

Pengaruh Variasi Aktivator dan *Doping* terhadap.....Rizka Karima, Nurmilatina

Pengaruh Variasi Aktivator dan *Doping* terhadap Nilai Daya Hantar Listrik dan Karakterisasi Karbon dari Bambu
Effect of Activator and Doping Variation on The Electrical Conductivity and Carbon Characteristics of Bamboo

Rizka Karima^{*,*}, Nurmilatina^a^a Baristand Industri Banjarbaru

Jl. Panglima Batur Barat No.2, Banjarbaru, Indonesia

*E-mail: rizkakarima20@gmail.com

Diterima 9 Februari 2018 Disetujui 25 Juli 2018 Diterbitkan 28 Desember 2018

ABSTRAK

Arang bambu hasil karbonisasi yang biasa digunakan sebagai sumber energi dapat ditingkatkan nilai tambah penggunaannya dengan penambahan aktivator dan *doping* logam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan jenis aktivator dan pendoping terhadap nilai daya hantar listrik dan karakterisasi arang karbon yang dihasilkan sebagai bahan baku bio baterai. Ada tiga jenis bambu yang digunakan yaitu: bambu buluh, bambu haur dan bambu betung. Bambu dikarbonisasi pada suhu 500°C-600°C menggunakan metode pirolisis. Arang yang dihasilkan diaktivasi menggunakan dua variasi bahan kimia yaitu KOH 1 M dan HNO₃ 25% lalu didoping dengan logam Zn dan Ni dengan perbandingan 1:5 berbanding dengan berat arang. Selanjutnya arang dibuat menjadi partikel nano menggunakan *High Energy Milling* (HEM) berbasis *Ball Mill*. Pengujian yang dilakukan adalah uji karakterisasi menggunakan PSA, SEM, XRD, dan pengujian nilai daya hantar listrik. Ukuran partikel paling kecil diperoleh pada arang karbon bambu buluh dengan aktivator HNO₃ tanpa pendoping dengan nilai sebesar 1030 nm, difraktogram dan topografi arang bambu yang diperoleh juga berbeda-beda dipengaruhi oleh logam *doping* yang ditambahkan. Daya hantar listrik (DHL) paling tinggi diperoleh pada arang bambu betung dengan aktivator KOH dengan *doping* logam Zn sebesar 7,02 mS/cm.

Kata Kunci : aktivator, arang bambu, *doping* logam, karbon.

ABSTRACT

An added value of bamboo charcoal that is commonly used as an energy source could be increased by the addition of activator and metal doping. The objective of this research was to analyze the effect of the addition of activator and doping to the electrical conductivity and carbon characteristics for a raw material of bio-battery. Bamboo plants used in this experiment were buluh, haur, and betung. Bamboo was carbonized in the temperature range between 500°C and 600°C by pyrolysis method. Obtained charcoal was activated using two types of chemicals, KOH and HNO₃, and then was doped with Zn and Ni. Furthermore, obtained carbon was made into nanoparticles using High Energy Milling. The structure and properties of the carbon were tested using PSA, SEM, and XRD; and the conductivity was also tested. The smallest particle size was obtained from 'buluh' bamboo charcoal with HNO₃ activation and without a doping at 1030 nm. The diffractogram and topography of the bamboo charcoal varied depending on the metal doping added. The highest electrical conductivity (DHL) was obtained from betung charcoal with an activator of KOH and a doping of Zn at 7.02 mS/cm.

Keywords: activator, bamboo charcoal, metal doping, carbon.

I. PENDAHULUAN

Nano karbon mempunyai banyak kegunaan karena sifat fisika dan kimianya yang dapat diaplikasikan dalam berbagai teknologi, seperti *nanodevice*, penyimpan energi, teknologi pemisahan, adsorben, katalis, anoda baterai, *template* pembentuk material berpori dan lain sebagainya (Ratchahat et al., 2010). Bahan dasar yang digunakan untuk membuat nanokarbon adalah grafit. Padahal di alam, bahan ini terbentuk selama jutaan tahun dan bersifat tidak dapat diperbaharui. Di sisi lain, lignoselulosa dari tumbuhan seperti bambu dapat digunakan sebagai pengganti sumber karbon yang diinginkan karena bambu bersifat *renewable* (Pari et al., 2013).

