

KARAKTERISTIK ARANG AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT YANG DIIMPREGNASI LOGAM NIKEL SEBAGAI KATALIS (*Characteristics of Empty Fruit Bunches Activated Charcoal Impregnated with Nickel-Metal as a Catalyst*)

Rina Novia Yanti^{1*}, Erliza Hambali², Gustan Pari³, dan Ani Suryani²

¹Fakultas Kehutanan, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai Pekanbaru, Telp. (0761) 54092

²Sekolah Pasca Sarjana, IPB

Gd. Fateta Lt. 2, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Telp. (0251) 8621974

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Telp. (0251) 8633378, Faks. (0251) 8699413

*E-mail: rina.fahatan@gmail.com

Diterima 28 September 2017, direvisi 17 Juni 2020, disetujui 29 Juni 2020

ABSTRACT

Activated charcoal from biomass can be used for various applications because its high porosity. One of the utilization for activated charcoal as catalyst raw material from empty palm oil bunches. This study aimed to determine the characteristics of activated charcoal with nickel (Ni) impregnation as catalyst raw material in the upgrading bio-oil. Activated charcoal used 10%, 15%, and 20% H₃PO₄ was immersed for 24 hours, and calcinated at temperature of 750°C with steam activation time for 60 minutes. The optimum of the manufacturing of activated charcoal with 10% H₃PO₄, then impregnated with nickel in various concentration: 1%, 2%, and 3%. Results showed the characteristic of nickel impregnated activated charcoal were as follows: iodine absorbance capacity 554–756 mg/g, methylene blue absorbance capacity 38–90 mg/g, surfaces area 96–218 m²/g and pore diameter of 8.48–16.21 micron meter.

Keywords: Activated charcoal, empty fruit bunches, nikel, catalyst

ABSTRAK

Arang aktif yang berasal dari biomassa dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, karena memiliki porositas yang tinggi. Salah satu pemanfaatan arang aktif adalah sebagai bahan baku katalis. Arang aktif dalam penelitian ini berasal dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik arang aktif yang diimpregnasi logam Nikel (Ni) sebagai bahan baku katalis dalam proses upgrading bio oil. Aktivasi arang TKKS menggunakan larutan asam fosfat (H₃PO₄) dengan konsentrasi 10%, 15%, dan 20% yang direndam selama 24 jam, dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 750°C dan steam uap selama 60 menit. Aktivasi terbaik dari arang aktif menggunakan asam fosfat 10%, selanjutnya diimpregnasi logam nikel dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3%. Hasil karakteristik arang aktif impregnasi logam nikel adalah daya serap iodin 554–756 mg/g, daya serap metilen biru 38–90 mg/g dan luas permukaan 96–218 m²/g dengan diameter pori 8,48–16,21 mikron meter.

Kata kunci: Arang aktif, nikel, katalis, tandan kosong kelapa sawit

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terluas di dunia mencapai 11,30 juta ha, dan pada tahun 2016 meningkat menjadi 11,67 juta ha (Dirjen Perkebunan, 2014). Provinsi Riau sebagai daerah yang memiliki lahan perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia menghasilkan kurang lebih 7.841.947 ton tandan buah segar dengan limbah TKKS berdasarkan hasil perhitungan data sekunder 2017 mencapai 3.332.827,48 ton. Tandan buah segar per ton setelah diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) akan menghasilkan limbah TKKS sebesar 21%, cangkang 6,4%, fiber 14,4%, (Hambali, 2010).

Limbah biomassa dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan energi terbarukan, untuk kompos dan bisa juga dijadikan sebagai arang aktif. Arang aktif adalah arang yang diproses melalui aktivasi fisika dan kimia menggunakan bahan yang bersifat asam maupun basa, dan menggunakan suhu tinggi serta uap panas, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih luas dan mampu melakukan absorpsi (Choi, Oh, Lee, & Kim, 2015). Penelitian Rasidi, Putra, dan Suarsa (2015), yaitu arang aktif tempurung kelapa yang diimbangkan dengan nikel untuk hidrogenasi asam lemak minyak kelapa, penelitian lain dengan menggunakan arang aktif tersulfonasi untuk hidrolisis selulosa (Anggoro, Purwanto, & Rispandi, 2014).

