

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS NIKEL TERHADAP HOMOGENITAS FASA DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KARBON DARI SERABUT KELAPA

¹⁾Fitri Mahmudah, ²⁾Diah Hari Kusumawati, ³⁾Fredina Destyorini

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: fitrimahmudah16030224012@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id

³⁾Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, email: frediana.detyorini@lipi.go.id

Abstrak

Material karbon grafit merupakan salah satu jenis material yang memiliki karakteristik yang mirip dengan grafit dan bersifat konduktor. Pengubahan karbon menjadi karbon grafit dilakukan dengan 2 macam metode yaitu proses grafitisasi dan penambahan katalis. Pada penelitian ini, perubahan karbon menjadi karbon grafit dilakukan dengan proses penambahan katalis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis Ni terhadap homogenitas dan konduktivitas listrik karbon berbahan dasar serabut kelapa. Penelitian ini dilakukan dengan menghaluskan serabut kelapa yang sudah dikarbonisasi pada suhu 500 °C. Selanjutnya, katalis nikel ditambahkan pada serbuk karbon dengan perbandingan rasio Ni:C yaitu 1,2:1 wt.% dan dipirolysis pada suhu 1200 °C selama 3 jam. Kemudian dilakukan pencucian sampel dengan HCl 1M. Karakterisasi yang dilakukan yaitu XRD, LCRmeter, SEM dan EDS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa karbon (C) memiliki struktur amorf. Pada CNi dan CNi-HCl struktur karbon yang dihasilkan mendekati kristal grafit. Penambahan katalis Ni dan pencucian HCl menyebabkan konduktivitas listrik karbon meningkat yaitu sebesar $0,773 \times 10^2$ S/m untuk C; $1,76 \times 10^2$ S/m untuk CNi dan $1,78 \times 10^2$ S/m untuk CNi-HCl. Hasil SEM menunjukkan sebaran Ni yang relatif homogen disekitar karbon pada CNi-HCl. Hasil identifikasi menggunakan EDS pada CNi menunjukkan unsur C sebesar 85,380 %, O sebesar 4,324 %, dan Ni sebesar 10,296 % massa. Pada material CNi-HCl menunjukkan unsur C sebesar 95,525 %, unsur O sebesar 3,820 % dan unsur Ni sebesar 0,655 % massa. Berkurangnya massa unsur Ni pada material CNi-HCl dikarenakan adanya pencucian dengan larutan 1M HCl. Larutan HCl berfungsi untuk menghilangkan kuantitas logam Ni.

Kata Kunci: Serabut kelapa, katalis nikel, karbon, grafit.

Abstract

Graphite carbon material is one type of material that has characteristics similar to graphite and is a conductor. The conversion of carbon into graphite carbon is done by 2 kinds of methods, namely the process of graphitization and the addition of catalysts. In this study, the change of carbon into graphite carbon is carried out by the process of adding catalysts. The purpose of this study was to determine the effect of adding Ni catalysts to the homogeneity and electrical conductivity of carbon made from coconut fibers. This research was conducted by smoothing carbonized coconut fibers at a temperature of 500 °C. Next, the nickel catalyst was added to carbon powder with a ratio of Ni:C which is 1.2:1 wt.% And pyrolysis at 1200 °C for 3 hours. Then the sample was washed with 1M HCl. Characterization carried out are XRD, LCR meter, SEM and EDS. The XRD characterization results show that carbon (C) has an amorphous structure. In CNi and CNi-HCl the resulting carbon structure approaches graphite crystals. The addition of Ni catalysts and HCl leaching caused the electrical conductivity of carbon to increase by 0.773×10^2 S/m for C; 1.76×10^2 S/m for CNi and 1.78×10^2 S/m for CNi-HCl. SEM results show a relatively homogeneous distribution of Ni around carbon in CNi-HCl. The results of identification using EDS on CNi showed element C of 85.380 %, O of 4.324 %, and Ni of 10.296 % of mass. The CNi-HCl material showed element C of 95.525 %, element O of 3.820 % and element Ni of 0.655 % mass. The reduced mass of the element Ni in the CNi-HCl material is due to washing with 1M HCl solution. HCl solution serves to eliminate the quantity of Ni metal.

