

KARBON AKTIF DARI LIMBAH DAUN JATI MENGGUNAKAN AKTIVATOR LARUTAN KOH

Yusril Wahyu Hydhayat^{1)*}, Much. Agung Sarifudin A. Rifai²⁾, Sani³⁾

^(1,2,3)Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60249, Indonesia
Penulis korespondensi: yusrilwahyu5@gmail.com

Abstrak

Daun jati belum banyak dilirik kegunaannya dan sebagian besar menjadi limbah padat. Limbah daun jati ini merupakan bahan yang berpotensi sebagai pembuatan karbon aktif karena mempunyai kandungan lignin+10%, selulose+28%, dan karbon organik+50%. Penelitian ini bertujuan untuk mencari konsentrasi aktivator serta waktu perendaman yang terbaik terhadap mutu atau kualitas karbon aktif daun jati. Selain itu, juga sebagai bahan alternatif pembuatan adsorben untuk keperluan berbagai industri. Proses pembuatan karbon aktif ini dimulai dengan memotong-motong daun jati hingga ukurannya mengecil. Kemudian limbah daun jati dipirolisis dengan temperatur 300°C selama 5 jam. Kemudian karbon didinginkan pada suhu kamar sekitar 28°C. Setelah dingin, karbon dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Karbon diaktivasi menggunakan KOH dengan variasi konsentrasi 0,5M; 1M; 1,5M; 2M; 2,5M dengan waktu perendaman selama 12, 16, 20, 24, dan 28 jam. Setelah melewati proses aktivasi, selanjutnya dilakukan filtrasi dan penetrasi pH dengan mencuci menggunakan aquadest, diikuti dengan pengeringan menggunakan oven selama 2 jam. Hasil terbaik yakni karbon aktif yang diaktivasi oleh KOH 2,5M dan waktu perendaman selama 20 jam dengan daya jerap terhadap iodine sebesar 774,151 mg/g, kadar air 7,0879%, kadar abu 33,2343%, kadar zat mudah menguap 35,3788% dan karbon terikat 24,299%.

Kata kunci: daun jati; kalium hidroksida; karbon aktif; pirolisis

ACTIVATED CARBON FROM TEAK LEAVES USING ACTIVATION OF KOH SOLUTION

Abstract

Teak have not been widely looked at for their uses and most of them become solid waste. This teak leaf waste is a material that has the potential to produce activated carbon because it contains lignin + 10%, cellulose + 28%, and organic carbon + 50%. This research was conducted to determine the concentration of activator and the best immersion time on the quality or quality of the activated carbon of teak leaves. In addition, it is also used as an alternative material for the manufacture of adsorbents for various industrial purposes. The process of making activated carbon begins with cutting the teak leaves to reduce their size. Then the teak leaf waste was pyrolyzed at a temperature of 300°C for 5 hours. Then the carbon is cooled at room temperature around 28°C. After cooling, the carbon was ground and sieved through a 60 mesh sieve. Carbon was activated using KOH with a concentration variation of 0.5; 1; 1.5; 2; and 2.5 M with soaking times for 12, 16, 20, 24, and 28 hours. After passing through the activation process, then filtration and pH neutralization were carried out by washing using aquadest. To obtain dry activated carbon, it is dried in an oven for 2 hours. The best results are activated carbon that is activated using 2.5M KOH with an immersion time of 20 hours with an absorption capacity of 774.151 mg/g of iodine, 7.0879% water content, 33.2343% ash content, 35.3788 volatile matter levels. % and fixed carbon 24.299%.

