

PENGARUH SUHU PIROLISIS DAN KONSENTRASI AKTIVATOR NaCl TERHADAP KUALITAS ADSORBEN ARANG AKTIF BERBAHAN DASAR LIMBAH TEMPURUNG KELAPA

Millenina Sulung Hanavia, Cokorda Istri Anjani Meliati, Luchis Rubianto
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
milleninna@gmail.com ; [luchis_rubianto@yahoo.com]

ABSTRAK

Pencemaran air akibat limbah cair berwarna merupakan masalah serius. Masalah ini disebabkan oleh limbah tersebut tidak dapat terurai secara alami. Salah satu metode yang mudah digunakan dalam pengolahan limbah adalah dengan cara adsorpsi menggunakan arang aktif yang dibuat dari limbah tempurung kelapa. Arang aktif ini dibuat dari arang hasil proses pirolisis dan diimplementasikan untuk menyerap warna pada limbah cair berwarna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator larutan NaCl terhadap kualitas arang aktif dengan memperhatikan proses pirolisis yang dilakukan pada variasi suhu 300°C, 325°C, dan 350°C selama 120 menit. Lalu diaktivasi dengan larutan NaCl sebesar 30%, 35%, dan 40% selama 24 jam. Variasi suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator tersebut dapat ditentukan kualitas arang aktif yang baik dalam penyerapan limbah cair berwarna dengan proses adsorpsi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kualitas arang aktif (sesuai SNI.06-3730-1995) yang dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator larutan NaCl memberikan pengaruh terhadap penurunan warna limbah. Hasil penelitian menunjukkan arang aktif terbaik dihasilkan pada suhu 325°C dengan konsentrasi aktivator larutan NaCl 35%, daya serap warna pada limbah cair berwarna terbaik sebesar 99,78%.

Kata kunci: arang aktif, konsentrasi aktivator NaCl, limbah cair berwarna, limbah tempurung kelapa, suhu pirolisis

ABSTRACT

Water pollution due to colored liquid waste is a serious problem. This problem is caused by the waste cannot decompose naturally. One method that is easy to use in sewage treatment is by adsorption using activated charcoal made from coconut shell waste. This activated charcoal is made from charcoal resulting from the pyrolysis process and is implemented to absorb the color in colored liquid waste. The aims of this study are to determine the effect of pyrolysis temperature and the concentration of NaCl solution activators on the quality of activated charcoal by observing the pyrolysis process carried out at temperature variations of 300 °C, 325 °C, and 350 °C for 120 minutes. It is then activated with NaCl solution of 30%, 35%, and 40% for 24 hours. Variations in pyrolysis temperature and concentration of such activators can be determined by the good quality of activated charcoal in the adsorption of colored liquid waste by adsorption process. Based on research that has been done, the quality of activated charcoal (according to SNI.06-3730-1995) which is influenced by pyrolysis temperature and the concentration of NaCl solution activator has effect on the decrease in waste color. The results showed that activated charcoal was best produced at 325°C with a 35% NaCl solution activator concentration, color absorption in the best colored liquid waste of 99.78%.

Keywords: activated charcoal, concentration of activator NaCl, colored liquid waste, coconut shell waste, temperature pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Limbah tempurung kelapa merupakan limbah biomassa yang dihasilkan di lingkungan sekitar dan berpotensi sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Dalam berita yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian Direktorat Jendral Perkebunan (2020), diketahui komoditas perkebunan melonjak karena salah satunya disumbang oleh komoditas kelapa [1]. Tempurung kelapa memiliki karakteristik mikropori dan mengandung unsur karbon sehingga sesuai dengan persyaratan dalam membuat arang aktif. Selain itu, menurut Muhammad (2016) tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat menghasilkan nilai kalor sekitar 6.500-7.700 kkal/g [2].

Pencemaran air di lingkungan sekitar pun, sangat mempengaruhi keberlangsungan ekosistem misalnya buangan limbah hasil industri tekstil yakni limbah cair berwarna. Limbah berwarna sulit terdegradasi, sekitar 10% hingga 15% zat pewarna yang sudah dipakai, tidak dapat digunakan ulang dan harus dibuang [3]. Bahan pewarna sintesis yang biasa digunakan dalam industri tekstil, salah satunya yaitu metilen *blue*. Dalam pengolahan air, karbon aktif dapat digunakan untuk menghilangkan atau menyaring zat bau, warna, dan bahan pencemar [4].

Ratna dan Ariani (2021) melakukan penelitian tentang pembuatan arang aktif berbahan dasar limbah tempurung kelapa dengan metode pirolisis. Pada saat proses pirolisis, terjadi dekomposisi rantai kimia komponen tempurung kelapa. Selulosa terdekomposisi pada suhu pirolisis sebesar 315-400°C. Proses pirolisis akan menghasilkan produk berupa *syngas* yang tidak dapat dikondensasi, liquid (*bio-oil*) yang dapat digunakan sebagai campuran dalam bahan bakar, dan *car* (*bio-arang*) [2].