Katalis adalah bahan yang digunakan untuk mempercepat reaksi yang bersifat efektif, mempunyai selektifitas dan daya tahan yang cukup baik dalam kondisi ekstrem seperti pada kondisi suhu yang tinggi. Untuk meningkatkan efektivitas katalis, senyawa penyangga sangat dibutuhkan, dengan banyaknya situs aktif dari senyawa penyangga, maka aktivitas katalis akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan situs aktif. Mochida et al. (2006) menyebutkan bahwa keuntungan arang aktif sebagai *support* katalis adalah tahan terhadap asam dan basa, tahan dengan tekanan dan temperatur tinggi, bersifat *inert* dan mudah didaur ulang. Penyangga katalis bersifat sebagai situs aktif yang dapat memperluas permukaan katalis, sehingga aktivitas katalis akan meningkat. Salah satu senyawa yang digunakan adalah logam nikel

yang diimbangkan pada arang aktif (Viswanathan, 2009). Katalis Ni-arang aktif dapat dibuat dengan cara impregnasi basah senyawa prekursor logam nikel berupa garam netral, dengan tujuan untuk memaksimalkan efektivitas katalis, dan agar bisa dipakai berulang. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh data sifat arang aktif yang diimpregnasi logam nikel sebagai katalis.

II. BAHAN DAN METODE

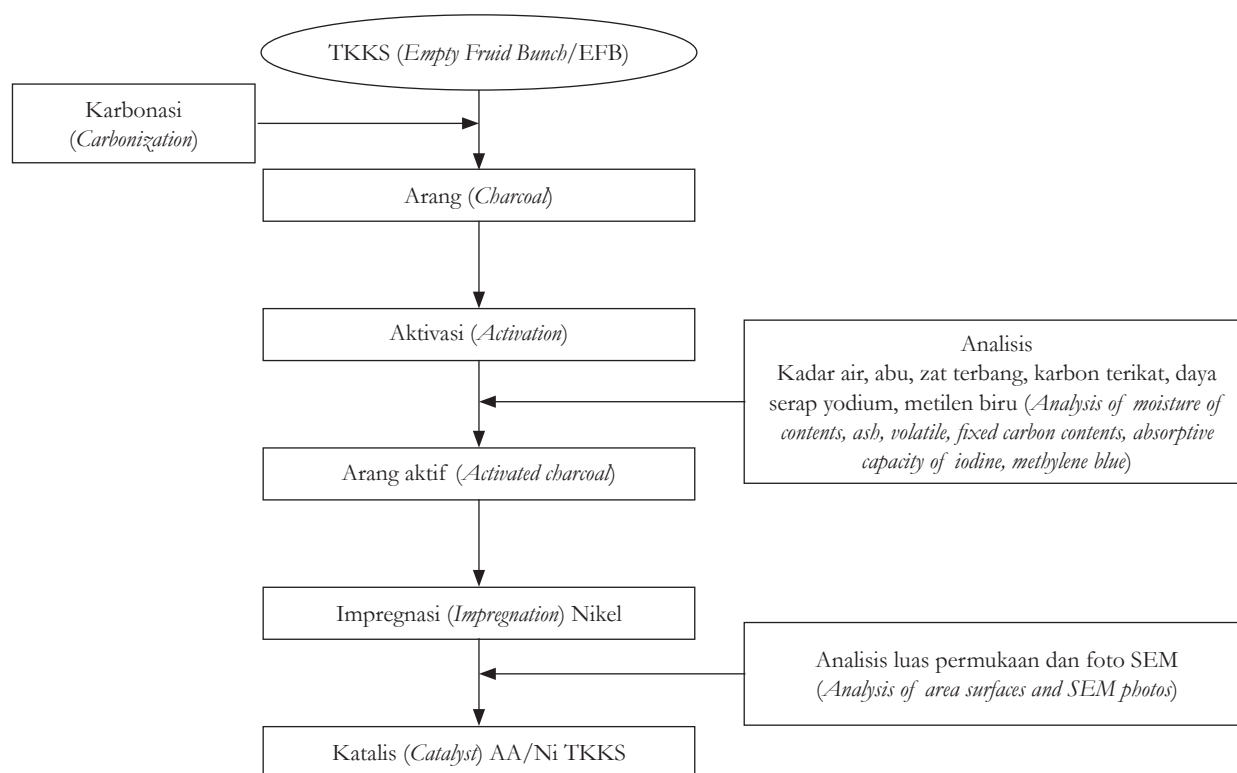
A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari Provinsi Riau, bahan kimia yang digunakan adalah asam fosfat (H_3PO_4), larutan biru metilen, larutan yodium, logam nikel (Ni) yang terdapat dalam larutan garam nitrat heksahidrat ($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), dan aquades. Alat yang digunakan adalah retort pengarang, oven, desikator, mortal, saringan halus 100 mesh, retort arang TKKS, neraca analitik, gelas piala, erlemeyer, labu ukur, pipet volumetrik, pipet tetes, magnetik stiren, *hot plate*, foto SEM Merk zeiss type evo 50, dan X-Ray Difraktometer merk Shimadzu XRD- 700.