Keywords: Coconut fiber, nickel catalyst, carbon, graphite.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan bahan alam salah satunya yaitu pohon kelapa. Luas perkebunan pohon tersebut di Indonesia mencapai 3,8 hektar serta memiliki hasil produksi senilai 5,6 juta setiap tahun. Sebanyak 35 % berat buah terdiri dari serabut kelapa. Pemanfaatan serabut kelapa di wilayah masyarakat masih terbatas untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga seperti sapu dan keset, sehingga banyak serabut kelapa yang menjadi limbah. Dampak yang ditimbulkan dari limbah tersebut dapat merusak kelestarian lingkungan, sehingga

dibutuhkan keahlian khusus untuk mengelola serabut kelapa (Indahyani, 2011).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju menyebabkan serabut kelapa dapat dikelola menjadi bahan multiguna. Salah satu pemanfaatan serabut kelapa tersebut adalah untuk bahan baku pembuatan material karbon. Namun, material karbon masih memiliki struktur amorf dan tidak dapat menghantarkan listrik atau bersifat isolator, sehingga kurang dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi (Macias dkk., 2005). Oleh sebab itu perlu dilakukan upaya untuk mengubah struktur amorf menjadi struktur kristalin yang

dapat memicu sifat konduktor material. Material yang bersifat konduktor tersebut adalah karbon grafit (Marsh dkk., 2006). Material karbon grafit adalah jenis material yang memiliki karakteristik mirip grafit mumi yaitu berstruktur kristalin dan bersifat konduktor atau dapat menghantarkan listrik. Perubahan karbon menjadi karbon grafit dilakukan dengan 2 metode, yaitu proses grafitisasi 2500-3000 °C (Rampe dkk., 2014) dan perlakuan penambahan katalis (Marsh dkk., 1970 dalam Yuanita., 2012).

Proses grafitisasi karbon dengan menggunakan suhu tinggi telah dilaporkan oleh Liu dkk (2013). Proses tersebut dilakukan menggunakan pemanasan suhu tinggi dari 2000-2500 °C. Penggunaan suhu tinggi menyebabkan terjadinya perubahan ikatan karbon yang semula sp^3 menjadi sp^2 . Hal tersebut terjadi akibat ketidakstabilan ikatan sp^3 yang dimiliki karbon (Bourke dkk., 2007 dalam Hadanu., 2012). Pada penelitian Rampe dkk (2014), karbon dari tempurung kelapa dengan karbonisasi pada suhu 2500 °C diuji XRD dan didapatkan fasa mirip grafit pada sudut 2θ 26,39 °. Puncak pada sudut 2θ 26,39 ° tersebut adalah puncak milik karbon grafit. Proses grafitisasi karbon pada suhu tinggi diatas 2000 °C dapat dilakukan namun membutuhkan waktu lama. Sehingga dengan menggunakan katalis seperti Ni, Fe, Mn, Cr, Ca, Al dan Co proses grafitisasi lebih mudah dilakukan pada suhu yang rendah yaitu 1200 °C (Al-Falahi., 2014; Wang dkk., 2016). Penggunaan katalis berpengaruh pada perubahan struktur karbon dari amorf menjadi grafit (Marsh, 1970 dalam Yuanita, 2012). Katalis merupakan zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat proses reaksi dan dapat menyediakan situs aktif yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan serta menyumbangkan energi dalam bentuk panas, sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi dengan lebih mudah (Triyono., 1994 dalam Meissha., 2012).

