

**POTENSI STRUKTUR NANO KARBON DARI BAHAN
LIGNOSELULOSA KAYU JATI DAN BAMBU**
*(The Potency of Nano Carbon Structure Made from Bamboo and
Teak Wood Lignocellulose)*

**Gustan Pari¹, Adi Santoso¹, Djeni Hendra¹ Buchari², Akhirudin Maddu³,
Mamat Rachmat³, Muji Harsini⁴, Teddi Heriyanto⁵, & Saptadi Darmawan⁶**

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,

Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610, Telp./Fax. (0251) 8633378, 8633413

²Departemen Kimia, Institut Teknologi Bandung

Gedung Kimia Baru, Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132, Telp./Fax. (022) 2502103, 2504154

³Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor

Jl. Meranti, Gd. Wing S 2nd Floor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Telp. (0251) 8625728

⁴Departemen Kimia, Universitas Airlangga Surabaya

Kampus C Jl. Mulyorejo Surabaya 60115, Telp./Fax. (031) 5936501, 5936502

⁵Departemen Elektro, Politeknik Bandung

Jl. Gegerkalor Hilir, Kabupaten Bandung Barat 40012, Telp. (022) 2013789

⁶Balai Penelitian Teknologi HHBK Mataram

Jl. Dharma Bhakti No. Po Box. 1054, Ds. Langko Kec. Lingsar, Lombok Barat, NTB 83371

E-mail: gustanp@yahoo.com

Diterima 2 Januari 2014, Direvisi 14 September 2015, Disetujui 14 Maret 2016

ABSTRACT

Nanotechnology research in the realm of forest products can be exploited from lignocellulose into nano carbon. The research was aimed to provide the potency of nano carbon structure from lignocellulose as bioenergy or biosensor material. The materials of teak wood and bamboo were carbonized into charcoal at 400-500°C followed by activation using chemical and physical processes at 800°C for 60 minutes. This process produced charcoal with high crystallinity and surface area. After purification and activation, the activated charcoal was subsequently doped process with Zn and Ni metals which then followed by sintering using spark plasma at 1300°C. The qualities and structure of all the resulting carbon were evaluated using nano scale devices i.e. Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometer, Scanning Electron Microscope-Energy Diffraction X-ray Spectrometer, X-ray Diffractometer, I-V meter and potentiometer. Results showed that the best activated charcoal produced from the chemical-physical activation (KOH steam) possessed high fixed carbon of 84.29%; surface area of 850.5 m²/g, crystallinity of 38.99% and resistancy of 0.10. The teak activated charcoal which intercalated by Ni at ratio of 1:5 produced the best properties with crystallinity degree of 73.45% and conductivity of 433.86 S/m. The sintered teak activated charcoal had crystallinity degree of 78.29% with I-V meter pattern in sigmoid shape and the potentiometer response formed a slope approaching the Nerst factors. Nano carbon produced from lignocellulose is a semiconductor and more suitably use for biosensors, particularly the one derived from teak wood.

Keywords: Carbon, sintering, biosensor, I-V meter, potentiometer, lignocellulose

ABSTRAK

Penelitian nano teknologi dalam ranah hasil hutan dapat dieksploitasi dari lignoselulosa menjadi nano karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan struktur nano karbon yang potensial sebagai material bioenergi atau biosensor. Kayu jati dan bambu dikarbonisasi pada suhu 400-500°C, arang yang dihasilkan diaktivasi secara kimia dan fisika pada suhu 800°C selama 60 menit. Dari proses ini dihasilkan arang dengan derajat kristalinitas dan luas permukaan tinggi. Setelah pemurnian dan aktivasi, arang aktif

yang dihasilkan dimasukkan logam Ni dan Zn yang kemudian dipanaskan secara vakum menggunakan *spark plasma* pada suhu 1300°C. Karbon yang dihasilkan diuji struktur dan sifatnya menggunakan perangkat *Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometer*, *Scanning Electron Microscope-Energy Diffraction X-ray Spectrometer*, *X-ray Diffractometer*, *I-V meter* dan potensiometer. Hasil penelitian menunjukkan arang aktif terbaik dihasilkan dari aktivasi kimia-fisik (KOH *uap air*) menghasilkan kadar karbon 84,29%; luas permukaan 850,5 m²/g, derajat kristalinitas 38,99% dan hambatan sebesar 0,10. Sifat arang aktif kayu jati yang dimasukkan logam Ni dengan perbandingan 1:5 menghasilkan sifat terbaik dengan derajat kristalinitas 73,45% dan konduktivitas sebesar 433,86 S/m. Arang aktif jati hasil pemanasan vakum menghasilkan derajat kristalinitas sebesar 78,29% dengan pola I-V meter berbentuk sigmoid dan respon potensiometer berbentuk *slope* mendekati faktor Nerst. Nano karbon dari lignoselulosa kayu jati yang dihasilkan bersifat semikonduktor dan lebih sesuai digunakan sebagai biosensor.

Kata kunci: Karbon, sintering, biosensor, potensio meter, lignoselulosa

I. PENDAHULUAN

Saat ini krisis energi khususnya yang berkaitan dengan bioenergi sedang menjadi suatu topik yang sangat mengemuka. Bioenergi merupakan alternatif dari penggunaan bahan bakar fosil. Inovasi pembuatan perangkat energi (bioenergi) terus dikembangkan diantaranya super kapasitor, baterai dan *fuel cell*. Pada aspek lain, perangkat analisis yang mengkombinasikan komponen hayati dengan elektronika atau biosensor juga mengalami perkembangan sangat pesat. Perangkat biosensor yang telah diketahui secara umum diantaranya adalah perangkat analisis kandungan gula dalam darah.

Elektroda berupa karbon konduktif dengan porositas dan luas permukaan tinggi merupakan syarat utama pembuatan perangkat bioenergi dan biosensor. Selama ini bahan elektroda berasal dari hasil pengolahan grafit dan batu bara yang diolah lebih lanjut menjadi *Meso Carbon Micro bead* (MCMB). Bahan lainnya seperti *carbon nano tube* dan *carbon fiber* diperoleh dari hasil pengolahan minyak bumi. Batu bara dan minyak bumi sifatnya tidak dapat diperbaharui. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka sumber karbon potensial dari bahan yang dapat diperbaharui sebagai salah satu material pembuatan perangkat bioenergi dan biosensor adalah lignoselulosa.

Hasil penelitian Pari et al. (2013) menyimpulkan bahwa arang dari lignoselulosa bambu dan jati dapat dibuat menjadi nano karbon dengan konduktivitas relatif tinggi, namun luas permukaan yang dihasilkan masih rendah. Hal ini terlihat dari rendahnya daya jerap terhadap yodium sehingga perlu ditingkatkan porositasnya.