Keywords: activated carbon; potassium hydroxide; pyrolysis; teak leaves

PENDAHULUAN

Daun jati banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari dan sering digunakan oleh masyarakat sebagai pembungkus makanan. Jati tergolong dalam

pohon yang memiliki kemampuan menggugurkan daunnya saat musim kemarau untuk mengurangi penguapan. Sebagian besar, daun jati hanya dibiarkan sebagai limbah padat (Moeksin, dkk., 2017). Pada saat musim kemarau, rontokan daun jati tersedia

dalam jumlah cukup banyak, dimana hutan jati terluas berada di Pulau Jawa dengan luas area sebesar 1,000,534 hektar atau 67% dari hutan produksi di Pulau Jawa (Basuki dan Pramono, 2017).

Jati sendiri memiliki daun berbentuk elips, dimana daun yang muda memiliki warna coklat kemerahan. Daun jati memiliki ukuran yang panjangnya 23-40 cm dan lebarnya yaitu 11-21 cm (Basuki dan Pramono, 2017). Limbah daun jati berpotensi sebagai bahan baku yang dijadikan karbon aktif karena terdapat kandungan lignin $\pm 10\%$, selulose $\pm 28\%$, serta karbon organik $\pm 50\%$. Oleh karena kandungan karbon organik yang tinggi, limbah daun jati bisa dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Zulaechah, et al., 2018).

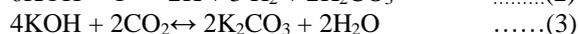
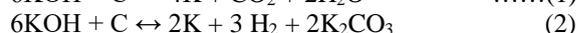
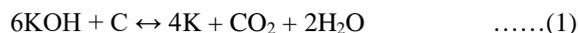
Industri karbon aktif sebagian besar memanfaatkan limbah perkebunan, pertanian, peternakan, dan pertambangan. Perkembangan industri karbon aktif membutuhkan teknologi yang mendukung industri tersebut agar dapat bersaing dengan produk luar negeri. Untuk memenuhi kepentingan tersebut, maka perlu dukungan sumber daya alam (SDA) untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik dan ekspor. Keuntungan dari pengembangan industri ini yaitu dapat memberikan nilai tambah untuk masyarakat, menciptakan lapangan pekerjaan; memajukan perekonomian pedesaan; meningkatkan *export* dan devisa. Produksi karbon aktif di Indonesia berkembang cukup baik. Pada tahun 2016, jumlah ekspor karbon aktif mencapai 31.376 ton per tahun. Pada tahun 2017 mengekspor sebanyak 31.650 ton per tahun. Pada tahun 2018 mengalami peningkatan ekspor hingga mencapai 46.390 ton per tahun. Di tahun 2019 jumlah ekspor hingga 46.765 ton per tahun, dan tahun 2020 sebesar 39.962 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2022). Permintaan per kapita negara-negara besar misalnya Amerika Serikat sebesar 0.4kg pertahun dan Jepang sekitar 0.2kg per tahun. Di pasar internasional harga karbon aktif mencapai US\$20 per kg (Arsad dan Hamdi, 2010).

Karbon aktif merupakan padatan berpori dan terbuat dari bahan yang mengandung *carbon* yang diproses khusus sehingga permukaannya yang aktif serta selektif dalam penggunaannya. Perlakuan khusus pada produksi karbon aktif seperti aktivasi secara fisik dan kimiawi dilakukan agar dapat membuka pori-pori pada bahan sehingga kapasitas penyerapannya lebih tinggi daripada karbon biasa. *Activated carbon* merupakan karbon amorf yang memiliki luas permukaan berkisar 300 hingga 2.000 m² per gram. Karena luas permukaannya yang besar maka karbon aktif memiliki kemampuan daya serap (Surest, dkk., 2008).