Pada penelitian Demir dkk (2015), pembuatan karbon dengan proses grafitisasi dilakukan dengan penambahan katalis Mn dan Co pada suhu yang rendah yaitu 1500 °C. Hasil uji XRD menunjukkan adanya fasa kristalin mirip grafit pada sudut 2θ 26,53 ° dan 26,00 °. Puncak pada kedua sudut tersebut adalah puncak milik karbon grafit. Karbon grafit dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti superkapasitor, bahan absorben, baterai elektroda *fuel cell* dan salah satunya *gas diffusion layer* (GDL). GDL adalah salah satu komponen pada PEMFC yang terbuat dari material berbasis karbon. Aplikasi GDL mempunyai karakteristik konduktif, berpori, dan hidrofobik (Putra., 2017).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari homogenitas dan sifat konduktivitas listrik pada karbon grafit dari serabut kelapa menggunakan proses penambahan katalis nikel (Ni) dengan perbandingan rasio C:Ni yaitu 1:1,2 wt.%. Sehingga diharapkan material ini kedepannya dapat diaplikasikan sebagai bahan dasar *gas diffusion layer* (GDL), dimana salah satu syarat yang harus dipenuhi sebagai bahan GDL adalah mempunyai nilai konduktivitas sebesar $1,25 \times 10^2$ S/m (Arvay dkk., 2012).

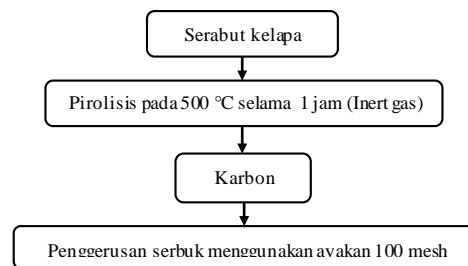
METODE

A. Alat dan Bahan

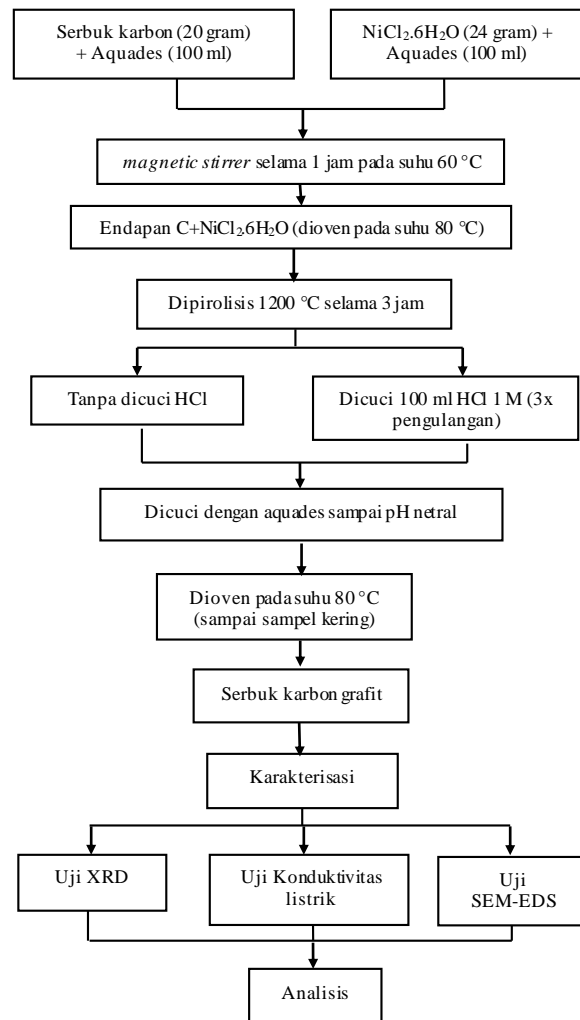
Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah gelas kimia, *crucible*, neraca teknis, spatula, pipet, ayakan 100 mesh, *aluminium foil*, kertas saring, mortal, *hot plate*, *furnace*, ultrasonik, *magnetic stirrer*. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serabut kelapa, HCl 1M, aquades, dan nikel (II) klorida ($NiCl_2$).

B. Preparasi Sampel

Proses pembuatan karbon dari bahan dasar serabut kelapa dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan karbon pada pirolisis 500 °C selama 1 jam (Indayaningsih dkk., 2016) dapat dilihat pada Gambar 1. Tahap kedua yaitu menambahkan katalis Ni dengan perbandingan rasio C:Ni yaitu 1:1,2 wt.% (Hoekstra dkk., 2015) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan bahan karbon.