Modifikasi pada pori nano karbon yang berasal dari arang bambu perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampuannya menyimpan energi, karena sebagian besar pori yang ada masih berukuran makro. Modifikasi tersebut dapat dilakukan dengan dua cara pengaktifan yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Aktivasi ini dapat mengubah struktur dan distribusi pori karbon yang dihasilkan (Yanti, Taer & Sugianto, 2014). Aktivasi secara kimia dapat menggunakan polietilen glikol (Habibah et al., 2014), asam seperti HNO₃ dan basa (KOH dan NaOH) (Yanti et al., 2014). Sedangkan proses aktivasi secara fisika dapat dilakukan melalui pemanasan pada temperatur 800°C, dengan variasi *holding time* (Habibah, Rohmawati & Setyarsih, 2016). Untuk meningkatkan nilai konduktivitas nano karbon, perlu juga ditambahkan *doping* logam. Pari et al., (2013) menggunakan tiga *doping* logam yang diinterkalasi ke dalam arang bambu yaitu Cu, Ni dan Zn.

Teknik *High Energy Milling* (HEM) sebagai upaya dalam pembuatan bahan karbon berukuran nano telah dilakukan oleh Mustofa (2010). Ukuran serbuk hasil *milling* yang dihasilkan adalah berkisar antara 70 nm sampai 670 nm, dimana ukuran partikel mengecil seiring dengan bertambahnya waktu *milling*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

pengaruh penambahan jenis aktivator dan pendoping terhadap nilai daya hantar listrik dan karakterisasi arang karbon yang dihasilkan.

II. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah bambu yang berasal dari wilayah Kalimantan Selatan, diambil 3 jenis bambu yaitu bambu buluh (*Gigantochloa atter*), bambu betung (*Dendrocalamus asper*), dan bambu haur (*Bambusa tuldooides*), aktivator yang digunakan adalah HNO₃ dan KOH, dan logam doping yang digunakan adalah Zn dan Ni. Peralatan yang digunakan yaitu alat pirolisis, SEM (*Scanning Electron Microscope*) (Hitachi SU-3500), XRD (*X-ray diffraction*) (Rigaku-Smartlab), PSA (*Particle Size Analyzer*) mikro (Cilas 1190 Liquid), dan *Conductivitimeter* (Hach).

2.2. Metode

2.2.1. Pembuatan arang

Bahan bambu dengan ukuran 2x25 cm diarangkan dalam alat pirolisis arang. Bahan baku dimasukkan ke dalam alat pirolisis, kiln ditutup dan cerobong asap dipasang. Pengarangan (karbonisasi) berlangsung pada suhu 600°C. Pengarangan dianggap selesai apabila asap yang keluar dari cerobong menipis dan berwarna kebiru-biruan (Pari et al., 2013).

2.2.2. Aktivasi arang

Arang yang dihasilkan selanjutnya direndam dengan dua jenis aktivator kimia yaitu KOH 1M (Basa) dan HNO₃ 25% (Asam) selama 24 jam, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Modifikasi elektroda dilakukan dengan metode *dip-coating* menggunakan logam Zn dan Ni. Subtrat karbon aktif tadi dicampur dengan logam Zn atau Ni pada perbandingan 1:5 dengan berat karbon (Pari et al., 2013).

2.2.3. Pembuatan partikel nano karbon

Arang yang telah diaktivasi dihaluskan kembali dan dilakukan pengayakan hingga 200 mesh kemudian dihaluskan dengan metode *High Energy*

Mechanic (HEM) berbasis *Ball Mill* selama 5 jam.

2.2.4. Pengujian

Nano karbon kemudian dikarakterisasi struktur atom karbonnya dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Miscroscope*) dan XRD (*X-ray diffraction*) dan diukur ukuran porinya dengan PSA, dilakukan pengukuran daya hantar listrik (konduktivitas) dengan *Conductivitimeter*. Perhitungan kristalinitas dilakukan sesuai Persamaan 1.

$$Rumus\ kristalinitas = \frac{Fraksi\ Luar\ kristal}{fraksi\ luar\ kristal + fraksi\ luar\ amorf} \quad (1)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Karbon Bambu