B. Metode Penelitian

1. Aktivasi Arang TKKS

Tandan kosong kelapa sawit yang sudah kering udara (KA 12%) diarangkan dalam retort destilasi dengan suhu 400–500°C selama 5 jam (Chuenklang, Thungton, & Vitidsant, 2002). Retort didinginkan selama 24 jam dan arang diambil. Arang TKKS diaktifasi menggunakan metode kimia, yaitu dengan merendam arang dalam larutan asam fosfat (H_3PO_4) dengan variasi 10%, 15%, dan 20% selama 24 jam, setelah itu arang dicuci dan ditiriskan. Arang hasil perendaman dimasukkan ke dalam reaktor yang dipanaskan pada suhu 750°C, setelah suhu tercapai reaktor dialiri uap panas selama 60 menit, didinginkan dan diperoleh arang aktif. Arang aktif yang dihasilkan dianalisis berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730, 1995) yang meliputi analisis proksimat (kadar air, kadar abu, kadar zat terbang), daya serap iod, dan daya serap metilen biru.



Gambar 1. Diagram proses pembuatan arang aktif tandan kosong kelapa sawit yang diimpregnasi dengan katalis Ni

Figure 1. Diagram of the process activated charcoal empty fruit bunches impregnated using Ni catalyst

2. Impregnasi Logam Nikel (Ni)

Arang aktif dengan aktifator yang optimal hasil pengujian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730,1995), dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu impregnasi katalis logam nikel ke dalam arang aktif dengan metode impregnasi basah. Arang aktif sebanyak 50 g ditambahkan logam nikel yang terkandung dalam larutan garam nitrat hexahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasasi 1% (2,476 g), 2% (4,953 g), 3% (7,429 g) dilarutkan dalam 50 ml aquades, kemudian di-reflueks sambil diaduk dengan magnetik stirer pada suhu 80°C selama 90 menit (Ginting, 1997). Hasil proses reflueks dikeringkan dengan oven pada suhu $102 \pm 3^\circ\text{C}$ selama 12 jam. Arang aktif impregnasi logam nikel (AA/Ni) kering oven selanjutnya dikalsinasi pada suhu 500°C . Arang hasil impregnasi diuji karakteristiknya meliputi daya serap iod, daya serap metilen biru, luas permukaan dan analisis foto SEM untuk melihat morfologi perubahan arang aktif setelah diimpregnasi dengan logam nikel dan analisa XRD untuk konfirmasi bahwa Ni logam sudah “terikat” dalam arang aktif.

C. Analisis Data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) 2 kali ulangan. Data dianalisis dengan sidik ragam dan uji lanjut Duncan melihat konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) yang paling berpengaruh dalam pembentukan arang aktif (Mattjik & Sumertajaya, 2000), sedangkan untuk karakteristik arang aktif impregnasi nikel dibandingkan dengan parameter uji di SNI 06-3730 (1995).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit

Karakteristik arang aktif TKKS seperti kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, daya serap iod, dan daya serap metilen biru disajikan pada Tabel 1.

1. Kadar Air

Kadar air arang aktif TKKS hasil penelitian relatif kecil yaitu 5–6% jika dibandingkan dengan standar (SNI 06-3730,1995), namun demikian

Tabel 1. Karakteristik arang aktif tandan kosong kelapa sawit
Table 1. The Characteristic of empty fruit bunches activated charcoal

Karakteristik (<i>Characteristic</i>)	H ₃ PO ₄ 10%	Perlakuan (<i>Treatment</i>)	H ₃ PO ₄ 20%	(SNI 06-3730, 1995)
KA (<i>Moisture content, %</i>)	5	5	6	4,5–15
Kadar karbon terikat (<i>Bonded carbon content, %</i>)	66	78	77	≥65
Kadar abu (<i>Ash content, %</i>)	14	16	16	≥10
Yodium (<i>Iodine, mg/g</i>)	756	554	556	≥750
Metilen biru (<i>Methylen blue, mg/g</i>)	90	54	38	≥60

kadar air ini masih masuk standar. Tinggi rendahnya kadar air arang aktif yang dihasilkan sesuai dengan sifat higroskopis yang dimiliki oleh bahan baku yang berasal dari TKKS, di mana saat pendinginan pada proses karbonisasi uap air dari udara terserap oleh pori arang aktif. Kadar air yang rendah dari arang aktif disebabkan oleh permukaan arang aktif yang mengandung gugus fungsi polar lebih sedikit, sehingga interaksi uap yang bersifat polar tidak maksimal (Pari, 2008).