Perkembangan nano karbon sekarang sudah mengarah pada nano *porous* karbon yang sifatnya selain harus mempunyai porositas tinggi dan luas permukaan besar juga konduktivitas yang tinggi. Beberapa karbon dengan berbagai bentuk dan jenis dapat digunakan sebagai elektroda salah satunya adalah karbon aktif (Yasuda, Inagaki, & Kaneko, 2003). Secara spesifik, karbon aktif adalah arang yang elektron bebasnya aktif mengelilingi atom karbon yang mempunyai kemurnian tinggi dan atom karbonnya teraktifkan (Pari, 2004). Karbon aktif memainkan peran penting dalam pembuatan super kapasitor seperti *Electrochemical Double-Layer Capacitors* (EDLCs) yang merupakan teknologi penyimpanan energi potensial (memiliki *high power density* dan masa pakai lama) karena karbon aktif memiliki luas permukaan tinggi, konduktivitas elektrik yang baik, biaya rendah dan ramah lingkungan (Yu-Li, Li, Lim, Wang, Chu-Hua, & Hong-Qiang, 2009; Ruiz et al., 2009). Sebelum diaktivasi, arang dapat direndam dengan menggunakan bahan pengaktif seperti H₃PO₄, NH₄HCO₃, KOH, dan NaOH yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas arang aktif yang dihasilkan. Bahan kimia pengaktif tersebut berfungsi sebagai *dehydrating agents* dan *oxidants*. Pada permukaan arang aktif, mutu yang dihasilkan sangat tergantung dari bahan baku yang digunakan, bahan pengaktif, suhu dan cara pengaktifannya (Hartoyo, Hudaya, & Fadli, 1990; Bonelli, Rocca, Cerreda, & Cukierman, 2001; Bansode, Losso, Marshall, Rao, & Portiers, 2003; Pari, 2004; Ismadji, Sudaryanto, Hartono, Setiawan, & Ayucitra, 2005; Guo, 2007). Tulisan ini mempelajari struktur nano karbon yang potensial untuk meningkatkan luas permukaan

dan konduktivitas arang dari bahan lignoselulosa dan kemungkinan pemakaiannya sebagai bahan untuk perangkat bioenergi atau biosensor.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) dan bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*). Bahan kimia yang digunakan diantaranya kalium hidroksida, yodium, kalium yodida dan natrium tio sulfat. Peralatan yang digunakan diantaranya reaktor aktivasi, oven, dan tanur untuk menentukan kadar abu, karbon dan zat terbang serta *Spark Plasma Sintering* (SPS).

B. Metode Penelitian

1. Prosedur pembuatan arang dan arang aktif

Proses pembuatan arang dilakukan dalam kiln drum yang dimodifikasi dengan menggunakan prosedur yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Pari et al., 2013). Arang yang dihasilkan selanjutnya dimurnikan dan diaktivasi dengan jalan dipirolisis pada suhu 800°C sambil dialirkan uap air selama 60 menit yang sebelumnya direndam dengan KOH 15% (AA KOH uap air) selama 24 jam dengan tujuan untuk menghilangkan senyawa hidrokarbon yang menempel pada permukaan arang serta meningkatkan luas permukaan. Sebagai perbandingan dilakukan juga pembuatan arang aktif dengan cara dialirkan uap air (AA uap air), arang aktif yang dipanaskan (AA panas), dan arang aktif yang dipanaskan setelah direndam KOH (AA KOH). Arang aktif yang dihasilkan dihitung rendemennya dengan jalan membagi dengan berat arang yang dimasukkan ke dalam reaktor aktivasi.

Proses selanjutnya adalah penambahan atom logam ke dalam sistem kristal (doping) dengan jalan menambahkan atom nikel (Ni) dan seng (Zn) masing-masing dengan perbandingan 1:4 dan 1:5 ke dalam arang hasil pemurnian, kemudian digiling sampai ukuran nano dan dipirolisis pada suhu 900°C selama 60 menit. Proses terakhir adalah sintering (pemanasan suatu materi dibawah titik lelehnya) yang dilakukan pada arang yang mempunyai derajat kristalinitas dan luas

permukaan tinggi serta ketahanan elektrik rendah pada suhu 1300°C dengan sistem plasma (SPS).

2. Pengujian kualitas

Mutu arang diuji berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995) yang meliputi penetapan kadar air, zat terbang, abu, karbon terikat dan daya jerap terhadap yodium serta luas permukaan. Arang kemurnian tinggi ini selanjutnya di karakterisasi topografi permukaan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), derajat kristalinitas menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan senyawa *volatile* yang menempel pada permukaan arang menggunakan perangkat *Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometer* (Py-GCMS). Diuji juga sifat resistensi dan konduktivitas arang yang di interkalasi (penyisipan suatu ion, atom, atau molekul dari luar diantara lapisan suatu senyawa) dengan Ni dan Zn, sebagai pembanding digunakan karbon komersial yang terdiri dari karbon nano partikel dan karbon meso pori.

3. Uji potensi (Dielektrik)

Untuk mengetahui potensi arang nano yang dihasilkan dalam hal ini sifat dielektrik maka arang nano dengan derajat kristalinitas dan porositas yang tinggi diuji potensinya sebagai materi bioenergi atau biosensor dengan menggunakan I-V meter dan potensiometer.

C. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif yaitu membandingkan hasil penelitian dengan Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mutu Arang

Mutu arang yang diaktivasi dengan cara kimia, fisika dan kombinasinya dari bahan berlignoselulosa kayu jati dan bambu tercantum pada Tabel 1.

1. Rendemen

Rendemen arang dari kayu jati dan bambu masing-masing sebesar 26,2 dan 24,9%. Selanjutnya pada proses aktivasi dihasilkan rendemen arang aktif berkisar antara 48,7-80,1% (Tabel 1). Rendemen terendah terdapat pada

Tabel 1. Mutu arang aktif**Table 1. Activated charcoal quality**

Bahan (Material)	Ren- demen (Yield, %)	Kadar air (Moisture content, %)	Zat terbang (Volatile matter, %)	Abu (Ash content, %)	Karbon terikat (Fixed carbon, %)	Daya Jerap yodium (Iodine adsorption, mg/g)
A. Jati (Teak)						
1. AA Panas (AC heat)	76,0	2,55	2,01	4,79	90,64	387,37
2. AA uap air (AC steam)	48,7	3,85	3,75	7,78	84,60	833,67
3. AA KOH panas (AC KOH heat)	75,0	4,38	2,71	7,16	85,74	313,66
4. AA KOH uap air (AC KOH steam)	51,0	3,30	3,22	9,18	84,29	802,36
5. Arang (charcoal)	26,2	7,14	6,64	7,14	78,58	256,14
B. Bambu (Bamboo)						
1. AA Panas (AC heat)	78,0	4,91	4,74	9,07	86,29	222,33
2. AA uap air (AC steam)	58,2	8,14	7,09	12,46	80,45	820,49
3. AA KOH panas (AC KOH heat)	80,1	5,60	6,61	10,29	83,10	240,21
4. AA KOH uap air (AC KOH steam)	52,3	6,77	9,08	16,45	74,47	805,75
5. Arang (charcoal)	24,9	7,72	13,71	7,24	79,05	269,34