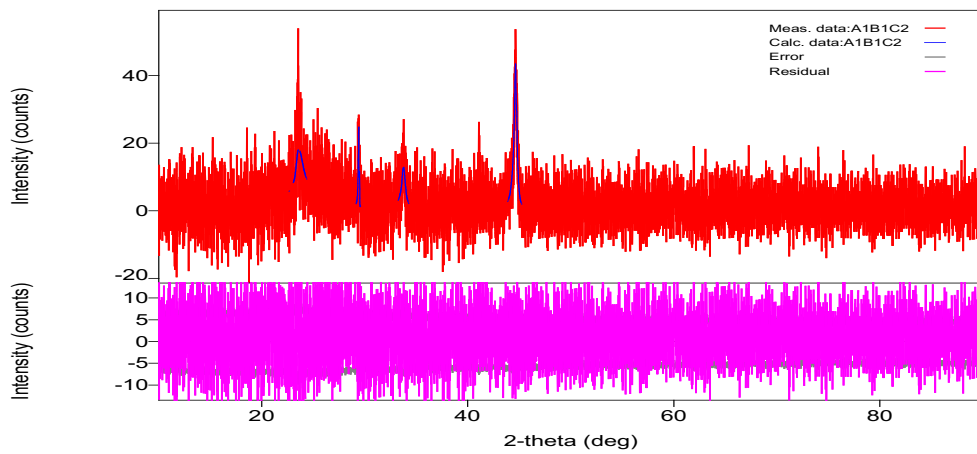
Hasil karakterisasi karbon bambu dapat dilihat pada Tabel 1.

3.1.1 Kristalinitas

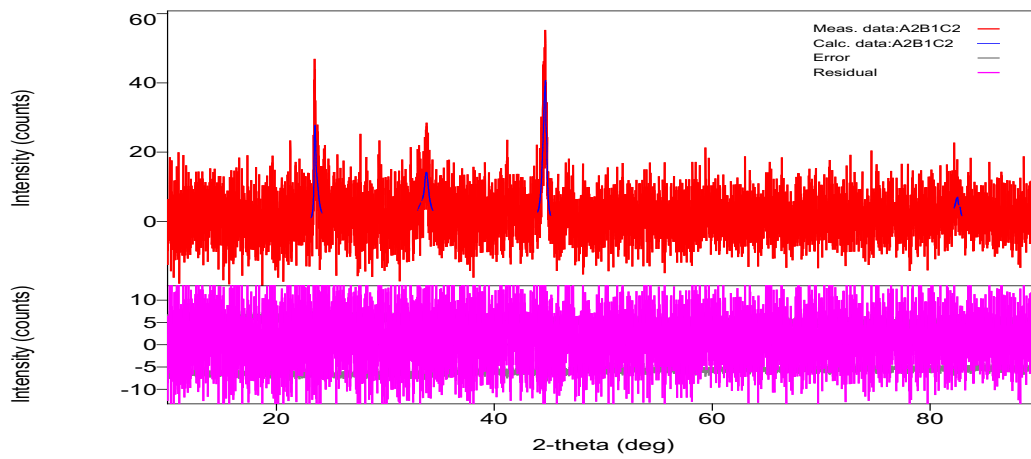
Derajat kristalinitas memberikan gambaran tentang keteraturan struktur kristal yang terbentuk pada suatu bahan (Sansotera & Navarrini, 2010). Pada Tabel 1 dapat dilihat derajat kristalinitas yang dihasilkan berkisar antara 0,6%-66,8% sedangkan pada penelitian Pari et al., (2016) derajat kristalinitas arang karbon komersial adalah 43,99%. Derajat kristalinitas yang terendah terdapat pada arang bambu haur yang diaktivasi dengan HNO₃ dan *doping* logam Zn dan yang tertinggi terdapat pada arang bambu buluh yang diaktivasi dengan HNO₃ dan *doping* logam Ni seperti pada Tabel 1. Derajat kristalinitas yang rendah menunjukkan lapisan aromatik yang susunannya tidak beraturan, sedangkan derajat kristalinitas yang tinggi menggambarkan dalam kisi heksagonal arang karbon telah terjadi