Pada penelitian lain, arang aktif dihasilkan dari metode pirolisis lalu diaktivasi secara kimia menggunakan larutan NaCl. Menurut Permatasari, dkk (2014) larutan NaCl dapat memberikan hasil karakteristik terbaik dibandingkan dengan aktivator lainnya [5]. Setiawan dan Suroto (2010) mendapatkan hasil terbaik pada konsentrasi NaCl 20% yang memiliki daya serap paling besar [6]. Menurut Sudibandriyo (2003) kemampuan karbon sebagai penyerap akibat dari aktivator yang dapat membentuk struktur pori-pori [7]. Selain itu, NaCl merupakan bahan yang aman dibanding dengan bahan kimia lainnya, mudah dicari, dan harganya cukup terjangkau.

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator NaCl dalam pembuatan arang aktif berbahan dasar limbah tempurung kelapa dapat dilihat dari keefektifan proses penyerapan terhadap limbah cair berwarna yang ada.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang dengan melakukan observasi dan pengumpulan data secara langsung yang didukung dengan adanya studi pustaka yang relevan. Data yang dihasilkan disajikan dalam bentuk tabel.

2.2 Prosedur Pembuatan Arang Aktif

Pada pembuatan arang aktif yang pertama dilakukan adalah mempersiapkan bahan. Tempurung kepala dibersihkan dan diubah ukurannya terlebih dahulu sebelum memasuki proses pirolisis. Umpan sebesar 1 kg masuk ke dalam reaktor dan dipanaskan dengan variasi suhu 300 °C, 325 °C, dan 350 °C selama 120 menit. Setelah sampel dingin, dilakukan aktivasi dalam larutan aktivator NaCl dengan variabel konsentrasi 30%, 35%, dan 40% selama 24 jam. Lalu, adsorben disaring, dinetralkan, dan dimasukkan ke dalam oven bersuhu 110°C selama 3 jam. Adsorben hasil pengovenan diambil 5 gram dan diaplikasikan ke dalam limbah cair berwarna (tiruan) metilen *blue* sebanyak 100 ml, diaduk dan didiamkan hingga terbentuk dua lapisan, sehingga dapat dianalisis persentase penurunan warnanya.

2.3 Prosedur Analisis Kadar Air Arang Aktif

Dalam analisis kadar air, sebanyak 1 gram sampel adsorben ditimbang dalam cawan porselen. Sampel dioven bersuhu 110 °C selama 1 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan berat sampel ditimbang.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

m_1 = berat cawan kosong (gram)

m_2 = berat cawan + isi sebelum di oven (gram)

m_3 = berat cawan + isi setelah di oven (gram)

2.4 Prosedur Analisis Kadar Abu Arang Aktif

Dalam analisis kadar abu, sebanyak 1 gram sampel adsorben ditimbang dalam cawan porselen. Sampel dimasukkan dalam *furnace* bersuhu 815°C selama 1 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan berat sampel ditimbang.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

m_1 = berat sampel mula – mula (gram)

m_2 = berat abu yang terbentuk (gram)

2.5 Prosedur Analisis Kadar Zat Menguap (*Volatile Matter*) Arang Aktif

Dalam analisis kadar abu, sebanyak 1 gram sampel adsorben ditimbang dalam cawan porselen. Sampel dimasukkan dalam *furnace* bersuhu 959°C selama 7 menit lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan berat sampel ditimbang.

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

m_1 = berat cawan kosong (gram)

m_2 = berat cawan + isi sebelum di *furnace* (gram)

m_3 = berat cawan + isi setelah di *furnace* (gram)

2.6 Prosedur Analisis Kadar *Fixed Carbon* Arang Aktif

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100\% - (\text{ash} + \text{moisture} + \text{volatile matter}) \quad (4)$$

Keterangan :

- fixed carbon* = kadar karbon terikat(%)
ash = kadar abu (%)
moisture = kadar air (%)
volatile matter = kadar zat menguap (%)

2.7 Prosedur Analisis Daya Serap Iodium

Dalam analisis daya serap iodium yang dilakukan pertama adalah membuat larutan iodium 0,1 N, natrium thiosulfat 0,1 N, amilum 1%. Lalu pada larutan iodium 0,1 N ditambahkan 0,5 gram adsorben, dikocok selama 15 menit, dan didiamkan selama 2 jam. Dilakukan penyaringan dan kemudian hasilnya dititrasikan dengan larutan Natrium Thiosulfat 0,1 N.

$$\text{Daya serap iod} = \frac{A - \frac{B \times N(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{N(\text{Iodin})} \times 126,93 \times fp}{a} \quad (5)$$

Keterangan :

- A = Volume larutan iodin (ml)
 B = Volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang terpakai (ml)
 fp = Faktor pengenceran
 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,1 N
 BA Iod = Berat atom iodium (126,93)
 a = berat karbon aktif (gram)