Pembuatan karbon aktif meliputi tahap dehidrasi, karbonisasi, serta aktivasi. Proses dehidrasi berfungsi mengurangi kandungan air yang terdapat pada bahan baku sehingga diperoleh dalam keadaan kering (Dahlan, dkk., 2013). Karbonisasi merupakan proses pemanasan dengan temperatur tertentu dengan

jumlah oksigen yang terbatas. Pada proses ini terjadi penguraian senyawa *organic* yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, tar, uap asam asetat, serta hidrokarbon. Aktivasi merupakan perlakuan terhadap karbon yang bertujuan membuka pori-pori dengan cara memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul pada permukaan sehingga luas permukaan semakin besar serta daya adsorpsinya semakin baik pula (Sembiring dan Sinaga, 2003). Aktivasi pada karbon dapat dijalankan dengan dua cara, diantaranya yaitu secara fisik dan kimiawi.

Aktivasi kimiawi dilakukan menggunakan bahan kimia sebagai zat aktivator dengan cara merendam karbon ke dalam larutan kimia. Aktifator sendiri merupakan senyawa atau zat kimia yang memiliki fungsi sebagai reagent pengaktif dan akan mengaktifkan atom karbon sehingga kemampuan daya serapnya menjadi lebih baik. Aktivator tersebut akan memasuki pori lalu membuka permukaan karbon yang tertutup (Dahlan, dkk., 2013). Zat aktivator yang sering digunakan antara lain ZnCl₂, KOH, NaCl, H₂SO₄, H₃PO₄, dan lain sebagainya. Salah satu bahan yang umum untuk dijadikan sebagai zat pengaktivasi yaitu KOH. Adapun reaksi kimia yang terjadi seperti pada persamaan 1, 2, dan 3:



Larutan KOH bereaksi dengan karbon sehingga akan membentuk pori, dan semakin banyak pori yang terbentuk, maka permukaan yang dihasilkan juga semakin besar pula (Sudibandriyo dan Lydia, 2011).

Pada penelitian ini, aktivasi yang digunakan yaitu secara kimia. KOH merupakan bahan kimia yang sering digunakan sebagai pengaktivasi dari logam alkali. Kalium Hidroksida bereaksi dengan *carbon* yang kemudian akan membentuk pori-pori baru serta karbondioksida yang berdifusi ke permukaan karbon. Pori-pori yang terbentuk akan menghasilkan karbon aktif. Kalium Hidroksida juga mencegah dalam pembentukan tar, asam asetat, methanol, dan lain sebagainya (Jamilatun dan Setyawan, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mencari konsentrasi *activator* dan waktu perendaman yang terbaik terhadap mutu atau kualitas dari karbon aktif daun jati.

METODE PENELITIAN

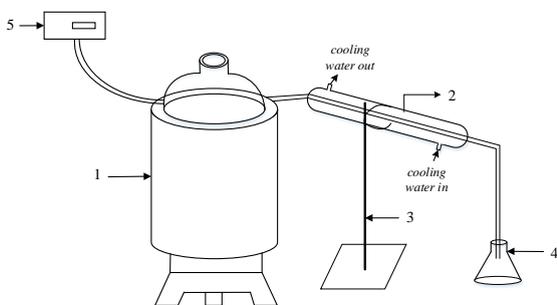
Bahan

Bahan yang diperlukan dalam pembuatan karbon aktif diantaranya limbah daun jati yang diperoleh dari lingkungan sekitar UPN "Veteran" Jawa Timur, Kalium hidroksida Merck, I₂ didapat dari toko Rofa Laboratorium Centre, Larutan Natrium

tiosulfat didapat dari toko Reina, Surabaya, Kalium iodida Merck, larutan amilum, dan aquadest.

Alat

Alat utama yang digunakan yaitu serangkaian alat pirolisis (Gambar 1). Adapun alat tambahan berupa alat titrasi.



Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Keterangan :

1. Alat pirolisis
2. Kondensor
3. Statif
4. Erlenmeyer
5. Thermo control

Prosedur

Tahap Persiapan

Limbah daun jati dipotong-potong sekitar 1-3 cm lalu dikeringkan dibawah terik matahari selama 3 hari untuk menghilangkan kandungan airnya.