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Karbon Bambu

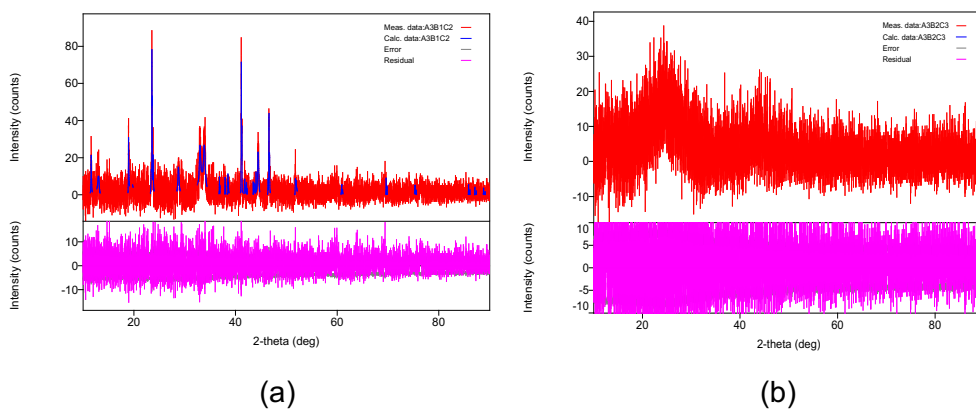
| Jenis Bambu | Aktivator | Doping (1:5) | XRD (Kristalisasi) (%) | SEM-EDX (Topografi) | PSA/Ukuran Partikel (nm) |
|-------------|-----------------------|--------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Betung | KOH (aq) | Ni | 51,6 | Bulatan kecil tidak sempurna | 1670 |
| | | Zn | 14,6 | Menggumpal | 2060 |
| | | Blanko | 4,8 | Bulat tidak sempurna | 1960 |
| | HNO ₃ (aq) | Ni | 56,2 | Bulat tidak sempurna dan ada gumpalan | 1800 |
| | | Zn | 50,9 | Bulat tidak sempurna | 2420 |
| | | Blanko | 0,6 | Bulatan kecil tidak sempurna | 1140 |
| Buluh | KOH (aq) | Ni | 55,4 | Bulatan kecil tidak sempurna | 1820 |
| | | Zn | 14,0 | Bulat tidak sempurna | 5630 |
| | | Blanko | 4,7 | Bulatan kecil tidak sempurna | 1980 |
| | HNO ₃ (aq) | Ni | 66,8 | Menggumpal | 1815 |
| | | Zn | 13,0 | Menggumpal | 5740 |
| | | Blanko | 1,7 | Bulatan kecil tidak sempurna | 1030 |
| Haur | KOH (aq) | Ni | 62,0 | Menggumpal | 7950 |
| | | Zn | 13,0 | Menggumpal | 6560 |
| | | Blanko | 2,8 | Bulatan kecil tidak sempurna | 2316 |
| | HNO ₃ (aq) | Ni | 47,6 | Menggumpal | 8080 |
| | | Zn | 11,2 | Menggumpal | 6650 |
| | | Blanko | 1,2 | Bulatan kecil tidak sempurna | 2280 |



Gambar 1. Difraktogram X-RD Arang Bambu Buluh Terinterkalasi Ni dengan Aktivator HNO_3 .



Gambar 2. Difraktogram X-RD Arang Bambu Buluh Terinterkalasi Zn dengan Aktivator HNO_3 .



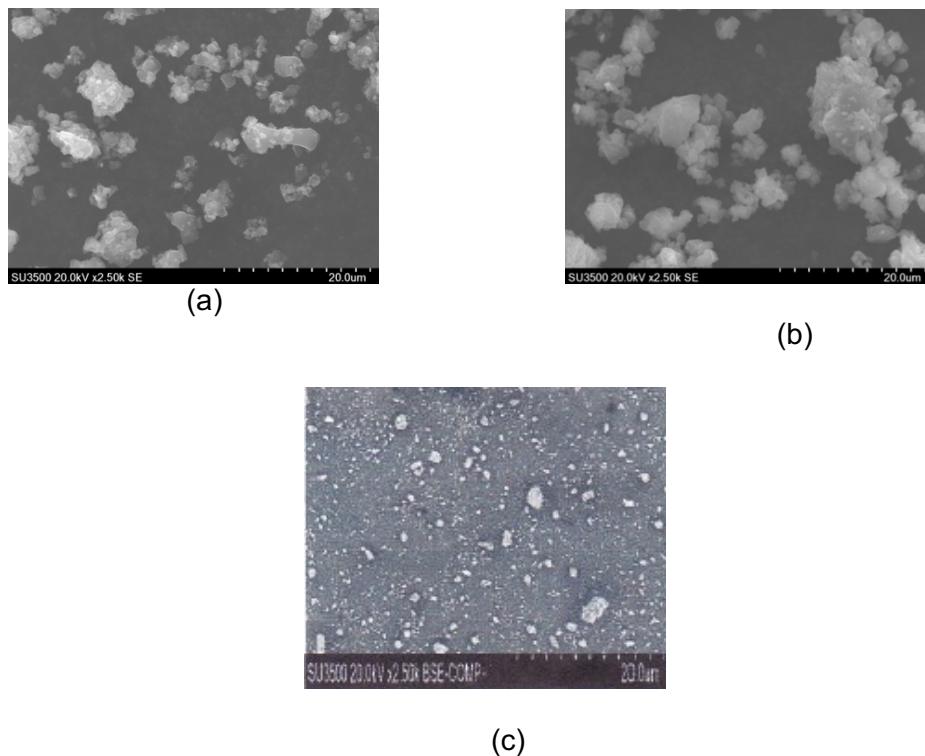
Gambar 3. Difraktogram Arang Bambu Haur; (a) Difraktogram X-RD Arang Bambu Diinterkalasi; (b) Difraktogram X-RD Arang Bambu Tanpa Diinterkalasi