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan bahan karbon dengan katalis nikel (Ni).

Pada Gambar 2 diberikan proses pirolisis yang dilakukan pada suhu 1200 °C selama 3 jam dilanjutkan dengan proses pencucian menggunakan HCl 1M (Bintang dkk., 2018). Pencucian dengan HCl untuk menghilangkan kuantitas logam Ni. Pada penelitian ini pencucian HCl dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dan menggunakan aquades sehingga mencapai pH netral.

C. Karakterisasi Sampel

Sampel yang telah disintesis sesuai dengan diagram alir Gambar 1 dan Gambar 2 selanjutnya dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristiknya. Karakterisasi tersebut terdiri dari uji *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan tegangan 40 kV, arus 30 mA, slit 1°, *scan range* 10-60 deg, *scan speed* 2 deg/min, dan sumber radiasi Cu-K α . Uji konduktivitas listrik dilakukan menggunakan LCR-meter HIOKI 3522-50 HITESTER. Alat LCR-meter menunjukkan nilai resistansi (R) dengan satuan Ω , dan nilai konduktivitas listrik (σ) dengan satuan S/m menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (1)$$

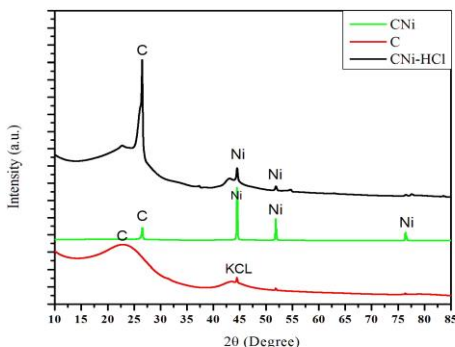
dimana L adalah jarak 2 elektroda dengan satuan m², dan A adalah luas penampang lintang dengan satuan m (Mochidzuki dkk., 2003). Uji *scanning electron microscope* (SEM) digunakan untuk mengetahui struktur permukaan pada sampel dan *energy dispersive spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui unsur senyawa, alat yang digunakan yaitu SEM-EDS JSM-6390 series.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis terdiri dari 3 sampel dengan perlakuan yang berbeda yaitu karbon tanpa katalis nikel (C), karbon dengan katalis nikel (CNi) yang dipanaskan pada suhu 1200 °C selama 3 jam, dan karbon dengan katalis nikel dengan pencucian 1M HCl (CNi-HCl). Masing-masing sampel tersebut dikarakterisasi dengan uji XRD, LCRmeter, SEM dan EDS.

A. Analisis Hasil Uji X-ray diffraction (XRD)

Gambar 3 berikut menunjukkan pola XRD pada sampel C, CNi dan CNi-HCl.



Gambar 3. Difraktogram XRD pada C, CNi, dan CNi-HCl.

Berdasarkan Gambar 3, pada pola difraksi sinar-X untuk karbon (C) menunjukkan bahwa puncak karbon terdapat pada sudut 2 θ sebesar 23,08 ° dan terdapat puncak yang mengindikasikan komponen mineral jenis KCl pada sudut 2 θ 44,49 ° (JCPDS No.22-714). Komponen KCl merupakan mineral yang secara alami terkandung dalam serabut kelapa (Frediana dkk., 2010). Fasa KCl dapat terdeteksi karena mempunyai titik leleh sebesar 1420 °C yang lebih rendah dari suhu pirolisis yang digunakan (1200 °C). Selanjutnya pola difraksi sinar-X untuk CNi menunjukkan bahwa puncak karbon muncul pada sudut 2 θ 26,50 °, (JCPDS No. 41-1487) dan terdapat puncak yang mengindikasikan komponen lain yaitu Ni muncul pada sudut 2 θ 44,50 °; 51,88 ° dan 76,40 ° (JCPDS No. 04-0850). Difraksi sinar-X untuk CNi-HCl menunjukkan bahwa puncak C muncul pada sudut 2 θ 26,52 ° dan terdapat puncak yang mengindikasikan komponen Ni pada sudut 2 θ 44,49 ° dan 51,88 °. Pada dasarnya, penambahan Ni dan pencucian menggunakan HCl menyebabkan terbentuknya mineral jenis NiCl, akan tetapi mineral jenis NiCl ini tidak terdeteksi pada uji XRD. Hal tersebut dikarenakan titik leleh yang dimiliki NiCl lebih rendah yaitu 1001 °C sedangkan pada suhu pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1200 °C (Prakash dkk., 2000 dalam Zhai., 2011).