Tahap Karbonisasi

Memasukkan 100 gram daun jati ke dalam alat pirolisis dengan suhu 300°C selama 5 jam. Setelah itu dinginkan karbon daun jati dan hancurkan karbon menggunakan mortar. Untuk mendapatkan ukuran yang seragam maka ditapis menggunakan ayakan 60 mesh.

Tahap Aktivasi

Menimbang 10 gram karbon daun jati untuk masing-masing perlakuan. Rendam karbon daun jati kedalam larutan aktivator dengan variasi 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5M dan perbandingan massa karbon dan volume aktivator 10gr:200ml (1:20). Waktu perendaman selama 12, 16, 20, 24, dan 28 jam. Hasil perendaman karbon daun jati disaring dengan menggunakan kertas saring. Kemudian cuci karbon daun jati dengan aquadest hingga pH netral, kemudian mengeringkan dengan oven dengan suhu 110°C hingga beratnya konstan. Karbon aktif yang sudah jadi dilakukan analisa bilangan iodine, kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap.

Analisa Bilangan Iodine

Memasukkan 0,25 gr sampel dalam erlenmeyer. Tambah 25 ml larutan iodin 0,1N dan kocok 15 menit. Saring campuran tersebut dengan kertas saring. Pipet 10 ml *filtrate* untuk dititrasi

dengan thiosulfat 0,1N. Jika larutan telah berwarna kuning muda, tambahkan indikator amilum 1 %. Kemudian titrasi kembali hingga titik akhir yakni berwarna biru telah hilang. Lalu sebagai pembanding, gunakanlah larutan blangko dengan cara yang sama.

Analisa Kadar Air

Kandungan air pada karbon berhubungan dengan sifat higroskopis dari karbon aktif. Prosedurnya yaitu dengan menimbang 1 gram sampel lalu dimasukkan ke cawan. Masukkan kedalam oven dengan temperatur ±110°C. Dinginkan dalam desikator dan timbanglah hingga beratnya konstan.

$$kadar\ air = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100\% \quad (4)$$

M₁ = massa cawan kosong (gr)

M₂ = massa cawan dan sampel sebelum pemanasan (gr)

M₃ = massa cawan dan sampel setelah dipanaskan (gr)

Analisa Kadar Abu

Analisa ini dilakukan dengan menimbang 1 gram sampel dalam cawan porselen. Lalu masukkan dalam furnace dengan temperatur 750°C selama 3 jam. Dinginkan dalam desikator lalu timbang hingga berat konstan.

$$kadar\ abu = \frac{berat\ abu}{berat\ sampel} \times 100\% \quad (5)$$

Analisa Kadar Volatile Matter

Masukkan 1 gram sampel dalam cawan. Tutupi dengan penutup cawan yang sudah diketahui beratnya. Panaskan hingga suhu 900°C dalam furnace selama 15 menit. Keluarkan cawan dari furnace dan ditimbang hingga berat konstan.

$$VM = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% - M \quad (6)$$

Keterangan:

VM = Kadar volatile matter dalam %

m₁ = massa cawan dan penutup (gr)

m₂ = massa cawan dan penutup serta sampel sebelum dipanaskan (gr)

m₃ = massa cawan dan penutup serta sampel setelah dipanaskan (gr)

M = Kandungan air setelah dianalisa

Analisa Kadar Fixed Carbon

Besarnya kandungan karbon terikat dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$Fixed\ carbon = 100 - (kadar\ air + kadar\ abu + VM) \text{ (dalam \%)} \quad (7)$$