penataan ulang atom dan mengindikasikan struktur yang terbentuk dan jarak antar lapisan aromatiknya lebih teratur (Sansotera & Navarrini, 2010). Penambahan *doping* dapat mempengaruhi tingkat kemurnian, dapat dilihat pada Tabel 1, bahwa karbon arang yang ditambahkan *doping* mempunyai derajat kristalinitas lebih tinggi daripada karbon tanpa *doping* karena arang bambu yang bersifat amorf dihasilkan oleh arang bambu blanko atau arang bambu yang tidak diberi *doping*. Tingginya derajat kristalinitas dari arang yang diinterkalasi atau diberi *doping* menunjukkan telah terjadinya interkalasi dimana telah masuknya senyawa logam yang ditambahkan ke dalam kisi struktur arang aktif sehingga menimbulkan cacat kristal atau terjadi ketidaksempurnaan susunan atom-atom, maka interkalasi logam dapat menghasilkan nilai daya hantar listrik (DHL) yang lebih tinggi. Perbedaan difraktogram arang bambu yang terinterkalasi dan yang tidak terinterkalasi dapat dilihat pada Gambar 3.

3.1.2 Topografi

Topografi menunjukkan permukaan partikel/arang yang dapat kontak dengan reaktan, semakin luas permukaan dari suatu adsorben maka semakin baik aktivitas adsorbennya secara fisik maupun kimia (Respati, 2008). Dari Tabel 1 dapat dilihat hasil uji topografi arang bambu yang sudah diinterkalasi atau *didoping* rata-rata mengalami gumpalan sedangkan topografi yang belum diinterkalasi atau blanko hanya berbentuk bulatan kecil tidak sempurna. Gambar topografi dapat dilihat pada Gambar 4.

Topografi arang yang diinterkalasi atom logam Ni dan Zn lebih berbentuk gumpalan hal ini dikarenakan partikel logam bercampur dengan arang pada saat pemanasan 110°C sehingga menutupi pori-pori yang terbentuk. Proses *milling* juga mengakibatkan logam-logam Ni dan Zn bersatu semakin bercampur dengan arang karbon.