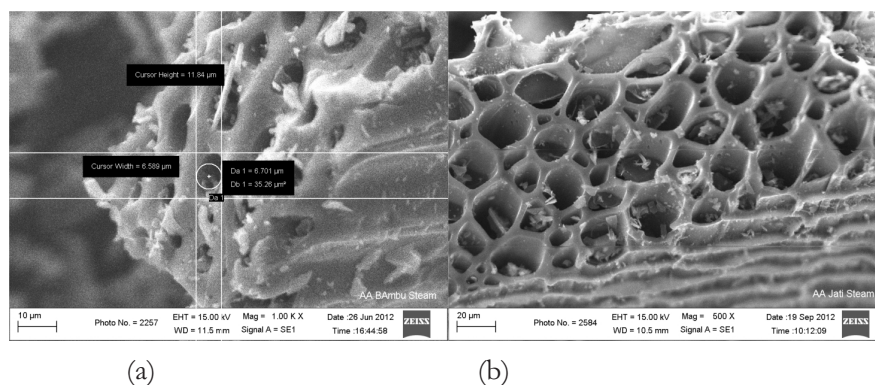
Keterangan (Remarks): AA = Arang aktif; AC = Activated charcoal

arang kayu jati yang diaktivasi dengan uap air (AA uap air) dan tertinggi dihasilkan dari arang aktif bambu yang diaktivasi dengan KOH panas (AA KOH panas). Tingginya rendemen yang dihasilkan ini disebabkan oleh adanya penambahan dari atom kalium yang menempel pada permukaan arang aktif. Apabila arang aktif jati dari perlakuan aktivasi KOH uap air (AA KOH uap air) pada penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013) dari bahan jati maka rendemen yang dihasilkan lebih kecil 41,16%. Hal ini berkaitan dengan pori yang terbentuk akibat proses aktivasi yang menghasilkan porositas lebih besar.

2. Kadar air

Kadar air berkisar antara 2,55-8,14% (Tabel 1).

Kadar air terendah terdapat pada arang aktif jati yang diaktivasi dengan panas (AA panas) dan yang tertinggi dihasilkan dari arang aktif bambu yang diaktivasi dengan mengalirkan uap air (AA uap air). Tingginya kadar air ini disebabkan oleh adanya uap air yang terperangkap di dalam pori arang aktif dan juga oleh sifat higroskopis arang aktif. Semakin banyak pori yang terbentuk maka arang aktif yang dihasilkan akan bersifat lebih poros (Gambar 1) sehingga kemampuan menyerap uap air dari udara bertambah besar. Selain itu struktur bambu lebih berongga dibandingkan dengan jati sehingga menyerap air lebih banyak. Kadar air yang dihasilkan ini semuanya memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995) karena kadarnya kurang dari 15%.



Gambar 1. Pori arang aktif (a) bambu dan (b) jati
Figure 1. Activated charcoal pore of (a) bamboo and (b) teak

3. Kadar abu

Kadar abu berkisar antara 4,79-16,45% (Tabel 1). Kadar abu terendah terdapat pada arang jati yang diaktivasi dengan cara pemanasan (AA panas) dan yang tertinggi dihasilkan dari arang aktif bambu yang diaktivasi dengan kombinasi KOH dan uap air (AA KOH uap air). Besarnya kadar abu arang aktif bambu ini selain disebabkan oleh adanya pertambahan kalium dari KOH yang masuk ke dalam pori dan menempel pada permukaan arang aktif juga adanya silika yang terdapat pada bambu yang teroksidasi terutama dari partikel yang berupa serbuk (Gambar 2). Kadar abu yang dihasilkan ini telah memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995) kecuali arang aktif bambu yang diaktivasi dengan uap air, KOH panas dan KOH uap air karena kadarnya lebih dari 10%.

4. Kadar zat terbang

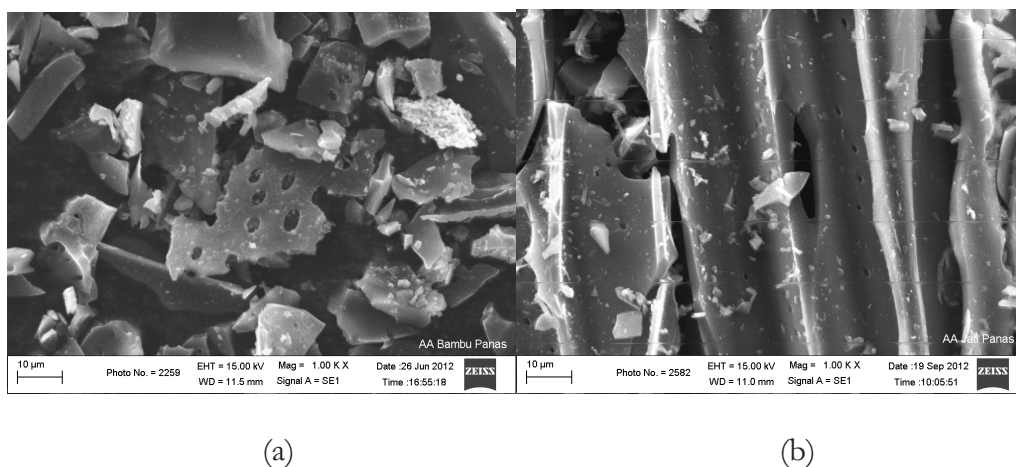
Kadar zat terbang arang aktif yang dihasilkan berkisar antara 2,01-9,08% (Tabel 1). Kadar zat terbang terendah terdapat pada arang kayu jati yang diaktivasi dengan cara pemanasan (AA panas) dan yang tertinggi dihasilkan dari arang bambu yang diaktivasi dengan cara kombinasi kimia dan uap air (AA KOH uap air). Rendahnya kadar zat terbang ini menunjukkan bahwa senyawa oksigen dan hidrogen yang menempel pada permukaan arang banyak yang keluar dalam bentuk gas, namun demikian hasil analisis pyrolysis GCMS menunjukkan masih adanya tiga senyawa organik yang menempel pada permukaan arang aktif jati seperti naptalen, benzen, dan asam

propionat dari sebelumnya 10 komponen kimia yaitu asam asetat, asam propionat, asetol, furanon, guaiacol, phenol, pyrocatechol, benzaldehyda, ethyl-guaiacol, dan 2,6 di metoksi phenol, serta satu komponen yaitu benzen yang menempel pada permukaan arang aktif bambu dari yang sebelumnya 12 komponen yaitu asam asetat, asetol, butanon, furanon, guaiacol, dihydroksi furan, benzofuran, pyrocatechol, 1,4 di metoksi benzen, 2,6 di metoksi phenol, ethyl guaiacol dan siringildehid. Hal ini menunjukkan lebih dari 90-96% senyawa organik yang berasal dari selulosa dan lignin telah terdegradasi. 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) karena kadarnya kurang dari 10%.