Analisa SEM

Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan

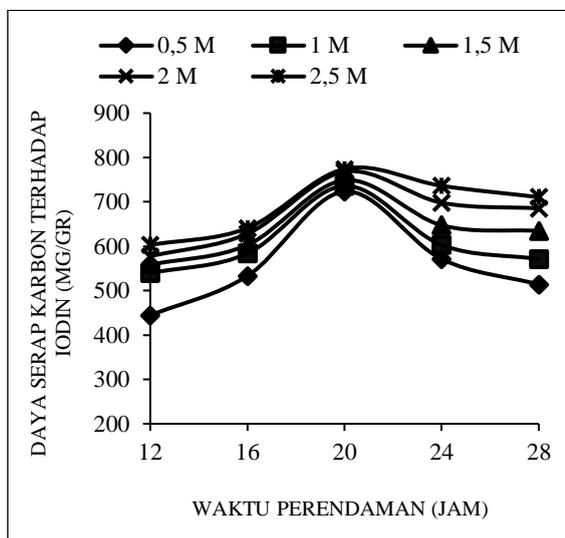
pada karbon aktif akibat proses karbonisasi serta aktivasi. Analisa SEM dilakukan di Laboratorium Instrumen Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Tabel 1 didapatkan hasil bahwa daya serap karbon aktif daun jati terhadap *iodine* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi aktivator KOH dan juga waktu perendaman. Hal ini dapat diperjelas pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil Analisis Daya Jerap Karbon Aktif terhadap Iodin pada Berbagai Konsentrasi Aktivator dan Waktu Perendaman

Waktu Perendaman (jam)	Konsentrasi KOH				
	0,5 M	1 M	1,5 M	2 M	2,5 M
12	444,185	539,368	558,404	577,441	602,823
16	533,022	583,786	602,823	628,205	640,896
20	723,387	736,078	748,769	767,806	774,151
24	571,095	602,823	647,241	698,005	736,078
28	513,985	571,095	634,555	685,314	710,696



Gambar 2. Hubungan Daya Serap Karbon terhadap Iodine dengan Waktu Perendaman pada Berbagai Konsentrasi Aktivator KOH

Bilangan iodine terendah terdapat pada karbon aktif konsentrasi 0,5 M dan durasi perendaman sebesar 12 jam dengan daya jerap 444,185 mg/g. Daya serap iodine tertinggi pada konsentrasi 2,5 M dan waktu perendaman 20 jam sebesar 774,151 mg/g. Pada gambar diatas menjelaskan bahwa pada waktu perendaman 12 jam hingga 20 jam mengalami

peningkatan yang signifikan, setelah melewati 20 jam ternyata mengalami penurunan. Hal tersebut karena semakin panjang durasi perendaman maka semakin banyak inert dipermukaan karbon yang terlepas, sehingga pori-porinya semakin banyak yang menyebabkan semakin besar luas permukaannya dan daya serapnya tinggi (Husin dan Hasibuan, 2020). Namun pada 24 jam sampai 28 jam mengalami penurunan, karena setelah melewati waktu aktivasi optimum, dinding pori pada karbon aktif mulai rusak akibatnya luas permukaan pada pori mengalami penurunan dan diikuti dengan menurunnya daya serap karbon aktif (Sahara, dkk., 2020).

Hasil Analisis Proksimat

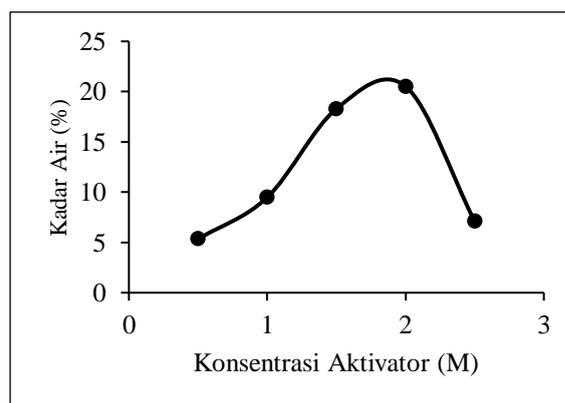
Hasil yang terbaik yaitu karbon aktif dengan aktivasi selama 20 jam dengan konsentrasi KOH 0,5M-2,5M. Selanjutnya ditentukan kualitasnya dengan analisa proksimat diantaranya kadar air, kadar abu, kandungan *vollatile mater* serta *fixed carbon* dan hasil nya sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Proximat Karbon Aktif