Selain itu dari hasil karakterisasi XRD juga terdapat pergeseran puncak milik fase karbon, dimana puncak fase (C) berada pada sudut 2 θ 23,08 °, CNi muncul pada sudut 2 θ 26,50 ° dan CNi-1M HCl menunjukkan puncak karbon muncul pada sudut 2 θ 26,52 °. Pergeseran puncak fase karbon tersebut membentuk bukit dengan luas daerah yang besar dan ujung bukit yang tumpul. Hal ini menunjukkan bahwa karbon memiliki struktur amorf. Pada posisi 2 θ CNi dan CNi-HCl membentuk ujung bukit yang lancip dimana mendekati posisi struktur kristal grafit yaitu pada sudut 2 θ 26,50 ° dan 26,52 °. Hasil tersebut seperti percobaan (Demir dkk., 2015) dan (Rampe dkk., 2014) dengan menggunakan suhu pirolisis diatas 2500 °C yang memiliki stuktur karbon grafit dengan sudut 2 θ 26,39 °.

Oleh sebab itu, penambahan katalis nikel dapat menurunkan suhu pirolisis dari 2500 menjadi 1200 °C (Al-Falah 2014 dan Wang dkk., 2016) dan katalis Nikel (Ni) dapat mempercepat reaksi pada pori-pori karbon, dengan membukanya pori-pori, maka struktur amorf akan membentuk struktur kristalin (Lie dkk., 2016).

B. Analisis Hasil Uji Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas listrik karbon diukur dengan menggunakan LCR-meter. Berdasarkan data nilai konduktivitas listrik pada Tabel 1 berikut terlihat bahwa penambahan katalis nikel (Ni) berpengaruh pada nilai konduktivitas listrik.

Tabel 1. Uji konduktivitas listrik

No.	Sampel	Konduktivitas Listrik (S/m)
1	C	$0,773 \times 10^2$
2	CNi	$1,760 \times 10^2$
3	CNi-HCl	$1,780 \times 10^2$

Berdasarkan Tabel 1, nilai konduktivitas listrik pada C sebesar $0,773 \times 10^2$ S/m, sedangkan dengan penambahan katalis Ni (CNi), nilai konduktivitas listrik berkurang menjadi $1,760 \times 10^2$ S/m dan nilai konduktivitas pada CNi-HCl sebesar $1,780 \times 10^2$ S/m. Nilai konduktivitas karbon serabut kelapa ini terletak pada daerah nilai konduktivitas listrik oleh material semikonduktor yaitu pada nilai 10^{-8} sampai 10^3 S/m (Fredina dkk., 2010). Nilai konduktivitas listrik ini mendekati konduktivitas serbuk grafit yang termasuk material konduktor. Nilai konduktivitas listrik serbuk grafit yang pernah terukur yaitu sebesar $0,34 \times 10^4$ S/m (Mochidzuki dkk., 2003 dalam Fredina dkk., 2010).