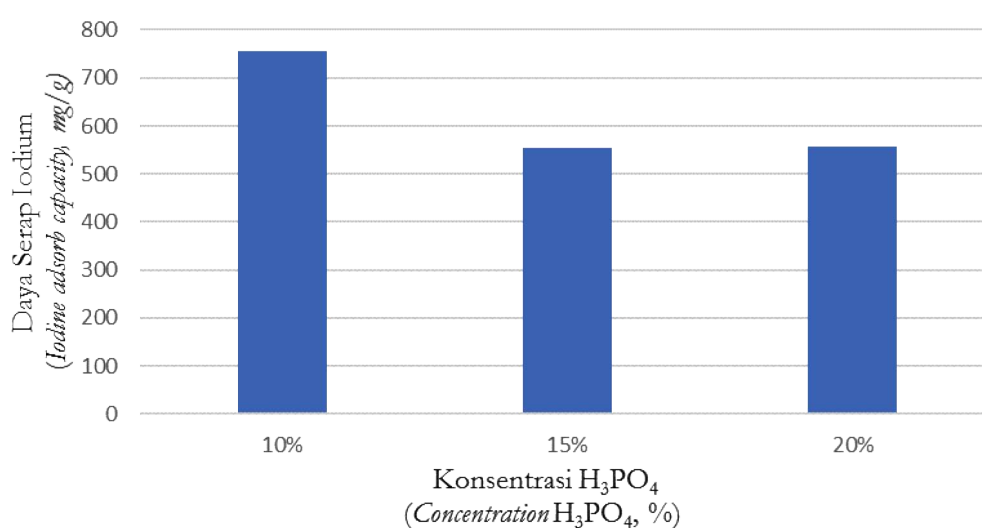
2. Kadar Abu

Kadar abu arang aktif dapat menentukan tinggi rendahnya daya serap arang jika diaplikasikan untuk berbagai keperluan. Kadar abu hasil penelitian ini yaitu 14–16%, lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar abu arang aktif tempurung kemiri sunan yang berkisar 20,34–46,85% (Hendra, Gusti, & Komaryati, 2014).

Tingginya kadar abu disebabkan oleh adanya kontak dengan udara luar pada saat proses pembakaran lebih lanjut di mana arang aktif yang terbentuk sebagian berubah jadi abu. Selain itu pada saat aktivasi pembentukan porositas terhambat karena pori-pori arang tertutup oleh berbagai unsur mineral yang terkandung seperti Kalium, Natrium, Kalsium, Magnesium sehingga kinerja arang aktif berkurang (Syafii & Pari, 2012; Saptadi, 2014).

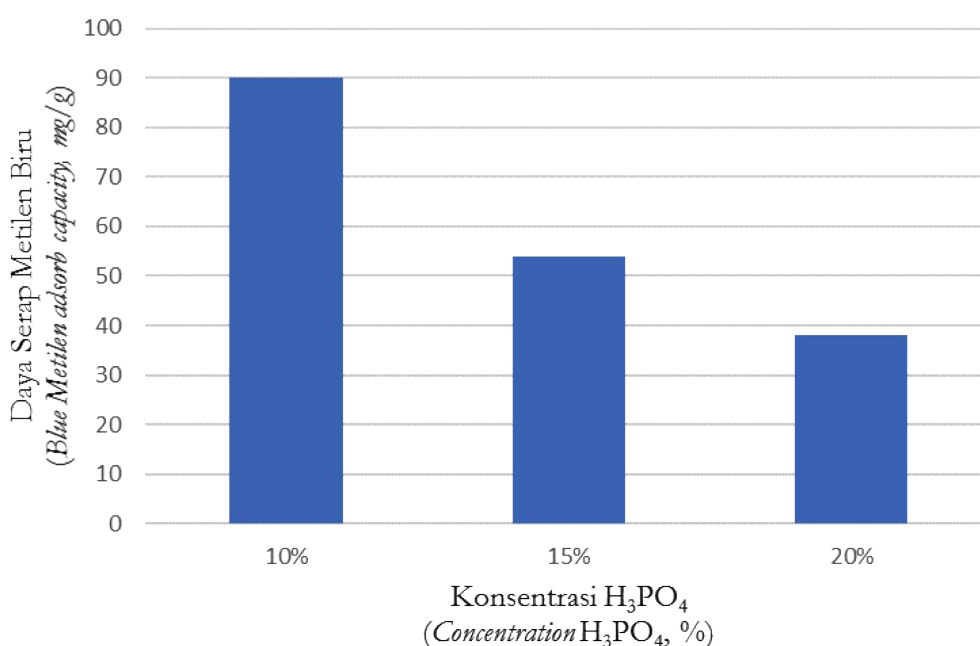
3. Kadar Karbon Terikat

Nilai karbon terikat yang diaktivasi dengan suhu 750°C dan uap selama 60 menit berada pada kisaran 66–77%, persentase terendah terdapat pada aktivasi asam fosfat 10% dan tertinggi dengan aktivasi 20% asam fosfat. Secara umum persentase karbot terikat masih masuk ke dalam SNI 06-3730 (1995), yaitu minimum 65%.