Konsentrasi KOH (M)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Volatile mater (%)	fixed Karbon (%)
0,5	5,3473	34,2304	36,8185	23,6038
1	9,4815	28,0676	43,2996	19,1513
1,5	18,289	31,0538	32,8622	17,795
2	20,52	28,8871	33,2633	17,3299
2,5	7,0879	33,2343	35,3788	24,299

Kadar Air

Penentuan kadar air yang dijalankan menggunakan metode gravimetri.



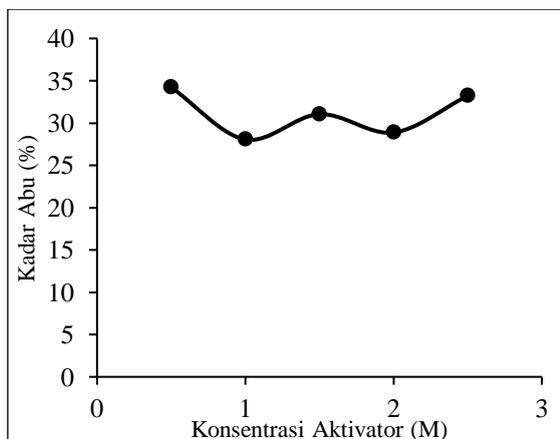
Gambar 3. Hubungan antara kadar air terhadap konsentrasi aktivator KOH pada waktu perendaman 20 jam

Gambar 3 menunjukkan kadar air mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi aktivator. Namun pada konsentrasi aktivator 2,5M mengalami penurunan yang signifikan. Hal tersebut

karena semakin tinggi konsentrasi, maka proses penetralan juga semakin lama, sehingga kontak antara karbon aktif terhadap udara semakin lama menyebabkan karbon aktif akan menyerap air yang ada pada udara sekitar (Husin, 2020). Kadar air yang telah memenuhi syarat SNI 06-3730-1995 yaitu terdapat pada konsentrasi 0,5M, 1M, dan 2,5M (kurang dari 15%).

Kadar Abu

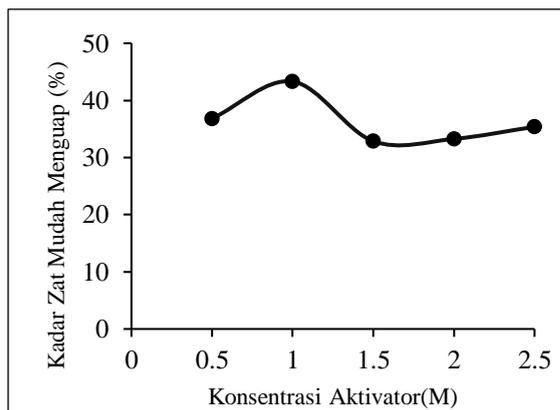
Dari Gambar 4 menggambarkan, karbon mengandung kadar abu yang fluktuatif, namun kadarnya dominan bertambah besar seiring meningkatnya konsentrasi aktivator. Hal tersebut terjadi karena semakin pekat lautan aktivator, maka semakin memperbesar permukaan karbon karena pori yang dihasilkan semakin banyak. Saat proses pemanasan berlangsung, terjadi pembakaran yang mengenai bidang permukaan karbon sehingga menghasilkan abu. Jadi semakin banyak pori yang terbentuk maka kadar abunya semakin besar pula (Husin, 2020). Kadar abu terbesar yaitu pada aktivasi KOH 0,5M sebesar 34,23% sedangkan yang terendah dengan aktivasi KOH 1M sebesar 28,06%. Kadar abu yang diperoleh belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 10%.



