2026	2.47926	7	0.10120	15	245
29	27.1410	2.41874	49	0.18620	100	948
30	28.9000	2.30076	7	0.06400	14	114
31	29.2800	2.28181	7	0.02800	15	25
32	40.2827	2.22705	99	0.18080	204	2360
33	42.7820	2.11192	17	0.14060	25	495
34	42.0025	2.18125	11	0.10000	22	117
35	42.2192	2.09161	12	0.10520	25	226
36	44.1821	2.04819	61	0.22620	125	2015
37	45.4800	1.99276	12	0.06000	25	240
38	46.2890	1.96060	89	0.16820	122	1882
39	47.1600	1.92561	20	0.00000	62	0
40	48.2054	1.88259	100	0.21090	204	2690
41	49.0000	1.85752	9	0.07000	18	211
42	49.2000	1.84691	10	0.06500	21	180
43	50.2922	1.80928	27	0.21000	77	1187
44	51.8592	1.76162	19	0.11010	40	282
45	53.0800	1.74462	6	0.03420	12	20
46	54.0991	1.72012	19	0.22820	60	798
47	57.5617	1.59992	12	0.10060	27	222
48	58.1828	1.58007	11	0.13000	22	368
49	59.5322	1.55014	29	0.26670	60	1490
50	60.5000	1.52906	6	0.00000	12	0
51	60.8706	1.52062	16	0.14120	22	542
52	61.2200	1.51279	9	0.00000	18	0
53	61.9012	1.49777	9	0.12250	18	196
54	62.2427	1.48822	11	0.06260	22	81
55	62.5621	1.48032	6	0.06240	12	77
56	62.4690	1.46449	11	0.12800	22	171
57	64.4800	1.44288	6	0.05000	13	87
58	65.2000	1.42974	7	0.08000	14	107
59	65.4550	1.42478	8	0.11000	17	175
60	66.4729	1.40529	11	0.10210	22	206
61	67.1066	1.39367	13	0.10670	26	299
62	69.5282	1.35076	14	0.19000	28	498
63	70.2600	1.32699	12	0.12000	24	251
64	71.0800	1.32520	12	0.07660	25	194
65	71.9848	1.31075	6	0.04280	12	44
66	72.8888	1.30118	3	0.02700	6	41
67	72.7950	1.28201	19	0.25000	40	869
68	74.8000	1.27248	31	0.18000	44	638
69	75.6266	1.25642	12	0.25220	25	556
70	76.8440	1.22952	11	0.19200	22	228
71	77.1600	1.22522	8	0.04660	16	112
72	77.6200	1.22092	11	0.10000	22	122
73	77.8252	1.22620	8	0.10270	17	85
74	78.0600	1.22222	5	0.02860	10	12
75	78.4400	1.21789	8	0.14000	16	298
76	79.1542	1.20904	21	0.17740	62	742

