

## KEMUNGKINAN PENGGUNAAN NANO KARBON DARI LIGNOSELULOSA SEBAGAI BIOSENSOR (*Possible Application of Ligno-cellulose Nano Carbon as Biosensor*)

Gustan Pari<sup>1</sup>, Adi Santoso<sup>1</sup>, Djeni Hendra<sup>1</sup>, Buchari<sup>2</sup>, Akhirudin Maddu<sup>3</sup>, Mamat Rachmat<sup>3</sup>,  
Muji Harsini<sup>4</sup>, Bunga Ayu Safitri<sup>4</sup>, Teddi Heriyanto<sup>5</sup>, & Saptadi Darmawan<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor, Telp. (0251) 8633378, Fax. (0251) 86333413

<sup>2</sup>Departemen Kimia, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10

<sup>3</sup>Departemen Fisika, IPB Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Darmaga Kampus

<sup>4</sup>Departemen Kimia, Universitas Airlangga Surabaya, Jl. Mulyorejo Kampus C

<sup>5</sup>Departemen Elektro, Politeknik Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir

<sup>6</sup>Balai Penelitian Teknologi HHBK, Jl. Dharma Bhakti No. 7 Mataram

E-mail : gustanp@yahoo.com

Diterima 2 Januari 2015, Direvisi 14 September 2015, Disetujui 14 Maret 2016

### ABSTRACT

*In the forest products field, the nano technology that can be developed is among others nano carbon derived from lignocellulosic stuffs. In relevant, this paper observes information and technology on the charcoal processing from lignocellulosic stuffs into nano carbon. The lignocellulosic stuffs used in this research consisted of teak wood, further carbonized into charcoal at 400-500°C using drum kiln and then purified by re-carbonizing it at 800°C for 60 minutes by using steam and sodium hydroxide (KOH) 15% as activation agent. Prior to purification, the charcoal sustained the doping (intercalation) process with Nickel and re-carbonize again at 900°C for 60 minutes. The qualities and structure of all the resulting carbon were evaluated using nano scale device pyrolysis-gas chromatography mass spectrophotometry (Py-GCMS), scanning electron microscope-energy disperse spectrophotometry (SEM-EDS and X-ray diffraction (XRD), and examined as well of their dielectric characteristics. Result show charcoal was examined of its physical and chemical properties. Manufacture of biosensor by using molecularly imprinted polimer (MIP) system based on carbon paste and optimizing. Results show that nano carbon from lignocellulose can be made for biosensor with MIP system. Optimized formulation were mixed with 15% MIP, 45% carbon and 40% parafine with nernst factor of 49 mV/decade and limit detection of  $1.02 \times 10^{-6} M$  at pH 4.*

*Keywords: Nano carbon, biosensor, ligno-cellulosic, MIP*

### ABSTRAK

Nano teknologi di bidang hasil hutan yang dapat dikembangkan di antaranya adalah nano karbon dari lignoselulosa. Bahan baku utamanya adalah atom karbon yang berasal dari arang hasil karbonisasi lignoselulosa. Bahan baku yang digunakan adalah jati yang dikarbonisasi pada suhu 400-500 °C, arang yang dihasilkan kemudian dilanjutkan dengan diaktivasi pada suhu 800 °C selama 60 menit dengan uap air dan kalium hidroksida (KOH) 15% sebagai aktivator. Proses selanjutnya dilakukan interkalasi dengan logam nikel dan di karbonisasi lagi pada suhu 900 °C selama 60 menit. Kualitas dan struktur karbon dievaluasi menggunakan Pirolisis-gas kromatografi mass spektrofotometri (Py-GCMS), skening electron mikroskop-energi diperse spektrofotometer (SEM-EDS), X-ray difraktometer (X-RD). Arang aktif yang dihasilkan juga di uji sifat fisika dan kimianya. Biosensor dibuat dengan sistem *molecularly imprinted polimer* (MIP) berbasis elektroda pasta karbon dan optimasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nano karbon dari lignoselulosa dapat dibuat biosensor dengan sistem *molecularly imprinted polimer* (MIP). Formula optimum yang dihasilkan terdiri dari campuran 15% MIP, 45% karbon

dan 40% parafin yang menghasilkan faktor nernst sebesar 49,7 mV/dekade dan limit deteksi sebesar  $1,02 \times 10^{-6}$  M pada pH optimum 4.

Kata kunci: Nano karbon, biosensor, lignoselulosa, MIP

## I. PENDAHULUAN

Hasil penelitian Pari, et al. (2013) menyatakan bahwa nano karbon yang dibuat dari lignoselulosa jati lebih baik dibandingkan nano karbon dari bambu dalam hal nilai konduktivitas dan resistensinya untuk dapat dibuat sebagai bahan baku biosensor, suatu alat instrumen yang dapat mengubah reaksi kimia antara analit dengan substrat menjadi sinyal yang dapat dilihat sehingga analit yang dideteksi dapat diketahui kualitas dan kuantitasnya. Hal ini dikarenakan karbon memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi. Suatu karbon dapat bertindak sebagai donor elektron dan juga penerima elektron dan sifat yang relatif stabil. Beberapa karbon dengan berbagai bentuk dan jenis dapat digunakan sebagai elektroda, misalnya grafit pirolitik dengan kerapatan tinggi, *glassy carbon*, serat karbon, karbon aktif, dan beberapa karbon lain (Yasuda, Inagaki, & Kaneko, 2003). Secara spesifik, arang aktif adalah arang yang elektron bebasnya aktif mengelilingi atom karbon yang mempunyai kemurnian tinggi dan atom karbonnya teraktifkan (Pari, 2010).