Penggunaan katalis KOH pada proses pemanasan adalah untuk menciptakan terjadinya interkalasi kalium pada struktur karbon sehingga terjadi pemecahan karbon menjadi ukuran yang lebih kecil dan reaksi KOH dengan karbon membentuk CO dan dengan adanya katalis besi (Fe) diharapkan akan terbentuk C dan CO₂. Apabila aktivasi dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi, karbon yang terbentuk diharapkan berupa *carbon nanotube* (Yu-Li et al., 2009).

5. Kadar karbon

Kadar karbon berkisar antara 74,47-90,64% (Tabel 1). Kadar karbon terendah terdapat pada



Gambar 2. Abu yang menempel pada permukaan arang aktif (a) bambu (b) jati
Figure 2. Ash at the surface of activated charcoal of (a) bamboo and (b) teak

arang bambu yang diaktivasi dengan kombinasi kimia (AA KOH uap air) dan tertinggi dihasilkan dari arang kayu jati yang diaktivasi dengan pemanasan (AA panas). Perbedaan ini lebih disebabkan oleh besarnya kadar abu dan senyawa *volatile* yang menempel pada permukaan arang. Kadar karbon terikat yang dihasilkan semuanya memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995) karena kadarnya lebih dari 65%. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), kemurnian karbon pada penelitian ini mengalami peningkatan sebanyak 8,59% untuk arang aktif jati dan 14,81% untuk arang aktif bambu. Selain itu menunjukkan juga bahwa proses aktivasi dengan uap air maupun kimia dapat melepaskan ikatan gugus oksigen dan hidrogen yang menempel pada permukaan karbon menjadi senyawa yang mudah menguap.

6. Daya jerap yodium

Daya jerap terhadap yodium berkisar antara 222,33-883,67 mg/g (Tabel 1). Daya jerap terendah terdapat pada arang bambu yang diaktivasi dengan cara pemanasan (AA panas) dan yang tertinggi dihasilkan dari arang aktif jati yang diaktivasi dengan cara dialirkan uap air (AA uap air). Tingginya daya jerap yodium ini menggambarkan pori yang berukuran 10 angstrom banyak terbentuk. Dari hasil topografi permukaan selain mikropori terbentuk juga pori yang berukuran makropori (Gambar 1). Hasil ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Suzuki et al. (2007) yang juga menemukan proses karbonisasi

bertingkat membentuk makropori. Daya jerap terhadap yodium yang memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730 (1995) hanya arang aktif jati dan bambu yang diaktivasi dengan cara dialirkan uap air dan KOH uap air karena daya jerap yodiumnya lebih dari 750 mg/g. Apabila hasil ini dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), terjadi peningkatan daya jerap yodium dari 480,12 mg/g menjadi 833,67 mg/g untuk arang aktif jati dan dari 604,69 mg/g menjadi 820,49 mg/g untuk arang aktif bambu.

Pemberian uap air (*steam*) pada saat aktivasi menghasilkan KOH, CO₂, dan H₂. Dengan terbentuknya KOH maka terjadi siklus KOH yang dapat menambah intensitas pembentukan pori. Kalium hidroksida akan meningkatkan pelepasan materi mudah menguap dan menciptakan pembentukan pori baru (Tseng, Wu, Hu, & Wang, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa uap air berperan penting dalam membentuk porositas.

B. Sifat Arang Aktif

Sifat arang aktif yang diaktivasi dengan cara kimia, fisika dan kombinasi antara cara kimia dan fisika dari bahan baku kayu jati dan bambu tercantum pada Tabel 2.

1. Luas permukaan

Luas permukaan arang aktif berkisar antara 235,67-883,69 m²/g (Tabel 2). Luas permukaan terendah terdapat pada arang aktif bambu yang diaktivasi dengan cara pemanasan (AA panas) dan

Tabel 2. Sifat arang aktif

Table 2. Activated charcoal properties

Bahan (Material)	Luas permukaan, (Surface area, m ² /g)	Kristalinitas (Crystallinity, %)	Resistensi (Resistancy, Ω)
A. Jati (<i>teak</i>)			
1. AA Panas (<i>AC heat</i>)	410,61	40,75	0,95
2. AA uap air (<i>AC steam</i>)	883,69	48,62	1,03
3. AA KOH panas (<i>AC KOH heat</i>)	332,48	36,63	0,17
4. AA KOH uap air (<i>AC KOH steam</i>)	850,50	38,99	0,10
5. Arang (<i>Charcoal</i>)	271,51	25,97	
B. Bambu (<i>Bamboo</i>)			
1. AA Panas (<i>AC heat</i>)	235,67	44,03	0,78
2. AA uap air (<i>AC steam</i>)	869,72	40,39	1,02
3. AA KOH panas (<i>AC KOH heat</i>)	254,62	44,48	0,43
4. AA KOH uap air (<i>AC KOH steam</i>)	854,09	40,95	0,31
5. Arang (<i>Charcoal</i>)	285,50	26,29	-

Keterangan (*Remarks*): AA = Arang aktif; AC = Activated charcoal

tertinggi dihasilkan dari arang aktif jati yang diaktivasi dengan cara dialirkan uap air (AA 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.

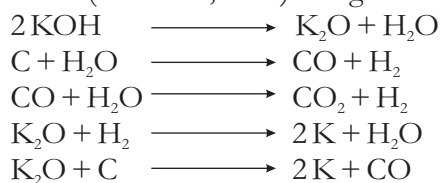
2. Derajat kristalinitas

Derajat kristalinitas arang aktif berkisar antara 36,63-48,62% (Tabel 2). Derajat kristalinitas terendah terdapat pada arang jati yang diaktivasi dengan cara kimia panas (AA KOH panas) dan yang tertinggi dihasilkan arang kayu jati yang diaktivasi dengan cara aktivasi fisika (AA uap air). Derajat kristalinitas rendah menunjukkan bahwa arang yang terbentuk, lapisan antar aromatiknya tidak simetris, selain itu disebabkan juga oleh kalium yang menempel pada permukaan arang aktif. 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 dimana susunan antar lapisan aromatiknya lebih teratur. Apabila dibandingkan dengan nano karbon partikel komersial (derajat kristalinitas 43,99%), arang aktif bambu dan jati hasil penelitian secara struktur sudah mendekati produk komersial, namun apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), derajat kristalinitas yang dihasilkan lebih rendah baik untuk jati maupun bambu. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi dapat merubah struktur yang sudah simetris menjadi tidak beraturan kembali. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Pari, Sofyan, Syafii, Buchari, dan Yamamoto (2006).