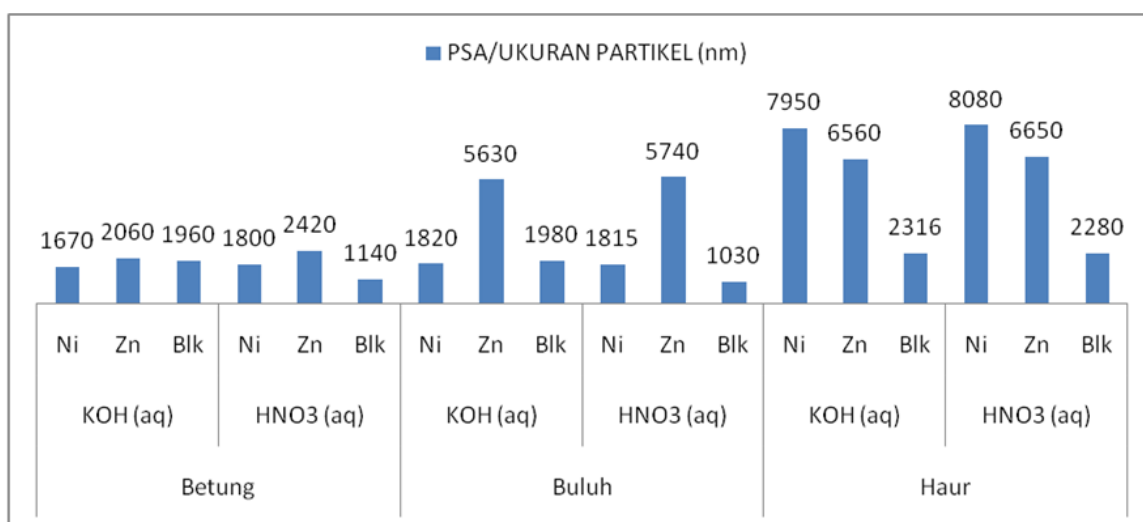
Gambar 4. Topografi Arang Karbon Bambu Haur; (a) Topografi Arang Bambu Haur Diinterkalasi Logam Ni; (b) Topografi Arang Bambu Haur Diinterkalasi Logam Zn; (c) Topografi Arang Bambu Haur Tanpa Diinterkalasi

3.1.3 Ukuran partikel

Mengukur besarnya ukuran partikel dari arang bambu yang telah dibuat merupakan salah satu karakterisasi yang penting dilakukan. Untuk mengetahui arang karbon berukuran nano atau tidak, material karbon yang telah *dimilling* dalam waktu 5 jam selanjutnya dianalisa menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA). Hasil pengukuran PSA dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 ditunjukkan bahwa ukuran partikel paling kecil adalah pada arang karbon bambu buluh dengan aktivator HNO₃ tanpa *doping* logam yaitu bernilai 1030 nm, sedangkan menurut Panicker & Park (2013) ukuran partikel yang ideal untuk aplikasi nano karbon adalah <100 nm. Pada penelitian ini pembentukan struktur nano masih belum maksimal, hal ini bisa disebabkan karena waktu *milling* yang kurang lama. Kenaikan porositas atau ukuran pori dipengaruhi waktu *milling*, seiring dengan kenaikan waktu *milling* maka *surface area* dari partikel juga akan mengalami kenaikan (Mustofa, 2010). Waktu yang digunakan untuk proses *milling* atau pembentukan partikel nano pada penelitian ini adalah 5 jam, sedangkan pada penelitian Salihati & Ardhyana (2013) proses pembentukan partikel nano

dengan metode yang sama pada bambu ori dan bambu petung adalah 10 jam dengan perolehan ukuran partikel nano sebesar 334 nm dan 385 nm.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa penggunaan *doping* dapat mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan. Arang karbon yang *didoping* menghasilkan partikel yang lebih besar daripada arang karbon tanpa *doping*, sedangkan jenis *doping* yang digunakan memberikan perbedaan ukuran partikel yang cukup signifikan, jenis aktivator yang digunakan juga menghasilkan perbedaan ukuran partikel, hal ini sama dengan yang diutarakan Yang, Su, & Kyung (2014) bahwa sampel yang diperlakukan dengan penambahan KOH dapat menghasilkan ukuran partikel lebih besar. Selain dipengaruhi oleh jenis *doping* dan aktivator, ukuran partikel juga dipengaruhi oleh jenis bambu yang digunakan, dapat dilihat bahwa bambu betung menghasilkan ukuran partikel yang kecil, sedangkan bambu haur menghasilkan ukuran rata-rata partikel yang cenderung besar. Hal ini dikarenakan arang yang dihasilkan bambu betung lebih halus dibandingkan arang dari bambu buluh dan haur.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian PSA

3.2 Daya Hantar Listrik

Nano karbon yang dihasilkan pada penelitian ini ditujukan untuk aplikasi bahan baku bio baterai, maka setelah karbon diaktivasi ditambahkan *doping* atau diinterkalasi dengan zat yang bersifat penghantar listrik untuk menambah sifat dielektrik dari material yang dihasilkan. *Doping* yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam Ni dan Zn. Unsur Ni dan Zn merupakan unsur yang bersifat penghantar listrik dan termasuk dalam jajaran deret volta pada unsur-unsur kimia (Siddiqui, Pathrikar & Anand, 2013). Logam Ni dan Zn akan masuk ke dalam pori-pori partikel arang karbon sehingga dapat menambahkan sifat dielektrik atau muatan daya hantar listrik dari arang karbon

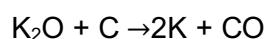
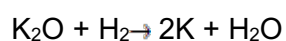
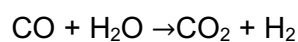
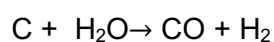
tersebut. Hasil pengujian DHL dapat dilihat pada Tabel 2.