Gambar 2. Nilai daya serap yodium (mg/g) arang aktif TKKS pada berbagai konsentrasi H₃PO₄

Figure 2. Iodine absorption capacity (mg/g) of empty fruit bunches activated charcoal in various H₃PO₄ concentration



Gambar 3. Nilai daya serap metilen biru (mg/g) arang aktif TKKS pada berbagai konsentrasi H_3PO_4

Figure 3. Blue metilen capacity (mg/g) of empty fruit bunches activated charcoal in various H_3PO_4 concentration

4. Daya Serap terhadap Yodium

Pengukuran daya serap arang aktif terhadap yodium dilakukan untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 10 Å atau 1 nm. Semakin tinggi hasil pengukuran daya serap yodium maka arang aktif yang dihasilkan semakin baik untuk aplikasi sebagai adsorben (Yue, Economy, & Mangun, 2003). Penyerapan yodium dan metilen biru berkorelasi dengan luas permukaan arang aktif karena berhubungan dengan kemampuan arang aktif dalam mengadsorpsi larutan atau substrat (Hartanto & Ratnawati 2010), dalam penelitian ini diharapkan arang aktif bisa maksimal dalam menyerap unsur nikel. Hasil pengukuran daya serap yodium dalam penelitian ini adalah 554–756 mg/g (Gambar 2). Penyerapan yodium yang masuk standar SNI hanya perlakuan aktivasi arang TKKS dengan konsentrasi asam fosfat 10%, yaitu 756 mg/g. Rendahnya penyerapan yodium oleh arang aktif disebabkan oleh terbentuknya oksida logam dari hasil interaksi H_3PO_4 dengan tungku aktivasi, sehingga menutupi pori-pori arang aktif (Wibowo, Syafii, & Pari, 2011).

5. Daya Serap Metilen Biru

Daya serap metilen biru hasil penelitian ini adalah 38–90 mg/g, nilai tertinggi penyerapan metilen biru pada perlakuan aktivasi menggunakan H_3PO_4 10% sudah masuk dalam parameter SNI 06-3730 (1995), yaitu 60 mg/g. Sama halnya dengan daya serap bilangan yodium dengan perlakuan H_3PO_4 10% memiliki nilai tertinggi sebesar 756 mg/g yang memenuhi SNI 06-3730 (1995).

Berdasarkan hasil analisis ragam didapatkan bahwa perlakuan aktivasi menggunakan asam fosfat yang berpengaruh nyata terhadap kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, daya serap iod, dan metilen biru. Dari hasil uji lanjut Duncan didapat bahwa aktivasi menggunakan asam fosfat 10% diperoleh karakteristik kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, daya serap iod, dan metilen biru yang optimal.

B. Karakteristik Arang Aktif TKKS Impregnasi Logam Nikel (AA/Ni)

Penelitian ini menggunakan arang aktif sebagai pengemban katalis, salah satu jenis katalis adalah *metal supported catalyst* (MSC) yang terdiri dari logam yang diimbakan pada pengemban

Tabel 2. Luas permukaan katalis dan ukuran diameter pori AA/Ni TKKS**Table 2. Surface area of catalyst and pore diameter size AA/Ni TKKS**

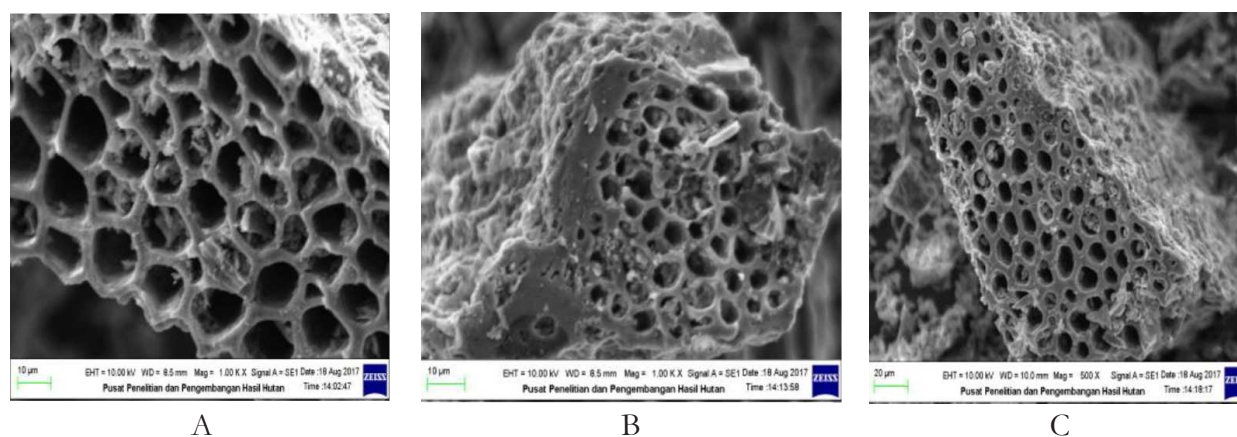
No.	Sampel (Sample)	Luas Permukaan (Surface area, m ² /g)	Diameter pori (Pore diameter size, μ)
1.	Arang aktif/Ni 1% (Activated charcoal 1%)	96,23	10,27–16,21
2.	Arang aktif/Ni 2% (Activated charcoal 2%)	151,76	8,48–10,05
3.	Arang aktif/Ni 3% (Activated charcoal 3%)	218,38	10,05–14,25