3. Resistensi

Resistensi menunjukkan kemampuan suatu material dalam menghambat arus listrik. Resistensi arang aktif pada penelitian ini berkisar antara 0,1-1,03Ω. Resistensi terendah terdapat pada arang jati yang diaktivasi dengan cara KOH uap air (AA KOH uap air) dan tertinggi terdapat pada arang jati yang diaktivasi dengan uap air (AA uap air). Pada prinsipnya kalium dari KOH adalah logam alkali dan memiliki sifat yang baik sebagai konduktor sehingga arang yang diaktivasi dengan KOH mempunyai nilai tahanan rendah. Reaksi

yang terjadi pada arang yang diaktivasi dengan KOH (Barsukov, 2003) sebagai berikut:



Apabila hasil ini dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), resistensi yang dihasilkan untuk AA KOH uap air dari jati dan bambu masing-masing sebesar 0,1 dan 0,31Ω, tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya yaitu untuk arang aktif jati 0,08-0,2Ω dan untuk arang aktif bambu sebesar 0,09-0,2Ω. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi arang jati maupun bambu tidak banyak merubah sifat dielektriknya.

C. Sifat Arang Aktif yang di Interkalasi dengan Logam

Sifat arang aktif jati dan bambu yang di interkalasi dengan logam Ni dan Zn tercantum pada Tabel 3.

1. Derajat kristalinitas

Derajat kristalinitas untuk arang aktif yang diinterkalasi logam berkisar antara 40,91-73,45% (Tabel 3). Derajat kristalinitas terendah terdapat pada arang aktif jati yang diaktivasi secara kombinasi kimia fisik yang diinterkalasi dengan logam Zn dengan perbandingan 1:5 (AA KOH uap air 1:5 Zn) dan tertinggi terdapat pada arang kayu jati yang di interkalasi oleh Ni dengan perbandingan 1:5 (AA KOH uap air 1:5 Ni).

Tingginya derajat kristalinitas menunjukkan telah terjadi interkalasi di mana senyawa logam yang ditambahkan telah masuk ke dalam kisi struktur arang aktif dan menimbulkan *defect* kristal. Hal ini ditunjukkan dengan berubahnya pola intensitas terutama pada daerah theta 26 dan 43 derajat yang merupakan pola yang khas pada struktur arang (Gambar 3, 4, 5 dan 6).

Secara struktur, atom logam yang masuk ke dalam atom karbon dan berinterkalasi adalah atom Ni, dan untuk Zn atomnya sudah masuk ke dalam struktur kristal pada bidang 100 dan 002 tetapi polanya belum kristalin (Gambar 3, 4, 5 dan 6). Apabila pola difraktogram ini dibandingkan dengan pola nano karbon partikel komersial buatan luar negeri (Gambar 11), pola X-raynya tidak jauh berbeda dengan pola X-ray arang aktif dari bambu yang di interkalasi dengan Zn. Apabila

hasil ini dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), maka secara keseluruhan derajat kristalinitasnya relatif lebih kecil baik untuk

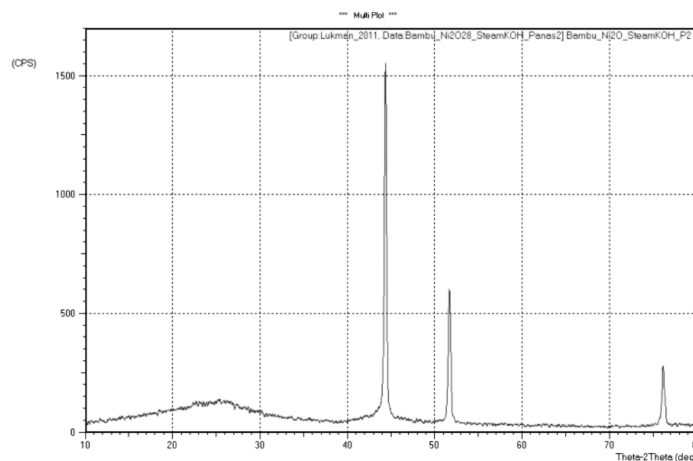
bambu maupun jati. Hal ini disebabkan oleh proses aktivasi yang membuat struktur atom karbon yang terbentuk menjadi amorf.

Tabel 3. Sifat arang aktif yang diinterkalasi logam

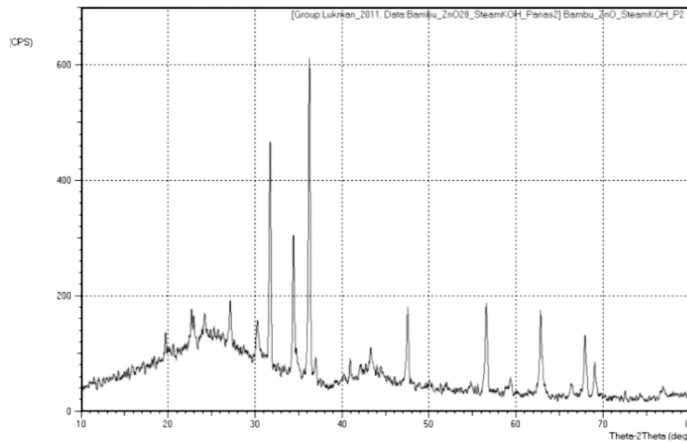
Table 3. Properties of activated charcoal intrcalated by metal

Bahan (Material)	Logam (Metal)	Kristalinitas (Crystallinity, %)	Resistensi (Resistancy, Ω)	Konduktivitas (Conductivity, S/m)
A. Jati (Teak)				
- AA KOH uap air 1:4 (AC KOH steam 1:4)	Ni	65,47	0,17	62,92
- AA KOH uap air 1:4	Zn	53,57	0,23	49,86
- AA KOH uap air 1:5 (AC KOH Steam 1:5)	Ni	73,45	0,02	433,86
- AA KOH uap air 1:5	Zn	40,91	0,26	34,57
B. Bambu (Bamboo)				
- AA KOH uap air 1:4 (AC KOH steam 1:4)	Ni	65,13	0,14	79,55
- AA KOH uap air 1:4	Zn	64,85	0,30	45,03
- AA KOH uap air 1:5 (AC KOH Steam 1:5)	Ni	71,70	0,21	116,82
- AA KOH uap air 1:5	Zn	51,65	0,08	40,05
C. SPS 1300°C				
- SPS Jati (SPS teak)	Ni	78,29	<0,001	-
- SPS Jati (SPS teak)	-	61,38	<0,001	-
D. Komersial (Com mercial)				
- Karbon nano mesopori (Nano mesopore carbon)		85,51	-	-
- Karbon nanopartikel (Nanopowder carbon)		43,99	-	-