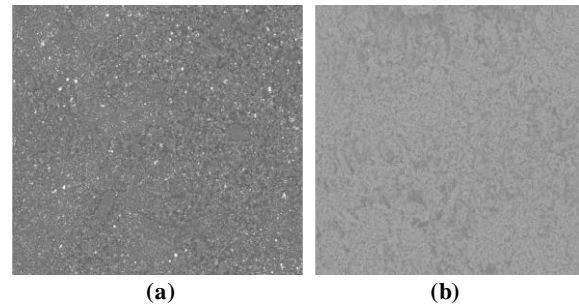
Perbedaan nilai konduktivitas listrik pada CNi dan CNi-HCl lebih tinggi dibandingkan nilai konduktivitas listrik pada C. Hal tersebut dipengaruhi oleh struktur atom yang teratur pada sampel CNi dan CNi-HCl (Efendi dan Afdal., 2016). Mobilitas elektron akan lebih mudah bergerak jika struktur atomnya teratur yang berakibat pada besarnya arus yang dapat melalu sampel dan menjadikan nilai konduktivitas listrik menjadi tinggi (Destyorini dkk., 2010). Karbon grafit memiliki struktur atom yang teratur sehingga memiliki nilai konduktivitas listrik yang lebih baik (Zhu dkk., 2013).

C. Analisis Hasil Uji SEM-EDS

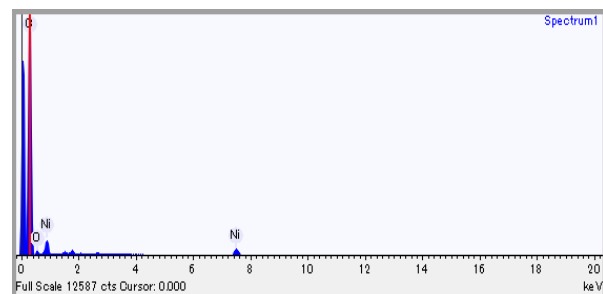
Morfologi pada sampel CNi, dan CNi-HCl yang dipirolysis pada temperatur 1200 °C dianalisis menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) yang dirangkai dengan *energy dispersive spektroskop* (EDS) dapat dilihat pada Gambar 4 (a dan b).

Gambar 4 (a dan b) menunjukkan sebaran Ni yang relatif homogen disekitar karbon. Hal tersebut mempengaruhi jumlah bagian karbon yang akan bertransformasi fasa dari amorf ke kristalin. Pada CNi (Gambar 4a) masih terlihat adanya unsur nikel yang belum tereduksi selama proses sintesis, namun dengan dilakukan pencucian menggunakan HCl, maka unsur nikel akan tereduksi pada CNi-HCl (Gambar 4b) bahkan hilang. Larutan HCl berfungsi untuk menghilangkan kuantitas logam, seperti Ni (Kalapathy, 2000 dalam Yuanita, 2012) dimana Ni dapat bereaksi dengan Cl dari larutan HCl sehingga membentuk senyawa $NiCl_2$ (Beata dkk., 2008). Hal ini didukung dari hasil karakterisasi EDS dari kedua sampel. Identitas unsur material CNi pada Gambar 5 dan CNi-HCl pada Gambar 6 menggunakan EDS. Hasil identifikasi CNi-Non HCl menunjukkan penyusun utama unsur karbon (C) yaitu sebesar 85,380 % massa dan terdapat unsur yang secara umum terdapat pada serabut kelapa yaitu oksigen (O) sebesar 4,324 % massa, serta unsur lain yaitu katalis Nikel (Ni) sebesar 10,296 % massa. Hasil pengujian analisis EDS pada material CNi-HCl terdapat kenaikan

massa pada unsur karbon (C) yaitu 95,525 % , unsur oksigen (O) sebesar 3,820 % massa dan unsur nikel (Ni) menjadi lebih rendah yaitu 0,655 % massa. Berkurangnya massa unsur Ni pada material CNi-HCl dikarenakan adanya pencucian larutan 1M HCl. Larutan HCl berfungsi untuk menghilangkan kuantitas logam, seperti Ni (Kalapathy, 2000 dalam Yuanita, 2012) dimana Ni dapat bereaksi dengan Cl dari larutan HCl sehingga membentuk senyawa $NiCl_2$ (Beata dkk., 2008).