Pasta karbon merupakan salah satu bentuk dari elektroda karbon yang mengandung campuran serbuk grafit dengan cairan perekat seperti minyak mineral (Scholz, 2002). Kelebihan dari pasta karbon adalah dapat dengan mudah diperbarui permukaannya sehingga tidak terpengaruh oleh pengukuran sebelumnya (Yasuda et al., 2003). Salah satu teknik untuk memadukan karbon, polimer dan molekul untuk dibuat biosensor melalui *molecularly imprinted polymer* (MIP). Terdapat dua jenis metode pencetakan molekul berdasarkan interaksi antara monomer dengan molekul target yaitu pencetakan secara kovalen dan non-kovalen. Reaksi polimerisasi yang paling sering digunakan adalah reaksi radikal karena reaksinya mudah (Komiya, Takeuchi, Mukawa, & Asahuma, 2003). Teknik yang lebih cepat dalam pencetakan molekul adalah non-kovalen dimana molekul target hanya berikatan dengan monomer fungsional. Beberapa monomer yang sering

digunakan untuk pencetakan non-kovalen antara lain asam metakrilat dan 4-vinilpiridin (Freitag, 2002). Penggunaan secara luas asam metakrilat sebagai monomer dalam MIP berkaitan dengan adanya gugus karboksilat yang dapat membentuk ikatan hidrogen serta berperan sebagai donor proton (Selligren, 2001). *Cross linker* yang biasanya digunakan adalah etilen glikol dimetakrilat (Freitag, 2002). Tulisan ini mempelajari formula nano karbon dari bahan berlignoselulosa dan uji coba pembuatan biosensor yang optimum.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jati (*Tectona grandis*). Bahan kimia yang digunakan di antaranya adalah aluminium, lithium, melamin, asam metakrilat (MAA), benzena, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), benzoil peroksida, air suling bebas ion, metanol, asam asetat, natrium asetat, kalium hidrogenfosfat, kalium dihidrogenfosfat, *polyvinyl chloride* (PVC), tetrahidrofur (THF), *dioctyl phthalate* (DOP), natrium klorida, kalium klorida, kalsium klorida, magnesium klorida. Peralatan yang digunakan diantaranya adalah reaktor pirolisis, oven dan tanur, X-RD, SEM-EDX.

### B. Metode Penelitian

#### 1. Preparasi bahan baku dan pembuatan arang aktif

Bahan baku kayu jati dikarbonisasi pada suhu 400-500 °C selama 7-8 jam dengan menggunakan kiln drum yang dimodifikasi. Arang yang dihasilkan selanjutnya di pirolisis dengan menggunakan tungku yang terbuat dari baja tahan karat yang dilengkapi dengan elemen listrik. Arang yang dihasilkan direndam dalam larutan kalium hidroksida (KOH) 15% selama 24 jam, selanjutnya diaktivasi pada suhu 800 °C selama 60 menit dengan menggunakan uap air sebagai

aktivator (AA KOH uap air). Sebagai pembanding dilakukan juga arang yang hanya diaktivasi dengan uap air (AA uap air). Arang hasil aktivasi kemudian di interkalasi dengan Nikel dengan perbandingan berat 1:5 dan dimurnikan kembali pada suhu 900°C selama 60 menit yang sebelumnya di milling sampai ukuran nano. Selanjutnya hasil dari proses ini disebut sebagai karbon nano.

## 2. Pembuatan biosensor

Biosensor yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah biosensor melamin dengan sistem *molecularly imprinted polymer* (MIP) dan *non imprinted polymer* (NIP).

### a. Pembuatan *molecularly imprinted polymer* (MIP)

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) dibuat dengan cara mencampurkan 0,8 mmol monomer asam metakrilat (MAA) dalam 100 mL benzena, 2, 4 mmol dengan *crosslinker* etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dan 0,2 mmol melamin. Kemudian ditambahkan 1 mmol inisiator benzoil peroksida 1%. Campuran monomer tersebut di atas dipanaskan dan direfluks di atas *hotplate* dengan suhu 80°C selama 17 jam. Endapan yang terbentuk dikeringkan di udara terbuka. Selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan asam asetat dan metanol dan yang terakhir dengan air 70°C. Polimer yang telah diekstraksi inilah yang menjadi MIP, sedangkan NIP disintesis dengan cara

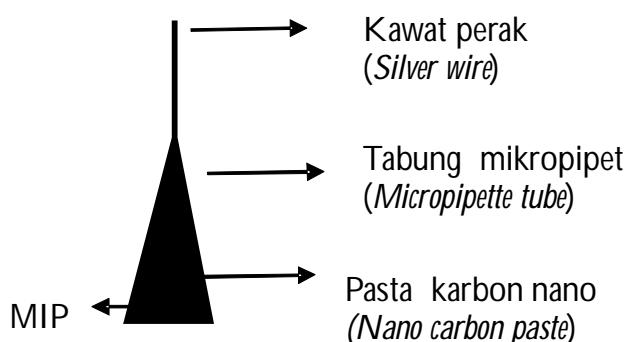
yang sama tanpa penambahan melamin.

### b. Pembuatan elektroda pasta karbon nano-MIP

Karbon yang telah dimilling dan dimurnikan pada suhu 900 °C (karbon nano) dimasukkan ke dalam mortar selanjutnya dicampur dengan minyak parafin hingga membentuk pasta karbon, dimasukkan ke dalam *tube* mikropipet dengan penekanan sehingga *tube* terisi dengan pasta karbon nano. Selanjutnya 40 g MIP atau NIP didispersikan ke dalam 0,2 mL DOP dan dicampurkan ke dalam larutan yang terdiri dari 60 mg PVC di dalam THF. Kemudian campuran tersebut dihomogenkan. *Tube* yang telah terisi pasta karbon dicelupkan ke dalam larutan MIP dan dikeringkan di udara terbuka. Sebagai penghubung antara elektroda dengan potensiometer digunakan kawat perak. Konstruksi elektroda pasta karbon nano ditunjukkan pada Gambar 1.

### c. Optimasi formula elektroda

Komposisi dari pasta karbon dan MIP dapat mempengaruhi respon elektroda sehingga dilakukan pembuatan elektroda dengan perbandingan komposisi karbon dan MIP yang berbeda. Dari komposisi tersebut akan diamati faktor Nernst dan linieritasnya. Dalam penelitian ini digunakan perbandingan komposisi antara MIP, karbon nano, dan parafin seperti pada Tabel 1.



**Gambar 1. Konstruksi elektroda pasta karbon nano**  
**Figure 1. Construction of nano carbon paste electrode**

**Tabel 1. Perbandingan komposisi MIP, karbon, dan parafin**  
**Table 1. Composition comparisson of MIP, carbon and parafine**

Elektroda ( <i>Elektrode</i> )	Perbandingan komposisi ( <i>Composition ratio</i> ),%		
	MIP	Karbon ( <i>Carbon</i> )	Parafin ( <i>Wax</i> )
I	0	60	40
II	0*	60	40
III	5	55	40
IV	10	50	40
V	15	45	40
VI	20	40	40

Keterangan (*Remarks*) : \*) mengandung 15% NIP (*content of 15% NIP*)

d. Uji kinerja biosensor

Uji kinerja biosensor pasta karbon-MIP dilakukan dengan melakukan pengukuran potensial dengan konsentrasi  $10^{-8}$ – $10^{-2}$  M pada pH optimum dengan menggunakan elektroda pasta karbon/MIP hasil optimasi dan elektroda perak-perak klorida ( Ag/AgCl) sebagai elektroda pembanding.