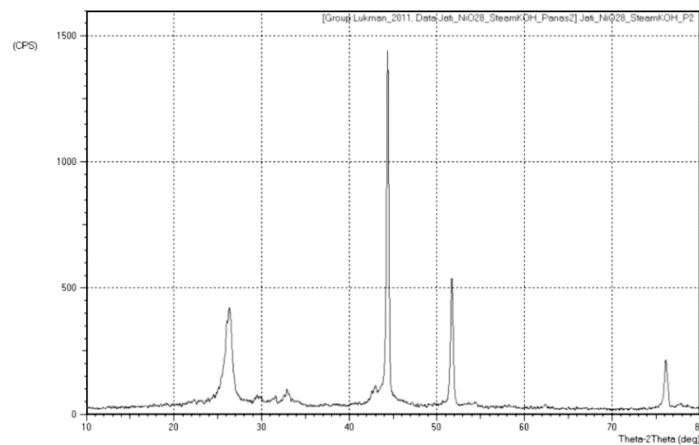
Keterangan (Remarks): AA = Arang aktif, AC = Activated charcoal; 1:4 = Perbandingan logam dengan AA (Ratio metal to AC); 1:5 = Perbandingan logam dengan AA (Ratio metal to AC)



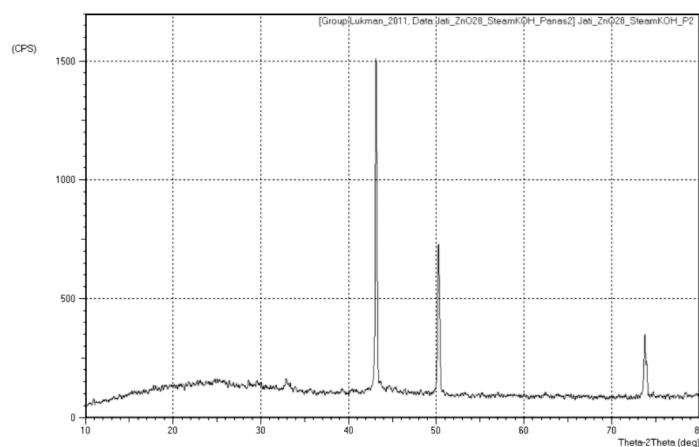
Gambar 3. Difraktogram sinar-X arang aktif bambu yang diinterkalasi dengan Ni
Figure 3. X-ray Diffractograph of bamboo active charcoal intercalated by Ni



Gambar 4. Difraktogram sinar-X arang aktif bambu yang diinterkalasi dengan Zn
Figure 4. X-ray Diffractograph of bamboo active charcoal intercalated by Zn



Gambar 5. Difraktogram sinar-X arang aktif jati yang diinterkalasi dengan Ni
Figure 5. X-ray Diffractograph of teak active charcoal intercalated by Ni



Gambar 6. Difraktogram sinar-X arang aktif jati yang diinterkalasi dengan Zn
Figure 6. X-ray Diffractograph of teak active charcoal intercalated by Zn

2. Sifat dielektrik

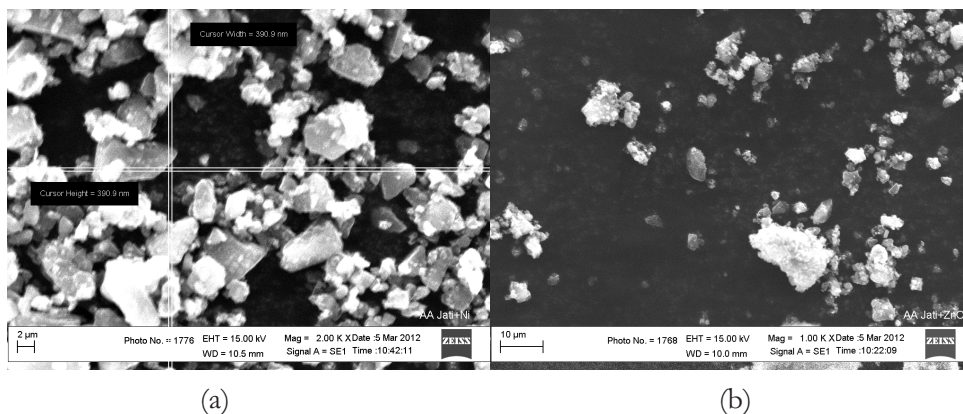
Arang aktif yang diinterkalasi dengan logam resistensinya berkisar antara $0,02-0,30\Omega$. Tahanan yang paling rendah terdapat pada arang aktif jati yang ditambahkan logam Ni dengan perbandingan 1:5 (AA KOH uap air 1:5 Ni) dan yang tertinggi terdapat pada arang aktif bambu yang ditambahkan logam Zn dengan perbandingan 1:4 (AA KOH uap air 1:4 Zn). Arang aktif yang diinterkalasi dengan logam konduktivitasnya berkisar antara $34,57-433,86$ S/m. Konduktivitas paling rendah terdapat pada arang aktif jati yang ditambahkan logam Zn dengan perbandingan 1:5 (AA KOH uap air 1:5 Zn) dan tertinggi terdapat pada arang aktif jati yang ditambahkan logam Ni dengan perbandingan 1:5 (AA KOH uap air 1:5 Ni). Apabila hasil ini dibandingkan dengan hasil penelitian Pari et al. (2013), nilai resistensi hasil penelitian ini lebih tinggi $0,12\Omega$ dan konduktivitas jauh lebih tinggi dengan selisih $315,66$ S/m. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan atom

kalium yang masuk ke dalam kisi atom karbon dan menunjukkan juga terjadi proses interkalasi.

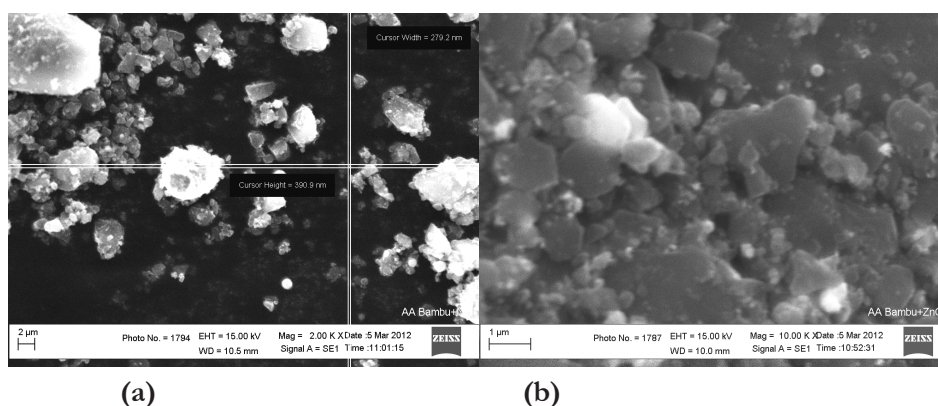
Konduktivitas merupakan ukuran kemampuan suatu material menghantarkan arus listrik. Makin tinggi konduktivitas maka suatu bahan bersifat konduktor dan apabila dihubungkan dengan nilai tahanannya yang sangat rendah maka material arang yang diinterkalasi dengan Ni mempunyai kemampuan menghantarkan elektron hampir tanpa hambatan.