padat seperti silika alumina, alumina, zeolit, dan arang aktif. MSC yang digunakan dalam penelitian ini adalah nikel yang diimpregnasi ke arang aktif TKKS pada saat digunakan sebagai katalisator. Nikel adalah logam transisi yang bisa digunakan secara langsung menjadi katalis, tetapi memiliki kelemahan, yaitu luas permukaan yang relatif kecil dan terjadi penggumpalan selama proses katalitik (Michael, Bradford, & Vannce, 1996; Viswanathan, 2009).

Untuk mengatasi hal tersebut maka nikel harus diimbangkan ke arang aktif yang mempunyai kelebihan permukaan yang luas dan memiliki pori. Arang aktif TKKS dengan aktifator asam fosfat 10% diaktifasi pada suhu 750°C dan di *steam* selama 60 menit. Arang aktif sebagai *support* katalis akan memiliki sifat tahan terhadap asam dan basa, tahan dengan tekanan dan temperatur tinggi, bersifat *inert* dan mudah didaur ulang. Penyangga katalis bersifat sebagai situs aktif yang dapat memperluas permukaan katalis, sehingga aktivitas katalis akan meningkat. Katalis

yang digunakan adalah logam nikel, katalis arang aktif logam nikel dapat dibuat dengan cara impregnasi logam nikel yang terdapat dalam larutan garam nitrat hexahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Variasi perlakuan impregnasi adalah 1%, 2%, 3% logam Nikel. Hasil impregnasi arang aktif TKKS dengan logam nikel (AA/Ni TKKS) dianalisis karakteristik pola struktur permukaan pori AA/Ni TKKS. Hasil analisis luas permukaan yang disajikan pada Tabel 2 memperlihatkan semakin besar persentase impregnasi Nikel maka semakin luas permukaannya dengan luas optimal 218,38 m²/g. Hasil penelitian ini memiliki luas permukaan yang lebih luas bila dibandingkan dengan hasil penelitian Rasidi (2015) sebesar 21,90 m²/g.

Ukuran diameter berbanding terbalik dengan luas permukaan AA/Ni TKKS, di mana semakin tinggi persentase impregnasi Nikel, maka semakin kecil ukuran diameter pori. Ukuran diameter pori terpanjang adalah impregnasi Nikel 1% yaitu 16,25 μ. Untuk impregnasi 2%



Gambar 4. Foto SEM impregnasi arang aktif logam Nikel (A) AA/Ni 1 %, (B) AA/Ni 2 %, (C) AA/Ni 3 %

Figure 4. Photo SEM photos of activated charcoal impregnation Nikel (A) AA/Ni 1 %, (B) AA/Ni 2 %, (C) AA/Ni 3 %.

Tabel 3 Nilai kristalinitas arang aktif impregnasi Nikel
Table 3 Nickel cystallinity value of activated charcoal impregnation

No.	Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Nilai Kristalinitas (<i>Cystallinity value, %</i>)
1.	AA	24,49
2.	AA/Ni 1 %	27,45
3.	AA/Ni 2 %	44,46
4.	AA/Ni 3 %	40,99