Piranti penyimpan energi dapat ditingkatkan nilai kapasitasnya dengan cara peningkatan luar plat, penambahan logam atau unsur yang memiliki sifat penghantar listrik yang baik dan juga penggunaan aktivator (Mustofa, 2010). Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa partikel arang karbon yang diberi *doping* Zn akan menghasilkan nilai DHL yang lebih tinggi daripada arang karbon tanpa penambahan *doping* ataupun yang menggunakan *doping* logam Ni, karena Zn lebih bersifat penghantar listrik dari pada Ni dan berada di posisi lebih kiri pada deret volta, sehingga Zn akan memberikan nilai tambah lebih besar untuk DHL dibandingkan Ni.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Daya Hantar Listrik

| Jenis Bambu | Aktivator | Doping (1:5) | DHL (mS/cm) |
|-------------|-----------------------|--------------|-------------|
| Betung | KOH _(aq) | Ni | 2,06 |
| | | Zn | 7,02 |
| | | Blk | 1,95 |
| | HNO _{3 (aq)} | Ni | 1,08 |
| | | Zn | 3,76 |
| | | Blk | 0,72 |
| Buluh | KOH _(aq) | Ni | 4,69 |
| | | Zn | 5,2 |
| | | Blk | 2,69 |
| | HNO _{3 (aq)} | Ni | 2,07 |
| | | Zn | 3,49 |
| | | Blk | 1,73 |
| Haur | KOH _(aq) | Ni | 2,8 |
| | | Zn | 5,31 |
| | | Blk | 2,68 |
| | HNO _{3 (aq)} | Ni | 3,11 |
| | | Zn | 3,64 |
| | | Blk | 1,6 |

Aktivator yang digunakan juga mempengaruhi nilai DHL, nilai DHL yang lebih tinggi diperoleh pada arang karbon dengan aktivator KOH. Arang yang diaktivasi dengan KOH mempunyai nilai konduktivitas yang lebih tinggi dari pada arang yang diaktivasi pada HNO₃ karena KOH selain merupakan logam alkali, KOH juga memiliki sifat konduktor yang baik (Pari et al., 2016). Gambar 6 adalah reaksi yang terjadi pada arang jika diaktivasi dengan KOH.



Gambar 6. Reaksi Arang dan KOH
(Barsukov, 2003) dalam Pari et al, 2016)

Nilai konduktivitas atau DHL paling tinggi diperoleh pada bambu betung dengan aktivator KOH dan diinterkalasi oleh logam Zn dengan nilai 7,02 mS/cm, namun nilai tersebut sangat jauh lebih rendah dengan nilai DHL nano karbon dari kayu jati dengan dengan aktivator KOH dan diinterkalasi oleh logam Ni dengan nilai 2733,33 mS/cm (Pari et al., 2016). Rendahnya nilai DHL ini dikarenakan ukuran partikel yang diperoleh dalam penelitian ini belum berukuran nano, sehingga logam Zn dan Ni sebagai doping tidak dapat masuk dengan maksimal. Seharusnya, senyawa logam yang ditambahkan ke dalam kisi struktur arang aktif dapat masuk dan menimbulkan cacat kristal atau terjadi ketidaksempurnaan susunan atom-atom (interkalasi logam), sehingga menghasilkan nilai daya hantar listrik (DHL) yang lebih tinggi (Respati, 2008). Hal ini tidak terjadi karena ukuran partikel belum nano, sehingga interkalasi tidak berjalan maksimal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Jenis aktivator dan *doping* yang digunakan mempengaruhi karakteristik dari