3. Pengujian kualitas

Pengujian kualitas arang dan arang aktif meliputi penetapan kadar air, zat terbang, abu, karbon terikat, dan daya jerap terhadap iodium menggunakan standar Indonesia (SNI 06-3740-1995). Di uji juga sifat konduktifitas, resistensi, kristalinitas dan luas permukaan. Sebagai pembanding dilakukan pengujian karbon nano komersial yang terdiri dari karbon nano mesopori dan karbon nano partikel. Arang kemurnian tinggi

ini dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope-energy disperse spectroscopy* (SEM-EDS), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectra* (Py-GCMS) dan uji limit deteksi biosensor.

**C. Analisis data**

Analisi data dilakukan secara deskriptif yaitu membandingkan hasil dengan standar (SNI 06-3730-1995).

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Mutu Arang Aktif**

Mutu arang yang diaktivasi dengan cara kimia, fisika dan kombinasinya tercantum pada Tabel 2.

**Tabel 2. Mutu arang aktif**  
**Table 2. Activated charcoal quality**

Perlakuan ( <i>Treatment</i> )	Rendemen ( <i>Yield</i> ),%	Kadar air, ( <i>Moisture content</i> ),%	Zat terbang ( <i>Volatile matter</i> ),%	Abu ( <i>Ash</i> ), %	Karbon terikat ( <i>Fixed carbon</i> ),%	Daya jerap iod ( <i>Iod number</i> ), mg/g
1. Arang ( <i>Charcoal</i> )	28,90	1,10	16,02	2,62	81,36	264,40
2. AA uap air ( <i>Steam</i> )	18,66	5,75	4,63	6,36	89,05	865,20
3. AA KOH + uap air ( <i>steam</i> )	46,66	13,77	5,66	8,90	85,44	659,70

Keterangan (*Remarks*): AA = arang aktif (*Activated charcoal*)

### 1. Rendemen

Rendemen arang aktif yang dihasilkan berkisar antara 18,66-46,66% (Tabel 2). Rendemen terendah terdapat pada arang yang diaktivasi dengan uap air dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan kombinasi uap air dan KOH. Tingginya rendemen yang dihasilkan ini disebabkan karena adanya penambahan KOH menjadi  $K_2O$  ( $2KOH \rightarrow K_2O + H_2O$ ) yang menempel pada permukaan arang, sedangkan rendahnya arang yang diaktivasi dengan steam karena terjadi reaksi kimia antara karbon dan uap air menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$ .

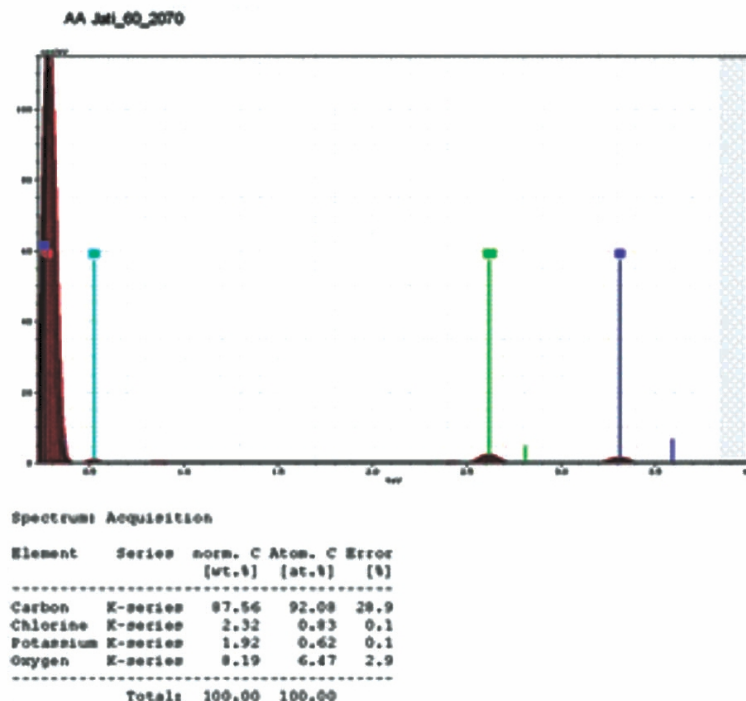
### 2. Kadar air

Kadar air berkisar antara 1,10-13,77% (Tabel 2) Kadar air terendah terdapat pada arang berbahan baku kayu jati yang dikarbonisasi dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan kombinasi uap air dan KOH. Tingginya kadar air ini disebabkan oleh adanya uap air dan  $K_2O$  yang terperangkap di dalam pori arang yang higroskopis, semakin banyak pori yang terbentuk maka arang aktif yang

dihasilkan juga akan bersifat poros sehingga kemampuan menyerap uap air dari udara juga lebih besar. Kadar air yang dihasilkan semuanya memenuhi syarat Standar Indonesia SNI 06-3730-1995 karena kadarnya kurang dari 15%.

### 3. Kadar abu

Kadar abu berkisar antara 2,62- 8,90% (Tabel 2). Kadar abu terendah terdapat pada arang kayu jati yang hanya dikarbonisasi dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan kombinasi KOH dan uap air. Besarnya kadar abu arang aktif ini disebabkan oleh adanya pertambahan dari kalium dari KOH yang masuk ke dalam pori dan yang menempel pada permukaan arang aktif. Kadar abu yang dihasilkan ini semuanya memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 yang mensyaratkan kadar abu kurang dari 10%. Hasil analisis EDS (Gambar 2) menunjukkan bahwa unsur yang terdapat dalam arang yang diaktivasi dengan kombinasi uap air dan KOH adalah Karbon, Kalium, Klorida, dan Oksigen.



**Gambar 2. Kandungan mineral dalam arang aktif**  
*Figure 2. Mineral content of the activated charcoal*

#### 4. Kadar zat terbang

Kadar zat terbang arang aktif yang dihasilkan berkisar antara 4,63-16,02% (Tabel 2). Kadar zat terbang terendah terdapat pada arang yang diaktivasi dengan uap air dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang dikarbonisasi. Tingginya kadar zat terbang ini menunjukkan bahwa masih banyak senyawa oksigen dan hidrogen yang menempel pada permukaan arang. Hasil analisis GCMS menunjukkan senyawa yang menempel pada permukaan arang yang dikarbonisasi adalah senyawa phenol, benzena dan toluen (Lampiran 1). Hasil ini sesuai dengan yang dilakukan Pari (2004) yang menyatakan semakin tinggi suhu karbonisasi, senyawa zat terbang yang menempel pada permukaan arang makin sedikit. Hasil ini sedikit berbeda dengan yang dilakukan oleh Suzuki, Yamada, dan Suzuki (2007) yang menyatakan bahwa pada proses karbonisasi bertingkat tidak ada turunan senyawa kimia dari ter. Kadar zat terbang yang dihasilkan ini semuanya memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995 kecuali arang yang dikarbonisasi karena kadarnya lebih dari 15%.