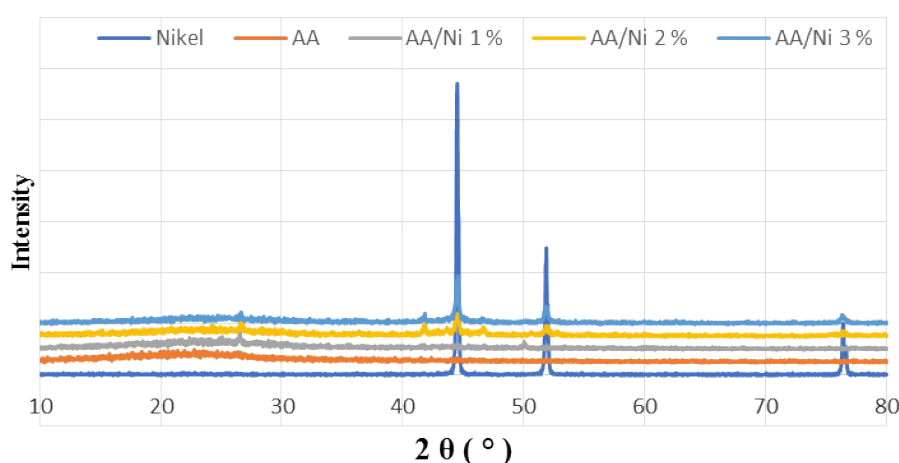
dan 3% terjadi penurunan ukuran pori yang lebih kecil, dinding pori yang semakin tebal, hal ini disebabkan pengembangan logam dapat memperkecil ukuran pori karena proses oksidasi dan kalsinasi (Efyanti, 2010).

Gambar 3 hasil foto SEM memperlihatkan adanya penebalan dinding pori arang aktif impregnasi logam nikel, di mana impregnasi logam nikel 3% memperlihatkan adanya penebalan dinding pori, dibandingkan dengan impregnasi logam nikel 1% dan 2% yang bisa diamati secara visual. Sebaliknya impregnasi logam nikel akan meningkatkan luas permukaan arang aktif, semakin besar konsentrasi logam nikel yang diimpregnasi ke arang aktif TKKS akan memperbesar luas permukaan arang aktif sebagai katalis. Terjadinya peningkatan luas permukaan dan penurunan ukuran pori dengan variasi impregnasi logam nikel pada penelitian ini mengindikasikan terikatnya logam nikel pada arang aktif TKKS yang menempati suatu pori secara merata maupun berkelompok, sehingga luas permukaan dapat meningkat dan sebagian atom-atom nikel menempel pada dinding pori dan membuat jari-jari pori mengecil. Hal ini

sesuai dengan tujuan pengembangan logam nikel, yaitu memperbesar luas permukaan suatu padatan dan akhirnya memperluas permukaan katalis, sehingga bisa meningkatkan aktivitas katalis AA/Ni TKKS.

C. Nilai Kristalinitas Arang Aktif

Analisis dengan difraksi sinar X bertujuan untuk memberikan informasi perubahan struktur mikro yang terjadi pada arang aktif dan arang aktif yang diimpregnasi logam Ni. Pengamatan terjadinya perubahan struktur bisa dilihat dari sudut 2θ yang terbentuk serta ketajaman puncak grafik seperti Gambar 4. Perubahan difraksi sinar X pada arang aktif setelah diimpregnasi dengan logam Ni 2% menunjukkan adanya puncak-puncak baru yang mulai terlihat pada sudut $2\theta = 20,654^\circ$; $44,522^\circ$; $45,313^\circ$; $46,697^\circ$ yang menggambarkan kristalinitas dari struktur arang aktif impregnasi nikel. Daerah kristalinitas digambarkan seperti adanya tangkapan puncak yang menyempit dan tajam sedangkan daerah dengan puncak yang melebar merupakan daerah amorf. Arang aktif dengan impregnasi Ni 2% memperlihatkan puncak-puncak yang tajam, hal



Gambar 5. Hasil XRD arang aktif yang diimpregnasi dengan logam nikel
Figure 5. XRD results of activated charcoal impregnated with nickel-metal

ini menandakan bahwa Ni tidak hanya menempel pada permukaan arang aktif, tetapi Ni sudah masuk ke dalam struktur arang aktif.

Terbentuknya puncak baru dengan sudut 2θ yang tajam menggambarkan bahwa telah terjadi perubahan daerah amorf menjadi daerah kristalin, yang menandakan logam Ni yang diimpregnasi telah masuk ke dalam pengemban, yaitu arang aktif. Jika dibandingkan dengan sudut 2θ nikel, maka impregnasi nikel ke dalam arang aktif sudah kelihatan pada sudut $2\theta = 20,654^\circ$. Semakin meningkat nilai kristalinitas berarti semakin baik sintesis katalis AA/Ni yang dibuat (Lee, Nowacka, Yuan, Park, & Yang, 2015). Pola hasil analisis XRD tidak sepenuhnya terlihat terbentuknya daerah kristalin yang sempurna tergantung pada kualitas sudut tembak 2θ (Nobrega, Polo, Benedetti, Leao, & Santana, 2013).