3. Topografi permukaan arang aktif

Hasil topografi permukaan arang aktif yang diinterkalasi dengan atom Ni dan Zn tidak memperlihatkan adanya pori yang terbentuk (Gambar 7 dan 8). 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. Pada Gambar 7 dan 8 terlihat bahwa sebagian ukuran partikel yang terbentuk sudah berukuran nano.



Gambar 7. Topografi arang aktif jati yang diinterkalasi dengan (a) Ni dan (b) Zn
Figure 7. Topography of teak active charcoal intercalated by (a) Ni and (b) Zn



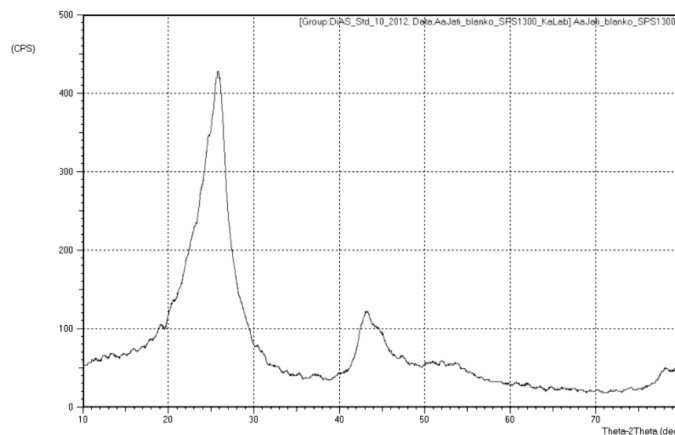
Gambar 8. Topografi arang aktif bambu yang diinterkalasi dengan (a) Ni dan (b) Zn
Figure 8. Topography of bamboo active charcoal intercalated by (a) Ni and (b) Zn

D. Sintering

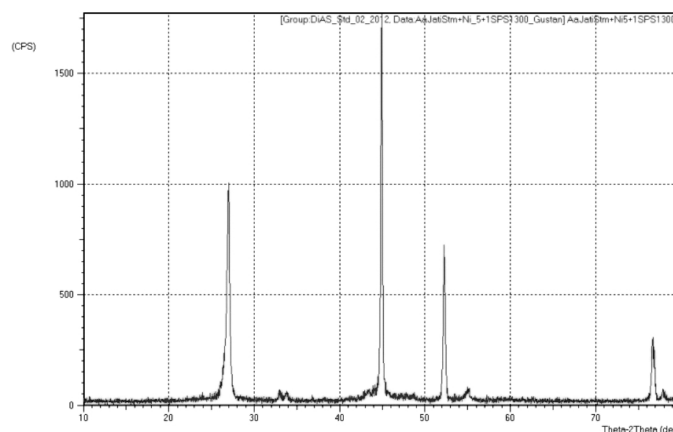
Sintering merupakan proses pemanasan suatu materi dibawah titik leleh bahan. Arang aktif yang disintering pada suhu 1300°C dengan menggunakan *Spark Plasma Sintering* (SPS), derajat kristalinitasnya berkisar antara 61,38-78,29%. Derajat kristalinitas terendah terdapat pada arang aktif jati yang tidak di interkalasi logam, sedangkan yang tertinggi diinterkalasi logam Ni dengan perbandingan 1:5 (Tabel 3). Hal ini lebih menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi maka tingkat keteraturan sistem kristalnya makin sempurna dan susunan antar lapisan aromatiknya lebih simetris dan kristalin. Derajat kristalinitas yang dihasilkan masih berbeda apabila dibandingkan dengan arang

komersial nano mesopori sebesar 85,51% (Gambar 11), namun demikian pola difraktogram yang dihasilkan relatif sama. Hal ini menunjukkan nano karbon yang dihasilkan dari arang jati dapat dijadikan nano mesopori komersial.

Hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang dilakukan oleh Suzuki et al. (2007) yang meneliti karbonisasi kayu untuk membuat karbon fungsional dengan katalis Ni dan proses karbonisasinya dilakukan dengan dua tingkat. Perbedaannya terletak pada intensitas pada sudut theta 26 yang sangat tinggi yang menunjukkan bahwa Ni yang masuk ke dalam struktur karbon masuk ke dalam tinggi lapisan aromatik sedangkan pada theta 43 intensitasnya lebih rendah.

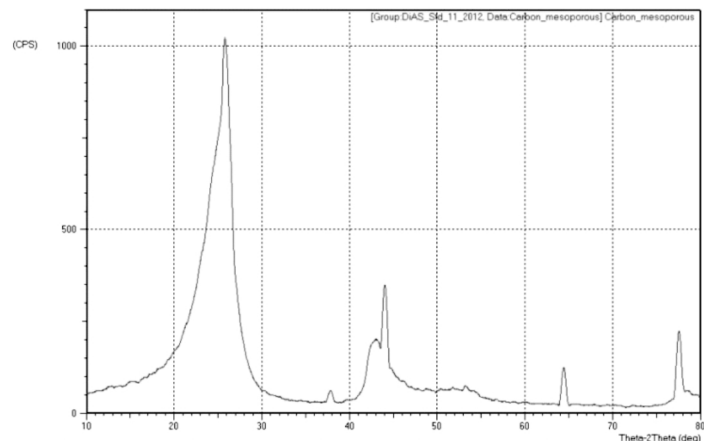


Gambar 9. Difraktogram X-ray arang aktif kayu jati disintering pada 1300°C
Figure 9. X-ray diffractogram of teak active charcoal sintered at 1300°C



Gambar 10. Difraktogram X-ray arang aktif kayu jati yang diinterkalasi atom Ni dan disintering pada suhu 1300°C

Figure 10. X-ray diffractogram of teak active charcoal intercalated by Ni metal and sintered at 1300°C