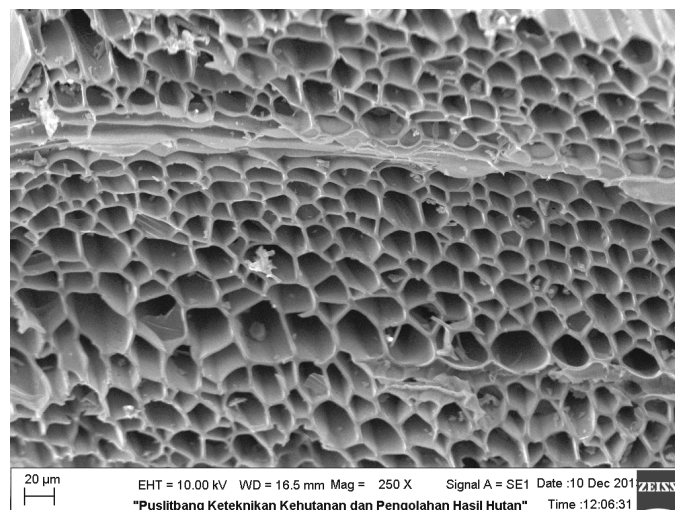
#### 5. Kadar karbon

Kadar karbon berkisar antara 81,36-89,05% (Tabel 2). Kadar karbon terendah terdapat pada arang yang dikarbonisasi dan yang tertinggi

dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan uap air. Perbedaan ini lebih disebabkan oleh besarnya kadar abu dan senyawa zat terbang yang menempel pada permukaan arang. Kadar karbon terikat yang dihasilkan ini semuanya memenuhi syarat SNI 06-3730-1995 karena kadarnya lebih dari 65%.

#### 6. Daya jerap iodium

Tujuan penetapan daya jerap iodium untuk mengetahui seberapa banyak pori arang aktif yang berukuran 10 Angstrom terbentuk. Daya jerap terhadap iodium berkisar antara 264,40-865,20 mg/g (Tabel 2). Daya jerap terendah terdapat pada arang yang dikarbonisasi dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan cara dialirkan uap air. Tingginya daya jerap iodium ini menggambarkan pori yang berukuran 10 angstrom banyak terbentuk. Dari hasil topografi permukaan, selain mikropori yang terbentuk juga terdapat pori yang berukuran makropori (Gambar 3). Hasil ini sama dengan yang dilakukan oleh Suzuki et al. (2007) yang menemukan proses karbonisasi bertingkat membentuk pori yang berukuran makropori. Daya jerap terhadap iodum yang memenuhi syarat Standar Indonesia SNI 06-3730-1995 hanya arang yang diaktivasi dengan dialiri uap air karena daya serap iodiumnya lebih dari 750 mg/g.



**Gambar 3. Topografi permukaan arang aktif**  
*Figure 3. Topography of the activated charcoal surface*

## B. Sifat Arang Aktif

Sifat arang yang diaktivasi dengan cara kimia, fisika dan kombinasi antara cara kimia dan fisika tercantum pada Tabel 3.

### 1. Luas permukaan

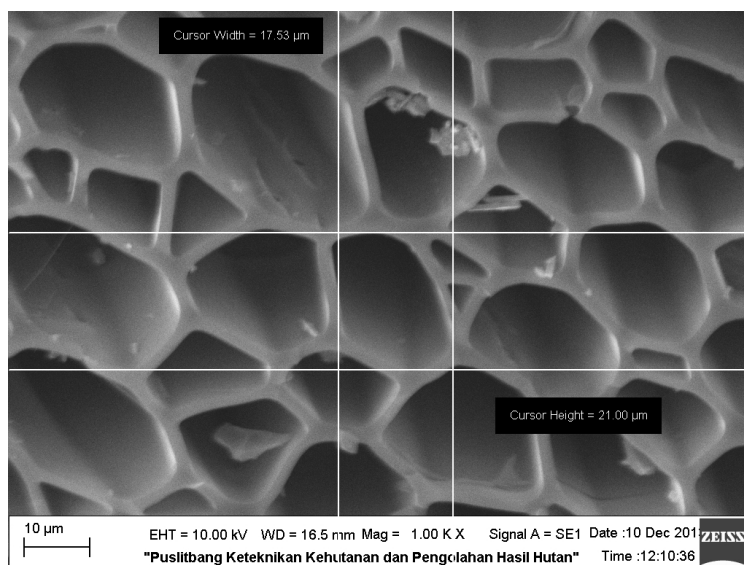
Luas permukaan arang aktif berkisar antara 280,26 – 917,11 m<sup>2</sup>/g (Tabel 3). Luas permukaan terendah terdapat pada arang yang dikarbonisasi dan yang tertinggi dihasilkan dari arang yang diaktivasi dengan cara dialirkan uap air. Luas

permukaan ini menggambarkan permukaan arang aktif yang dapat kontak dengan reaktan, semakin besar luas permukaan dari suatu adsorben, maka aktivitas adsorbennya semakin baik dan jumlah pori yang terbentuk banyak baik secara fisik maupun kimia. Semakin luas permukaan pori menggambarkan kinerja elektron yang mengitari permukaan karbon makin rekatif. Ukuran pori yang terbentuk bervariasi antara 10-21 µm (Gambar 4).