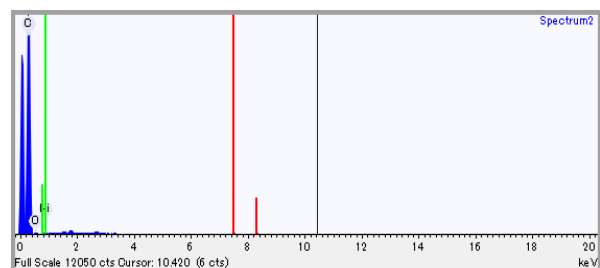


Gambar 4. Morfologi permukaan SEM pada pembesaran 2500x (a) CNi (b) CNi-HCl.



Summary result			
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic%
Carbon (C)	85.380	0.321	94.101
Oxygen (O)	4.324	0.266	3.578
Nickel (Ni)	10.296	0.222	2.322

Gambar 5. Hasil Uji EDS CNi



Summary result			
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic%
Carbon (C)	95.525	0.421	96.953
Oxygen (O)	3.820	0.394	2.911
Nickel (Ni)	0.655	0.160	0.136

Gambar 6. Hasil Uji EDS CNi-HCl

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon tanpa adanya penambahan katalis nikel (C) memiliki struktur amorf, sedangkan pada material CNi dan CNi-HCl struktur karbon yang dihasilkan mendekati struktur kristal grafit. Penambahan katalis Ni menyebabkan proses pirolisis dapat dilakukan pada temperatur yang cukup rendah. Selain itu, pencucian sampel menggunakan HCl menyebabkan konduktivitas listrik karbon meningkat yaitu sebesar $0,773 \times 10^2$ S/m untuk C; $1,760 \times 10^2$ S/m untuk CNi dan $1,780 \times 10^2$ S/m untuk CNi-HCl. Hasil SEM menunjukkan sebaran Ni yang relatif kurang homogen, namun dengan proses pencucian menggunakan HCl membantu mereduksi nikel, yang didukung oleh data EDS, dimana hampir seluruhnya bahan sudah merupakan unsur karbon dengan karakteristik mendekati grafit. Hasil identifikasi menggunakan EDS pada CNi menunjukkan unsur C sebesar 85,380 % massa, unsur O sebesar 4,324 % massa, dan unsur Ni sebesar 10,296 % massa. Pada material CNi-HCl terdapat kenaikan massa dimana unsur C yaitu 95,525 %, unsur O sebesar 3,820 % massa dan massa pada unsur Ni menjadi lebih rendah yaitu 0,655 %.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Arvay, E. Yli-Rantala, Koski, L.Cindrella, P. A. Arvay, E. Yli-Rantala, C.-H. Liu, X.-H Peng, P. Koski, L.Cindrella, P. Kauranen, P. M Wilde & A.M. Kannan. "Characterization techniques for gas diffusion layers for proton exchange membrane fuel cell – A review." *Journal of Power Sources* 213 (2012): 317-337.
- Bourke, J., Manley-Harris, M., Fushimi, C., Dowaki, K., Nunoura, T., and Antal, M. J., 2007. Do All Carbonized Charcoals Have the Same Chemical Structure 2. A Model of the Chemical Structure of Carbonized Charcoal. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 46 (18), 5954-5967.
- Destyorini, F., Suhandi, A., Subhan, A., dan Indayaningsih, N. (2010). Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Arang Serabut Kelapa. *Jurnal Fisika*, 123.
- Han, M., J.H. Xu, S.H. Chan, S.P. Jiang. "Characterization of gas diffusion layers for PEMFC." *Electrochimica Acta* 53 (2008) : 5361-5367.
- Hasyim, U. H., dan Fitriyano, G. (2017). Pengaruh Konsentrasi HCL dan Adsorben dalam Pengolahan Limbah Pelumas Bekas dengan Kajian Keseimbangan Adsorpsi Bentonit Terhadap Logam Fe. *Jurnal Integrasi Proses*, 193.
- Hoekstra, J., Beale, A. M., Soulimani, F., Versluijs-Helder, M., Geuss, J. W., & Jennekens, L. W. (2015). Base Metal Catalyzed Graphitization of Cellulose: A Combined Raman Spectroscopy, Temperature-Dependent X-ray Diffraction and High-Resolution Transmission Electron Microscopy Study. *The Journal Of Physical Chemistry*, 10654.
- Indayaningsih N. Pembuatan gas diffusion layer dari karbon serabut kelapa dan tendon kosong kelapa sawit untuk elektroda proton exchange membrane fuel cell. Disertasi: Program Doktor Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2013.