Gambar 4. Hubungan Kadar Abu terhadap Konsentrasi Aktivator KOH pada Waktu Perendaman 20 Jam

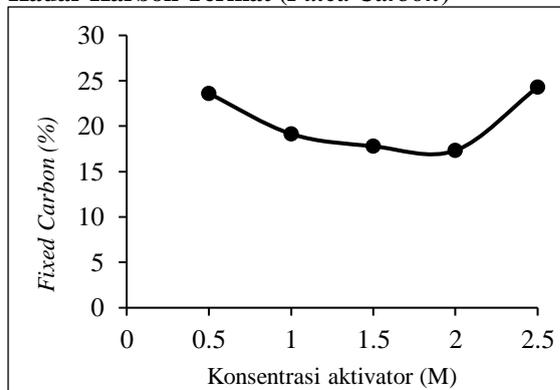
Kadar Zat Mudah Menguap (Volatile Matter)

Dari Gambar 5 menjelaskan bahwa karbon aktif memiliki kadar *volatile matter* yang fluktuatif namun cenderung meningkat seiring semakin tingginya konsentrasi. Tingginya kadar *volatile matter* disebabkan karena terdapat banyak zat-zat yang belum teruapkan pada saat karbonisasi serta aktivasi, namun teruapkan pada temperatur 900°C. Kadar *volatile matter* terendah pada konsentrasi 1,5M sebesar 32,86%, sedangkan yang tertinggi pada konsentrasi 1M sebesar 43,29%. Batas mutu karbon aktif untuk kadar zat terbang yaitu maksimum 25%, sehingga belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI).



Gambar 5. Hubungan *Volatile Matter* terhadap Konsentrasi Zat Aktivator KOH pada Waktu Perendaman 20 Jam

Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon)



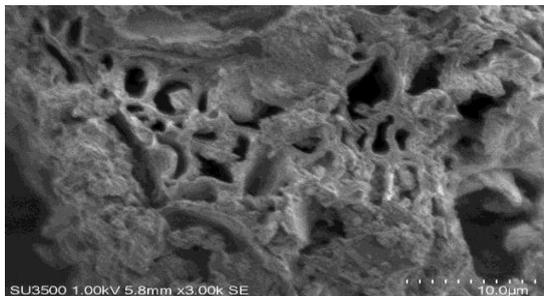
Gambar 6. Hubungan Kadar Karbon Terikat terhadap Konsentrasi Aktivator KOH Pada Waktu Perendaman 20 Jam

Dari Gambar 6 menjelaskan bahwa kadar karbon menurun seiring bertambahnya konsentrasi, namun kadar karbon mengalami peningkatan secara signifikan saat konsentrasi dinaikkan menjadi 2,5M. Penurunan kadar karbon disebabkan karena proses karbonisasi berlangsung kurang sempurna sehingga aktivator lebih banyak mengikat garam-garam mineral dan mendesak keluar kandungan utama (Husin dan Hasibuan, 2020). Rendahnya kadar karbon disebabkan oleh proses aktivasi yang kurang optimal sehingga masih terdapat zat pengotor pada karbon. Kenaikan kadar karbon terikat disebabkan karena kecilnya persentase dari kadar abu dan kandungan zat mudah menguap pada karbon setelah proses diaktivasi. Kandungan *fixed carbon* terendah terdapat pada perlakuan aktivasi KOH 2M, yaitu 17,32% sedangkan yang terbesar pada aktivasi KOH 2,5M yaitu 24,29%. Besarnya *fixed carbon* yang didapat belum memenuhi syarat SNI yaitu minimal 65%.