**Tabel 3. Sifat arang aktif**

**Table 3. Activated charcoal properties**

Perlakuan ( <i>Treatment</i> )	Luas permukaan ( <i>Surface area</i> ), m <sup>2</sup> /g	Kristalinitas ( <i>Crystallinity</i> ) %	Resistensi ( <i>Resistance</i> ), Ω	Konduktifitas ( <i>Conductivity</i> ) s/m
1. Arang ( <i>Charcoal</i> )	280,26	25,98	0,78	18,0
2. AA–uap air ( <i>Steam</i> )	917,11	36,10	0,20	92,40
3. AA – KOH uap air ( <i>Steam</i> )	698,22	38,88	0,005	2733,30
Komersial ( <i>Commercial</i> )				
- Nano mesopori		85,51	0,13	
- Nano partikel		43,99	6,05	



**Gambar 4. Pori arang aktif**  
**Figure 4. Activated charcoal pores**

## 2. Derajat kristalinitas

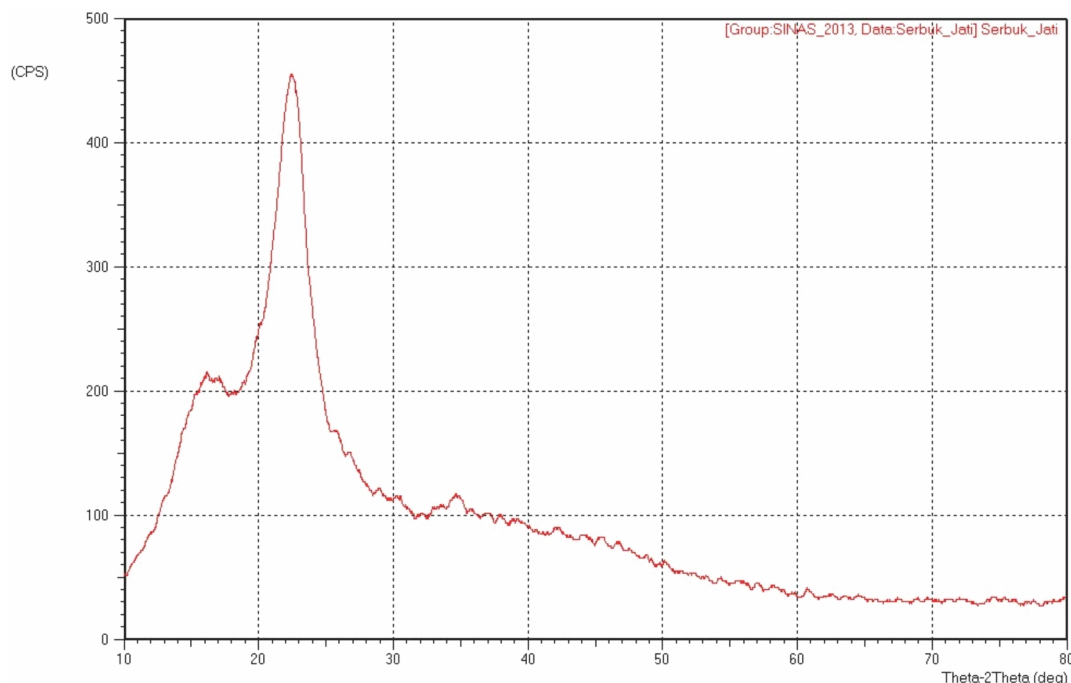
Derajat kristalinitas arang aktif berkisar antara 25,98-78,30% (Tabel 3). Derajat kristalinitas terendah terdapat pada arang jati yang dikarbonisasi dan yang tertinggi dihasilkan arang kayu jati yang diaktivasi dengan kombinasi uap air dan KOH yang dilanjutkan dengan sintering pada suhu 1300°C. Derajat kristalinitas yang rendah menunjukkan bahwa susunan lapisan aromatik yang terbentuk tidak beraturan (*amorf*). Tingginya derajat kristalinitas menggambarkan telah terjadi penataan ulang atom karbon dalam kisi heksagonal arang yang dicirikan dengan tingginya intensitas dan mengindikasikan struktur yang terbentuk sudah lebih kristalin dengan jarak antar lapisan aromatik lebih teratur (Gambar 6 dan 7) dan struktur arang yang terbentuk berbeda dengan struktur bahan baku (Gambar 5).

Tingginya derajat kristalinitas dari arang yang diinterkalasi dengan nikel (Gambar 8) menunjukkan telah terjadi interkalasi di mana senyawa logam yang ditambahkan telah masuk ke dalam kisi struktur arang aktif dan menimbulkan cacat kristal. Hal ini ditunjukkan dengan berubahnya pola intensitas terutama pada daerah

theta 43 derajat yang merupakan pola yang khas pada struktur arang. Secara struktur, atom logam yang masuk ke dalam atom karbon dan berinterkalasi sudah masuk ke dalam struktur kristal 100 dan 002.

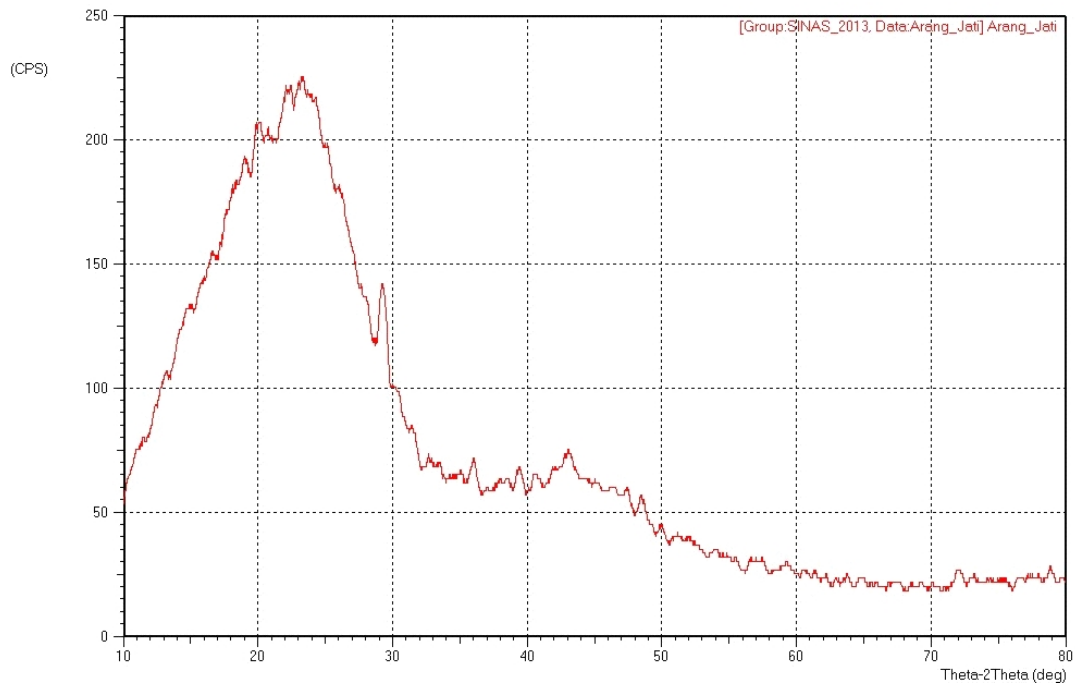
Hal ini lebih menunjukkan makin tinggi suhu karbonisasi tingkat keteraturan system kristalnya makin sempurna dan susunan antar lapisan aromatiknya lebih simetris dan kristalin. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang dilakukan oleh Suzuki et al. (2007) yang meneliti karbonisasi kayu untuk membuat karbon fungsional dengan katalis nikel dan proses karbonisasinya dilakukan dengan dua tingkat. Perbedaannya terletak pada intensitas pada theta 26° yang sangat tinggi yang menunjukkan bahwa nikel yang masuk ke dalam struktur karbon masuk ke dalam tinggi lapisan aromatik sedangkan pada theta 43° intensitasnya lebih rendah.