- J.Sa'nchez-Gonza'lez, A. Meci'as-Garcia, M.F. Alexandre-Franco, & V. Go'mez-Serrano. "Electrical conductivity of carbon blacks under compression." *Carbon* 43 (2005): 741-747.
- Lisdiana, A., dan Onggo, D. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Nikel (II) Klorida 1H-1,2,4-Triazol. *Prosiding SNIPS* (p. 286). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Liu, Y., et al., *Highly porous graphitic materials prepared by catalytic graphitization*. *Carbon*, 2013. 64(0):p.132-140.
- Marsh, H., Rodriguez, dan Reinoso, F. (2006). *Activated Carbon*. Netherlands: Elsevier Science dan Technology Books.
- Mochidzuki, K. et al, "Electrical and Physical Properties of Carbonized Charcoals." *Ind. Eng. Chem. Res.* 42 (2003): 5140-5151.
- Pari, G. "Kajian Struktur Arang Aktif dari Serbuk Kayu sebagai Absorben Fomaldehida Kayu Lapis." Disertasi Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 2004.
- Priyotomo, G. "Perubahan Struktur Kristal Material Berbasis Karbon terhadap Sifat Konduktifitas." *Jurnal Metalurgi*, vol. 22, No. 1 (Juni 2007).
- Rampe, M.J., Setiaji, B., Trisunaryanti, W. & Triyono. 2010. The Effect of Temperature on the Crystal Growth of Coconut Shell Carbon, *Proceeding*, The third Intemational Conference and Natural Sciences (ICMNS) ITB Bandung, 276-284.
- Rampe, M.J., Setiaji, B., Trisunaryanti, W. & Triyono. 2011. Fabrication and Characterization of Carbon Composite from Coconut Shell Carbon, *Indo. J. Chem.* 11, 124-130.
- Rampe, M.J., Setiaji, B., Trisunaryanti, W. & Triyono. 2011b. Effect of Carbonization Temperature on Physical Properties of Coconut Shell Carbon, *Proceedings*, The International Conference on Basic Science (ICBS) UB Malang, 555-559.
- Rampe, M.J., Tiwow, V.A. & Rampe, H.L., 2013, Potensi Arang Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa Sebagai Material Karbon. *J. Sainsmat*, 191-197.
- Savitri, Nugraha, A. S., dan Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam dan Katalis Basa untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Valensi*, 2.
- Tae-Hwan, K., Lakshmi, S.J., Seok-Jin & Dong, K.J. 2002. The Pore Mouth Tailoring of Coal and Coconut Char Through Acid Treatment Followed by Coke Deposition, *J. Porous Mat.* 9, 279-286.
- Triyono. (1994). *Kimia Fisika. Dasar-dasar Kinetika dan Katalis*. Depdikbud Dirjen Pendidikan Tinggi.
- Wang, T., Tan, S., dan Liang, C. (2009). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Wood

- via Microwave-induced ZnCl Activation. *Carbon*, 1867-1885.
- Yin, Y., Zhang, J. & Sheng, C. 2009. Effect of Pyrolysis Temperature on the Char Micro-Structure and Reactivity of NO Reduction, *Korean J. Chem. Eng.* 26, 895-901
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., dan Jakar, A. K. (2016). Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempunung terhadap Nilai Konduktivitas. *Jurnal Santika*, 533.
- Zhai, D., et al., *Porous graphitic carbons prepared by combining chemical activation with catalytic graphitization*. *Carbon*, 2011. 49(2): p. 725-729.
- Zhang, X., Zhang, K., Li, H., Wang, Q., Jin, L., dan Cao, Q. (2018). Synthesis of Porous Graphitic Carbon from Biomass by One-Step Method and Its Role in the Electrode for Supercapacitor. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2.