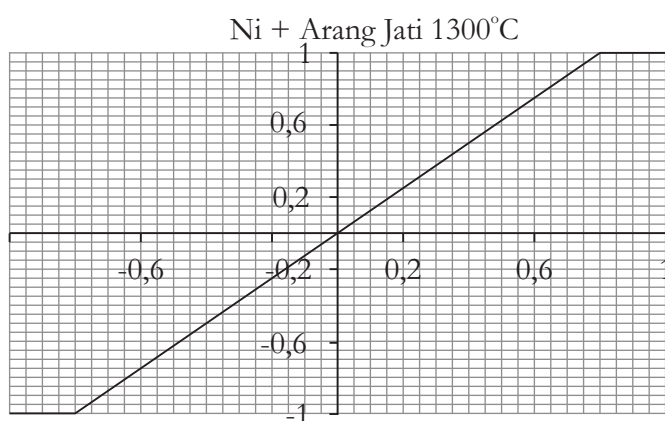


Gambar 11. Difraktogram X-ray karbon nano mesopori komersial
Figure 11. X-Ray diffractogram of commercial nano mesopore carbon

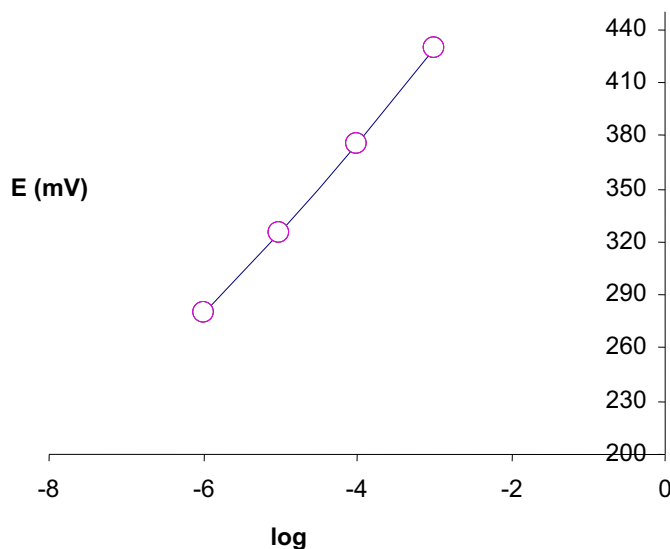
E. Uji Potensi Nano Karbon

Uji potensi karbon berguna untuk mengetahui kesesuaian penggunaan nano karbon. Hasil uji karakteristik arus-tegangan menunjukkan bahwa arang aktif yang disintering dan diinterkalasi dengan Ni memberikan respon terhadap cahaya. Pengukuran arus-tegangan memperlihatkan adanya perubahan nilai arus dan tegangan jika diberikan cahaya *Ultra Violet* (UV). Pemberian sinar UV pada sampel akan meningkatkan nilai resistivitas. Gambar 12 menggambarkan karakteristik antara arus-tegangan menghasilkan

kurva yang berbentuk sigmoid. Arang aktif yang diinterkalasi dengan atom Ni dan disintering bersifat semikonduktor, lebih sesuai apabila bahan tersebut digunakan sebagai biosensor. Hasil ini didukung oleh hasil uji potensiometer bahwa elektroda nano karbon yang dibuat pasta karbon/*Molecular Imprinted Polymer* (MIP) mempunyai kemiringan (*slope*) yang mendekati faktor Nerst, dengan jangkauan pengukuran yang lebar, dan R^2 mendekati 1. Hasil ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Qin, Liang, dan Zhang (2009) yang membuat elektroda dengan sistem MIP.



Gambar 12. Karakteristik arus-tegangan I-V
Figure 12. I-V meter current-tension characterization



Gambar 13. Potensial elektroda karbon/MIP.
Figure 13. Electrode potential of carbon/MIP

IV. KESIMPULAN

Kombinasi perlakuan aktivasi KOH dengan uap air dan interkalasi dengan logam Ni pada perbandingan 1:5 dapat meningkatkan luas permukaan dan konduktivitas karbon nano dari bahan lignoselulosa. Karakteristik karbon nano dari bahan baku kayu jati lebih baik dibandingkan dengan bambu. Hasil uji dielektrik menunjukkan bahwa karbon nano yang dihasilkan lebih bersifat semikonduktor dan lebih sesuai untuk digunakan menjadi biosensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Barsukov. (2003). *New carbon based materials for electrochemical energy storage system*. Netherland: Springer.
- Bansode, R.R., Losso, J.N., Marshall, W.E., Rao, R.M., & Portier, R.J. (2003). Adsorption of volatile organic compound by pecan shell- and almond shell-based granular activated carbons. *Bioresource Technology*, 90, 175-184.
- Bonelli, P.R., Rocca, P.A.D., Cerrela, E.G., & Cukierman, A.L. (2001). Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shell. *Bioresource Technology*, 76, 15-22.
- Guo, J. (2007). Adsorption of hydrogen sulphide (H_2S) by activated carbons derived from oil-palm shell. *Carbon*, 44, 330-336.
- Hartoyo, N., Hudaya, & Fadli. (1990). Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan kayu bakau dengan cara aktivasi uap. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 8(1), 8-16.
- Ismadji, S.Y., Sudaryanto, S.B., Hartono, L.E.K., Setiawan, & Ayucitra, A. (2005). Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak dust: pore structure development and characterization. *Bioresource Technology*, 96, 1364-1369.
- Pari, G. (2004). *Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben emisi formaldehida kayu lapis*. (Disertasi) Program Studi Ilmu Pengetahuan Kehutanan. Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Pari, G., Sofyan K., Syafii W., Buchari, & Yamamoto, H. (2006). Kajian struktur arang dari lignin. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(1), 9-20.
- Pari, G., Buchari, Santosa, A., Darmawan, S., Harsini, M., M. Rachmat, M. Hendra, DJ. Heryanto, T., & Maddu, A. (2013). Karakterisasi struktur nano karbon dari

- lignoselulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(1), 75-91.
- Qin, W., Liang, R., & Zhang, R. (2009). Potentiometric sensor based on molecularly imprinted polymer for determination of melamine in milk. *Sensor and Actuators*, 141, 544-550.
- Ruiz V., R. Santamaria, J.M., Ramos-Fernandez, M., Martinez-Escandella, Sepulveda-Escribano, & Rodriguez-Reinoso, F. (2009). An activated carbon monolith as an electrode material for supercapacitor. *Carbon*, 47, 195-200.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1995). *Arang aktif teknis*. (SNI 06-3730). Badan Standarisasi Nasional
- Suzuki, K., Yamada, T.F., & 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.
- Tseng R-L, Tseng S-K, Wu F-C, Hu C-C, Wang C-C. (2008). Effects of micropore development on the physicochemical properties of KOH-activated carbons. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, 39(1), 37-47.
- Yasuda, E., Inagaki, M., & Kaneko, K. (2003). *Carbon alloys: Novel concepts to develop carbon science and technology*. Kidlington: Elsevier Science Ltd.
- Yu-Li, Li, Q.Y., Lin, L., Wang, Y.F., Chu-Hua Zhang, & Hong-Qiang Wang. (2009). Facile synthesis of activated carbon/carbon nanotube compound for source supercapacitor application. *Chemical Engineering*.