Hasil Analisa SEM

Analisa SEM dilakukan pada perlakuan waktu perendaman 20 jam dan aktivator KOH 2,5 M karena

memiliki *fixed carbon* yang tertinggi. Hasil analisa SEM tampak seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Analisa SEM Karbon Aktif dengan Waktu Perendaman 20 Jam menggunakan KOH 2,5M dengan Perbesaran 3000

Gambar tersebut menjelaskan bahwa aktivasi dapat membuat pori-pori pada karbon terbuka. Hal tersebut diasumsikan bahwa kandungan air yang terikat dan zat-zat pengotor seperti tar telah hilang yang mengakibatkan sebagian pori-porinya terbuka. Dengan tingginya konsentrasi aktivator membuat luas permukaan pada sampel karbon aktif menjadi lebih besar sehingga kemampuan daya kontakannya semakin besar pula (Yuningsih, et al., 2016).

SIMPULAN

Konsentrasi aktivator kalium hidroksida (KOH) dan waktu perendaman dapat memperbesar kemampuan daya jerap karbon aktif terhadap iodine. Daya jerap karbon aktif terhadap iodine tertinggi pada waktu perendaman 20 jam dan KOH 2,5M sebesar 774,151 mg/g. Hasil ini memenuhi syarat SNI 1995 yaitu minimal 750 mg/g. Hasil kadar air karbon aktif dari daun jati pada perendaman KOH 2,5M selama 20 jam dengan 7,08%. Hasil tersebut sudah memenuhi syarat SNI yaitu maksimal 15%. Namun kadar abu, kadar zat terbang, serta *fixed carbon* masih belum memenuhi standar SNI 1995.

SARAN

1. Sebaiknya dilakukan tahap karbonisasi bahan baku dengan temperatur 400°C–500°C agar terjadi peningkatan kadar pembentukan karbon.
2. Sebaiknya untuk peneliti selanjutnya guna meningkatkan kualitas karbon aktif dapat melakukan dengan menambah konsentrasi zat aktivator atau mencoba menggunakan bahan kimia lainnya sebagai aktivator.

DAFTAR PUSTAKA

Arsad, E. & Hamdi, S., 2010. Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Karbon Aktif untuk Industri. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(2), pp. 43-51.

Badan Pusat Statistik, 2022. *Ekpor dan Impor*. Available at: <https://www.bps.go.id/exim/> [Accessed 6 April 2022].

Basuki, T. M. & Pramono, I. B., 2017. *Hutan Jati : Tempat Tumbuh, Hasil Air, dan Sedimen*. Surakarta: UNS Press.

Dahlan, M., Siregar, H. P. & Yusra, M., 2013. Penggunaan Karbon Aktif dari Biji Kelor Dapat Memurnikan Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(3), pp. 44-53.

Husin, A. & Hasibuan, A., 2020. Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(2), pp. 80-86.

Jamilatun, S. & Setyawan, M., 2014. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya. *Spektrum Industri*, 12(1), pp. 1-112.

Moeksin, R., Aquariska, F. & Munthe, H., 2017. Pengaruh Temperatur dan Komposisi Pembuatan Biobriket dari Campuran Kulit Kakao dan Daun Jati Dengan Plastik Polietilen. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(3), pp. 173-182.

Sahara, E., Resyana & Laksimawati, 2020. Optimasi Waktu Aktivasi dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gunitir dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Kimia*, 14(1), pp. 63-70.

Sembiring, M. T. & Sinaga, T. S., 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatan). In: Medan: Universitas Sumatera Utara.

Sudibandriyo, M. & Lydia, 2011. Karakteristik Luas Permukaan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10(3), pp. 149-156.

Surest, A. H., Kasih, J. A. F. & Wisanti, A., 2008. Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), pp. 17-22.

Yuningsih, L. M., Mulyadi, D. & Kurnia, A. J., 2016. Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 2(1), pp. 30-34.

Zulaechah, L. S., Chanief, A. Z. & Wahyudi, D. T., 2018. Penggunaan Radiasi Gelombang Mikro untuk Sintesis Karbon Aktif Dari Limbah Biomassa dan Aplikasinya dalam Pengurangan Kadar Congo Red ABS. *Unnes Physics Journal*, 1(6), pp. 31-35.