Apabila dibandingkan dengan nano karbon partikel buatan sigma dan nano meso pori dengan derajat kristalinitas 43,99% maka arang aktif hasil penelitian secara struktur sudah mendekati produk komersial.

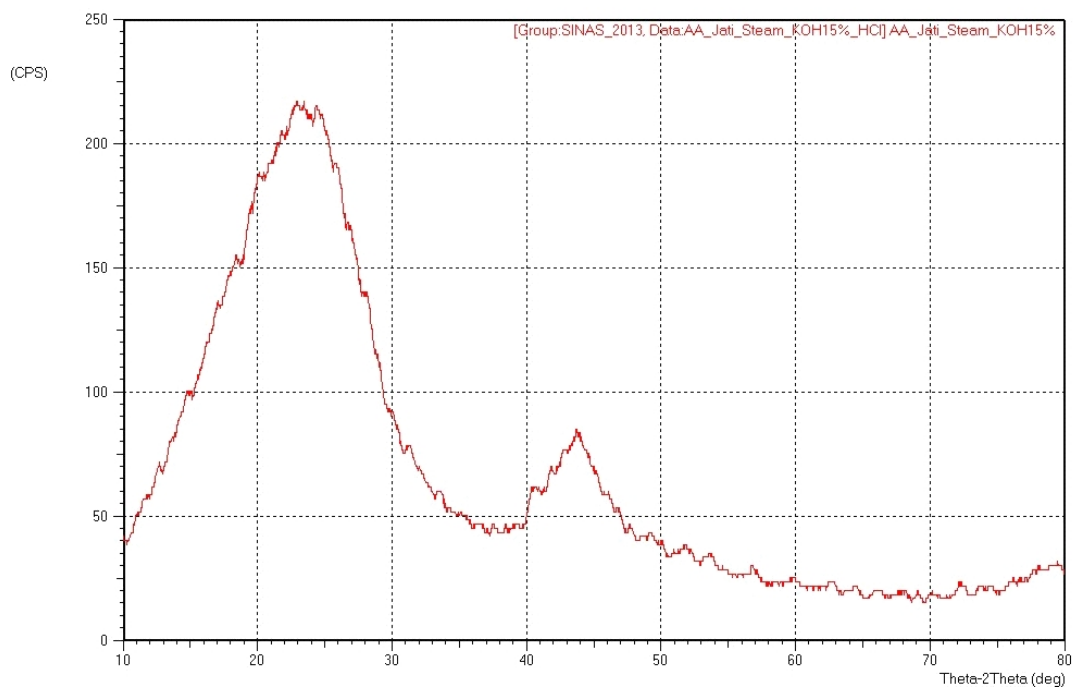


**Gambar 5. Difraktogram X-RD bahan baku jati**  
**Figure 5. X-RD Diffractograph of teak raw material**

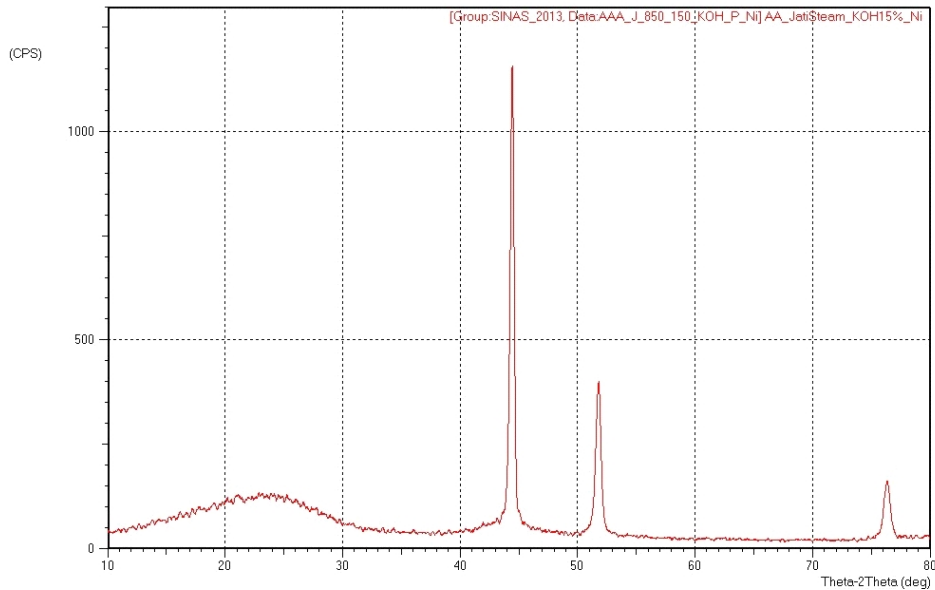




**Gambar 6. Difraktogram X-RD arang jati yang dikarbonisasi**  
***Figure 6. X-RD Diffractograph of the carbonized teak charcoal***



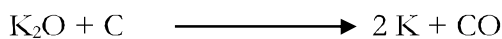
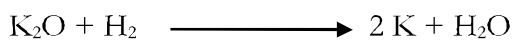
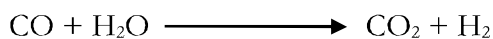
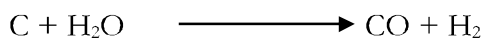
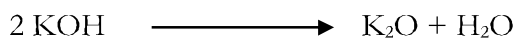
**Gambar 7. Difraktogram X-RD arang jati yang diaktivasi dengan kombinasi uap air dan KOH**  
***Figure 7. X-RD Diffractograph of teak charcoal activated with combination of steam and KOH***



**Gambar 8. Difraktogram X-RD arang aktif jati yang di interkalasi Nikel**  
**Figure 8. X-RD Diffractograph of the teak activated charcoal with Nikel intercalation**