nanokarbon yang dihasilkan dan juga nilai daya hantar listrik yang dihasilkan. Aktivator dan doping mempengaruhi derajat kristalinitas. Karbon arang yang ditambahkan *doping* mempunyai nilai kristalinitas lebih tinggi. Nilai kristalinitas paling tinggi diperoleh pada karbon bambu buluh dengan aktivator HNO₃ dan doping logam Ni dengan nilai 66,8%. Topografi arang bambu yang diperoleh juga berbeda-beda, topografi arang yang diberi atom logam Ni dan Zn lebih berbentuk gumpalan. Aktivator dan *doping* memberikan pengaruh terhadap ukuran partikel, ukuran partikel paling kecil diperoleh pada arang karbon bambu buluh dengan aktivator HNO₃ tanpa pendoping dengan nilai sebesar 1030 nm. Daya hantar listrik (DHL) paling tinggi diperoleh pada arang bambu betung dengan aktivator KOH dengan *doping* logam Zn sebesar 7,02 mS/cm.

Diperlukan penelitian lebih lanjut dan metode yang lebih tepat dalam pembentukan partikel arang karbon misalnya waktu *milling* dilakukan lebih lama atau dapat menggunakan metode solgel (*bottom-up*) dalam pembuatan nano karbon hingga diperoleh ukuran nano, agar daya hantar listrik yang dihasilkan lebih tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Baristand Industri Banjarbaru Ibu Ir. Lies Indriati, juga kepada Ibu Desi Mustika, S.T., M.T. dan Ibu Rina Apriani, S.Si. yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Pusat Penelitian Fisika-LIPI dan Balai Besar Pulp Kertas yang telah bekerjasama dalam pembuatan nano partikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Barsukov. (2003). *New Carbon Based Material for Electrochemical Energy Storage Systems*. Netherland.
- Habibah, M.D., Nurdiana, H., Rohmawati, L., & Setyarsih, W. (2014). Sintesis Nanopori Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium edule*). *Prosiding*

- Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, 5(1), 30–32.
- Habibah, M.D., Rohmawati, L., & Setyarsih, W. (2016). Variasi Holding Time Suhu Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium edule*) sebagai Elektroda pada Superkapasitor. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 5(1), 19–22.
- Sansotera, M., Navarrini, W., Resnati, G., Mentrangolo, P., Famulari, A., Bianci, C.L., & Guarda, P.A. (2010). Preparation and Characterization of Super Hydrophobic Conductive Flourinated Carbon Blacks, *Carbon*, 48(15), 4382–4390.
- Mustofa, S. (2010). *Rekayasa Bahan Partikel Nano Karbon Untuk Aplikasi Piranti Energi Dan Sensor*. Bunga Rampai Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti.
- Panicker, A.S., and Park, S. (2013). Observations of Black Carbon Characteristics And Radiative Forcing Over a Global Atmosphere Watch Supersite In Korea. *Atmospheric Environment*, 77, 98–104.
- Pari, G., Santoso, A., Hendra, D., Maddu, A., Rachmat, M., Harsini, M., ... Darmawan, S. (2013). Karakterisasi Struktur Nano Karbon Dari Lignosellulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(1), 75–91.
- Pari, G., Santoso, A., Hendra, D., Maddu, A., Rachmat, M., Harsini, M., ... Darmawan, S. (2016). Possible Application of Ligno-cellulose Nano Carbon as Biosensor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(2), 111–125.
- Ratchahat, S. N., Faungnawakij, V.K., Charinpanitkul, T., & Soottitantawat, A. (2010). Synthesis of Carbon Microspheres from Starch by Hydrothermal Process. *Science Journal Ubon Ratchatani University*, 1(2), 40–45.
- Respati, S. M. (2008). Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaannya. *Momentum*, 4(2), 42–49.
- Salihati, Firdausi dan Ardhyananta, H. (2013). Studi Pembuatan Karbon Hitam dari Bambu Ori (*Bambusa arundinacea*) dan Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Teknik Pomits*, 1(2), 1–6.
- Siddiqui, Urba & Pathrikar, Anand, K. (2013). The Future of Energy Bio Battery. *Journal of Research in Engineering and Technology*, 11(2), 99–111.
- Yang, C., Su, Y., & Kyung, H. (2014). Bamboo-based Activated Carbon for Supercapacitor Applications. *Current Applied Physics*, 14(12), 1616–1620. <http://doi.org/10.1016/j.cap.2014.09.021>
- Yanti, S., Taer, E., & S. (2014). Efek Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Monolit terhadap Sifat Fisis dan Elektrokimia Sel Superkapasitor. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA*, 1(2), 161–168.