IV. KESIMPULAN

Perlakuan arang aktif dengan aktifator asam fosfat yang memenuhi SNI adalah arang aktif TKKS dengan konsentrasi asam fosfat 10% dengan daya serap iod 756 mg/g dan daya serap metilen biru 90 mg/g. Impregnasi logam nikel ke dalam arang aktif mampu meningkatkan luas permukaan yang optimal pada konsentrasi 3%, yaitu 218,38 m²/g dan meningkatkan nilai kristalinitas yang optimal pada konsentrasi 2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan pendidikan tinggi melalui hibah disertasi doktor dengan nomor kontrak LPPM 100/Unilak-LPPM/B.07/2017, Universitas Lancang Kuning, *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) IPB dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor atas fasilitas laboratorium.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh RNY dan GP; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh RNY; pengumpulan data dan analisis data dilakukan

oleh RNY, EH, GP dan AA; penulisan manuskrip oleh RNY dan GP; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh RNY, EH, GP, dan AA.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro P., Purwanto, & Rispiandi. (2014). Hidrolisis selulosa menjadi glukosa dengan katalis heterogen arang aktif tersulfonasi. *Reaktor*, 15(2), 126-131.
- Choi, G.G., Oh, S.J., Lee, S.J. & Kim S.J. (2015). Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and bio-char derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. *Bioresource Technology*, 179, 99-107.
- Chuenklang, P., Thungtong, S., & Vitidsant, T. (2002). Effect of activation by alkaline solution on properties of activated carbon from rubber wood. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 12(1), 29-38.
- Dirjen Perkebunan (2014). Statistik perkebunan Indonesia kelapa sawit 2013-2015. Jakarta.
- Efiyanti, L. (2010). *Preparasi, karakterisasi dan uji katalis NiO/Zeolit alam aktif dan NiO/Zeolit Y dalam reaksi hidrogenasi minyak kulit jambu mete* (Thesis). Program Magister, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Ginting, M. (1997). *Preparasi katalis nikel-zeolit untuk reaksi hidrogenasi asam lemak tidak jenuh dalam minyak kelapa*. (Thesis). Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Hambali, E. (2010). Peran teknologi proses dalam pengembangan agroindustri industri hilir kelapa sawit. (Orasi Ilmiah Guru Besar). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hartanto, S., & Ratnawati. (2010). Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan metode aktivasi kimia. *Sains Materi Indonesia*, 12(10), 12-16.
- Hendra, D., Gusti, R.E.P., & Komaryati, S. (2014). Pemanfaatan limbah tempurung kemiri sunan (*Aleurites trisperma*) sebagai bahan baku pada pembuatan arang aktif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(4), 271-282.

- Lee, I.G., Nowacka, A., Yuan, C.H., Park, S.J., Yang, J.B. (2015). Hydrogen production by supercritical water gasification of valine over Ni/activated charcoal catalyst modified with Y, Pt, and Pd. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(36), 12078-12087.
- Mattjik, A.A., & Sumertajaya, M. (2000). *Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab*. (Jilid I). Bogor: IPB Press.
- Michael, C.J., Bradford, M., & Vannce, A. (1996.) Reforming of metal with carbon dioxide over nickel catalyst. *Applied catalysis A: General*, 142, 73-96.
- Mochida, I., Yoon, S.H., & Qiao, W. (2006). Catalysts in synthesis and carbon precursors. *Chemical Society*, 17(6), 1059-1073.
- Nobrega, B.F.F., Polo, A.N.B., Benedetti Am, Leao, M.M.D., & Santana, V.A.M.A. (2013). Evaluation of photocatalytic activities of supported catalysts on NaX zeolite or activated charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 263, 61-66.
- Pari, G., Hendra, D., & Pasaribu, R.A. (2008). Peningkatan mutu arang aktif kulit kayu mangium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26(3), 214-227.
- Rasidi, M., Putra, A.A.B., & Suarsa, I.W. (2015). Preparasi katalis nikel-arang aktif untuk reaksi hidrogenasi asam lemak tidak jenuh dalam minyak kelapa. *Jurnal Kimia*, 9(1), 77-85.
- Saptadi, D. (2014). *Karbon aktif dari biomassa hutan melalui proses karbonisasi bertingkat: Pirolisis, hidrotermal dan aktivasi* (Disertasi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1995). Briketarang kayu (SNI 06-3730-1995). Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- Viswanatha, B., Neel, P., & Varadarajan, T.K. (2009). *Methods of activation and specific application of carbon material*. Department of Chemistry, Indian Insitute of Technology, Madras.
- Wibowo, S.W., Syafii, W., & Pari, G. (2011). Karakteristik permukaan arang aktif tempurung biji Nyamplung. *Makara Teknologi*, 15(1), 17-24.
- Yue, Z., Economy, J., & Mangun, C.L. (2003). Preparation of fibrous-porous materials by chemical activation 2. H₃PO₄ activation of polymer coated fibres. *Carbon*, 41, 1809-1817.