### 3. Resistensi

Resistensi arang aktif berkisar antara 0,0 – 0,78 Ω. Resistensi terendah terdapat pada arang yang dikarbonisasi dan yang tertinggi terdapat pada arang yang diaktivasi dengan uap air dan KOH. Pada prinsipnya kalium dari KOH adalah logam alkali dan memiliki sifat yang baik sebagai konduktor sehingga arang yang diaktivasi dengan KOH mempunyai nilai tahanan yang rendah. Reaksi yang terjadi pada arang yang diaktivasi dengan KOH (Barsukov, 2003) sebagai berikut:



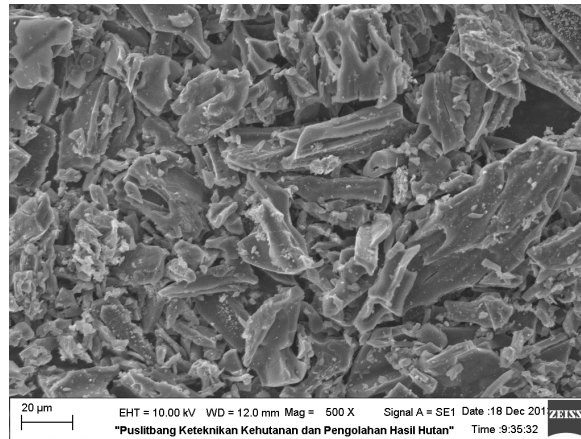
### 4. Sifat dielektrik

Konduktivitas arang aktif berkisar antara 18,0 sampai lebih dari 2733,3 s/m. Konduktivitas

terendah terdapat pada arang yang dikarbonisasi dan yang tertinggi terdapat pada arang yang diaktivasi dengan kombinasi uap air KOH yang disintering. Konduktivitas merupakan ukuran kemampuan suatu material menghantarkan arus listrik. Makin tinggi konduktivitas suatu bahan tersebut sudah bersifat konduktor dan apabila dihubungkan dengan nilai tahanannya yang sangat rendah maka material arang aktif yang diinterkalasi dengan nikel mempunyai kemampuan untuk menghantarkan elektron tanpa hambatan.

### 5. Topografi permukaan arang aktif

Hasil topografi permukaan arang yang di interkalasi dengan atom nikel, dan disintering pori yang terbentuk tidak nampak (Gambar 9). Hal ini disebabkan karena ukuran partikel arang dan atom logam yang ditambahkan berukuran nano dan masuk ke dalam pori arang sehingga menutupi pori yang sudah terbentuk. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ukuran partikel yang terbentuk sudah berukuran nano.



**Gambar 9. Topografi arang yang di interkalasi dengan Ni dan disintering**  
*Figure 9. Topography of charcoal sintered with Ni intercalation*

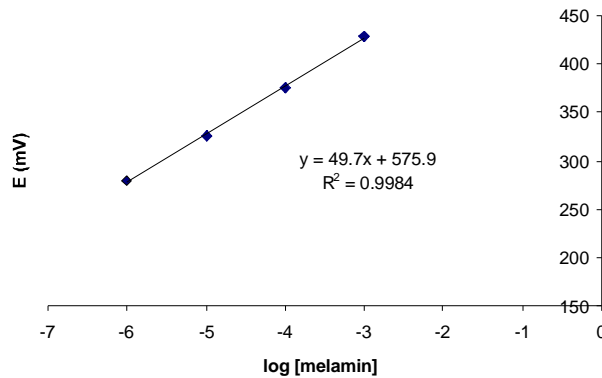
### C. Optimasi Komposisi MIP

Optimasi komposisi pasta karbon dan MIP tercantum pada Tabel 4.) Dari tabel tersebut terlihat bahwa elektroda dengan komposisi optimum adalah elektroda E5 dengan komposisi karbon 45%, MIP 15% dan parafin 40% yang memiliki *slope* mendekati Nernstian yaitu sebesar 54 mV/dekade dan jangkauan pengukuran yang lebar yaitu  $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-2}$  M. Sedangkan elektroda biosensor NIP faktor nesrts nya sebesar 35,5 mV/dekade dengan jangkauan pengukuran yang lebih sempit yaitu  $1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$ . Begitu juga pasta karbon tanpa MIP dan NIP faktor nesrts-nya -73 mV/dekade dengan jangkauan

pengukuran yang sangat sempit antara  $1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ . Hal ini menunjukkan bahwa elektroda biosensor MIP lebih sensitif dan menunjukkan gugus karboksilat dari asam metakrilat dan gugus amina dari melamin membentuk ikatan silang. Reaksi polimerisasi yang terjadi merupakan reaksi polimerisasi radikal, hal ini dikarenakan adanya inisiator benzoil peroksida. Ikatan rangkap karbon-karbon pada asam metakrilat rentan terhadap serangan radikal bebas karena stabilitasnya yang relatif rendah (O dian, 2004). Tingkat keasaman (pH) yang optimum dihasilkan pada pH 3 dan 4 karena menghasilkan potensial yang konstan.

**Tabel 4. Optimasi komposisi elektroda pasta karbon-MIP**  
*Table 4. Composition optimization of paste carbon electrode - MIP*

Elektroda ( <i>Electrode</i> )	Komposisi ( <i>Composition</i> ), %				Slope	Linier Range (M)	R <sup>2</sup>
	Karbon ( <i>Carbon</i> )	NIP	MIP	Parafin ( <i>Wax</i> )			
E1	60	-	-	40	-73	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$	0,9896
E2	45	15	-	40	34,5	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$	0,8869
E3	55	-	5	40	5,7	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-5}$	0,9982
E4	50	-	10	40	5,5	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$	0,5568
E5	45	-	15	40	54	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-2}$	0,9411
E6	40	-	20	40	-4,25	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$	0,9977



**Gambar 10. Kurva potensial elektroda**  
*Figure 10. Electrode potential curve*

#### D. Uji Kinerja Elektroda

Uji kinerja elektroda ini dilakukan dengan elektroda yang telah dioptimasi. Elektroda tersebut digunakan untuk mengukur potensial larutan melamin pada rentang konsentrasi  $10^{-8}$  –  $10^{-2}$  M pada pH 4. Dari pengukuran potensial larutan standar melamin tersebut diperoleh kurva linier yang digunakan sebagai kurva standar seperti yang terlihat pada Gambar 10.

Dari gambar tersebut dapat diamati jangkauan pengukuran pada rentang linier pada saat pengukuran larutan standar. Pada penelitian ini, jangkauan pengukuran yang diperoleh sebesar  $10^{-6}$ – $10^{-3}$  M. Limit deteksi yang dihasilkan atas dasar pengukuran menggunakan elektroda pasta karbon/MIP nilai limit deteksinya  $1,02 \times 10^{-6}$  M. Ini menyatakan bahwa elektroda tersebut dapat mengukur analit dalam sampel hingga konsentrasi  $1,02 \times 10^{-6}$  M.

#### IV. KESIMPULAN

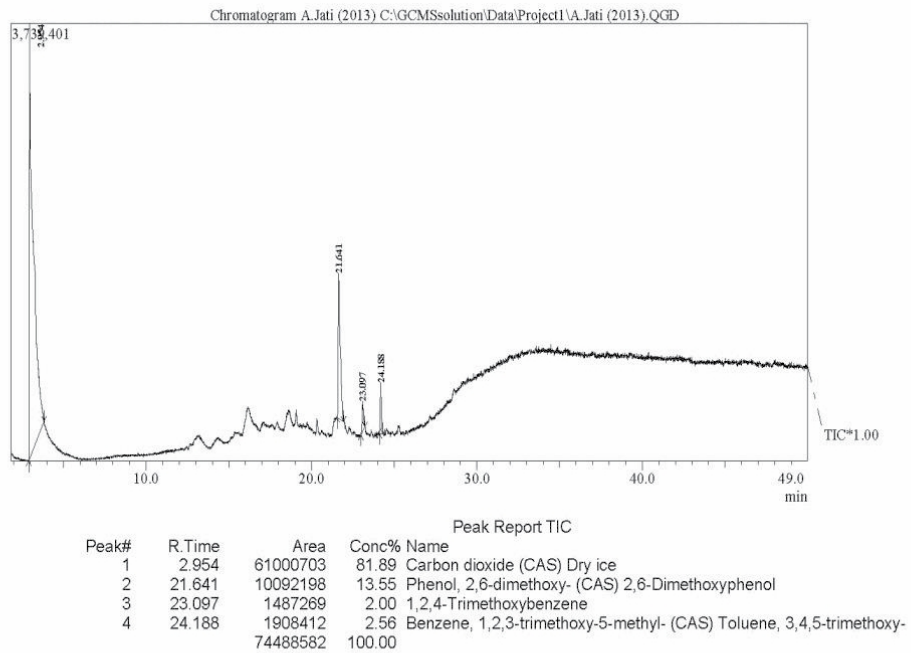
Karbon nano dari lignoselulosa kayu jati dapat dibuat biosensor dengan sistem *molecularly imprinted polymer* (MIP) berbasis elektroda pasta karbon, dengan formula optimum campuran 15% MIP, 45% karbon dan 40% parafin yang menghasilkan faktor nernst 49,7 mV/dekade dan limit deteksi sebesar  $1,02 \times 10^{-6}$  M pada pH optimum 4.

#### DAFTAR PUSTAKA

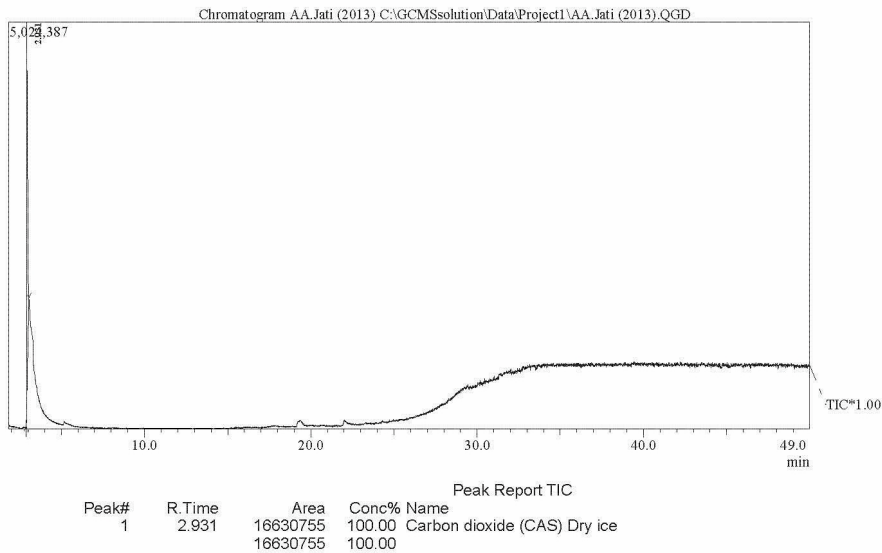
- Barsukov, (2003). *New carbon based materias for electrochemical energy storage system*. Netherland: Springer.
- Freitag, R., (2002), *Modern advances in chromatography*. Germany: Springer.
- Komiyama, M., Takeuchi, T., Mukawa, T., & Asanuma, H., (2003). *Molecular imprinting : from fundamentals to applications*, Weinheim: Wiley-VCH.
- Odian, G., (2004), *Principles of polimerization*, 4<sup>th</sup> edition. Canada: John Wiley & Son.
- Pari, G. (2004). *Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben emisi formaldehida kayu lapis*. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Pari, G., (2010), *Peran dan masa depan arang yang prospektif untuk Indonesia*, Jakarta. Kementerian Kehutanan, Badan Litbang Kehutanan, Puslitbang Hasil Hutan.
- Pari, G., Santoso, A., Hendra, D.J., Buchari., Maddu, A., Rachmat, R., Harsini, M., Herianto, T. & Darmawan, S. (2013). Karakterisasi struktur nano karbon dari lignoselulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(1), 75-91.

- Scholz, F., (2002), *Electroanalytical methods: Guide to experiments and applications*. Berlin: Springer.
- Sellergren, B., (2001), *Molecularly imprinted polymer man-made mimics of antibodies and their application in analytical chemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1995) *Arang aktif teknis* (SNI 06-3730-1995). Badan Standarisasi Nasional.
- Suzuki, K., Yamada, T. & Suzuki, T. (2007). Nickel-catalyzed carbonization of wood for co-production of functional carbon and fluid fuel: Production of dual functional nano-carbon by two steps carbonization. *Journal of the Society of Materials Science*, 56 (4), 339-344.
- Yasuda, E., Inagaki, M., & Kaneko, K., (2003), *Carbon alloys: Novel concepts to develop carbon science and technology*. Kidlington: Elsevier Science Ltd.

**Lampiran 1. Komponen kimia arang jati hasil analisis Py-GCMS**  
**Appendix 1. Chemical component of teak charcoal analyses by Py-GCMS**



**Lampiran 2. Komponen kimia arang jati yang diaktivasi dengan uap air**  
**Appendix 2. Chemical component of teak charcoal with steam activation**



**Lampiran 3. Komponen kimia arang yang diaktivasi dengan uap air dan KOH**  
***Appendix 3. Chemical component of charcoal with combination steam and KOH activation***