2.8 Prosedur Analisis Daya Serap Warna menggunakan Spektrofotometer UV-VIS

Dalam analisis daya serap warna mulanya dilakukan pembuatan larutan induk metilen *blue* konsentrasi 2,5 ppm. Lalu dilakukan pengenceran berlanjut. Selanjutnya mencari panjang gelombang serapan maksimum dan pembuatan kurva kalibrasi. Sehingga dapat dilakukan analisis daya serap pada limbah cair berwarna (tiruan) dengan panjang gelombang 660 nm yang meliputi limbah sebelum dan sesudah penambahan arang aktif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap arang aktif menggunakan aktivator larutan NaCl didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel hasil uji arang aktif sesuai SNI. 06-3730-1995

Karakteristik	SNI. 06-3730-1995	Konsentrasi Larutan NaCl (%)	Suhu (°C)		
			300	325	350
Kadar Air (%)	Max 15 %	0	1,45	0,98	0,50
		30	2,02	0,50	1,61
		35	2,49	0,81	1,72
		40	1,76	0,71	1,21

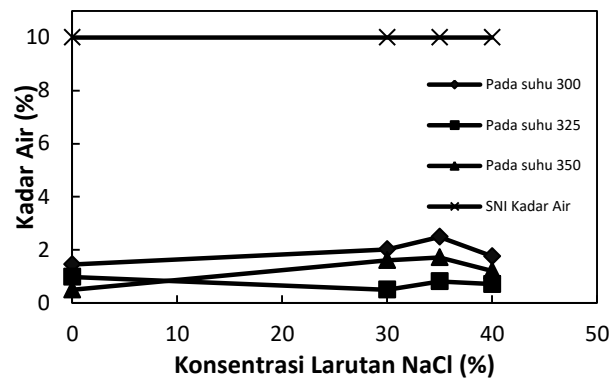
Karakteristik	SNI. 06-3730-1995	Konsentrasi Larutan NaCl (%)	Suhu (°C)		
			300	325	350
Kadar Abu (%)	Max 10 %	0	22,28	20,44	20,31
		30	17,65	13,96	18,59
		35	16,94	14,89	16,07
		40	20,54	15,09	16,17
Kadar <i>Volatile Matter</i> (%)	Max 25 %	0	37,24	36,36	34,72
		30	37,04	23,80	27,61
		35	31,08	21,66	27,27
		40	35,37	24,10	25,58
<i>Fixed carbon</i>	Min 65 %	0	39,03	42,21	44,47
		30	43,29	61,73	52,20
		35	49,49	62,64	54,94
		40	42,32	60,10	57,03
Daya serap I ₂	Min 750 mg/gram	0	3205,81	3158,26	3059,49
		30	3277,12	3031,05	3262,11
		35	3292,39	3049,88	3373,67
		40	3184,75	2966,13	3532,71

Tabel 2. Tabel hasil uji daya serap limbah cair berwarna

Kriteria	Konsentrasi awal (ppm)	Absorbansi	Konsentrasi akhir (ppm)	Suhu (°C)	Konsentrasi Larutan NaCl (%)	% Penurunan konsentrasi
Limbah cair berwarna (tiruan) sebelum ditambah arang aktif	2,5	0,40	2,57	0	0	0
Limbah cair berwarna (tiruan) setelah ditambah arang (tanpa aktivator)	2,5	0,03	0,10	325	0	96,18
Limbah cair berwarna (tiruan) setelah ditambah arang aktif	2,5	0,02	0,03	325	30	98,74
		0,01	0,01		35	99,77
		0,02	0,02		40	99,26

3.1 Kadar Air

Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator larutan NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan kadar air pada Tabel 1 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 1.

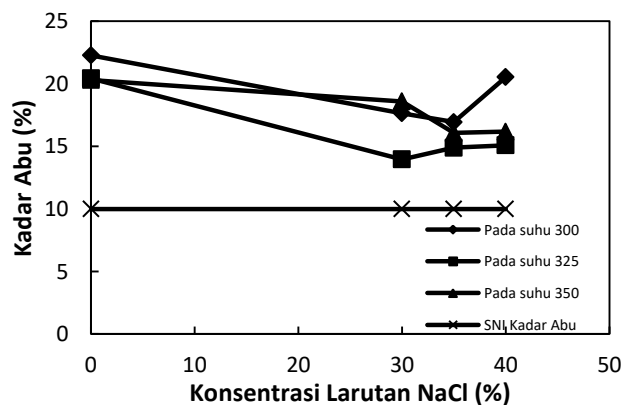


Gambar 1. Hubungan kadar air terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Analisis kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang tersisa pada adsorben setelah melalui proses pengaktifan. Pada Gambar 1 menunjukkan hasil kadar air berkisar antara 0,5-2,5%, sehingga hasil ini sesuai dengan SNI 06-3730-1995 di mana kadar air maksimal 15%. Arang tanpa penambahan aktivator NaCl mengalami penurunan kadar air seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis. Hal ini dikarenakan pori-pori karbon aktif akan semakin terbuka seiring bertambahnya suhu pirolisis [8]. Sedangkan arang beraktivator konsentrasi NaCl 35% cenderung mengalami kenaikan kadar. Hal ini dikarenakan larutan aktivator NaCl memiliki sifat higroskopis dan kandungan mineral yang tinggi sehingga pada proses pencucian dan pengeringan belum bisa dipastikan hilangnya mineral secara keseluruhan pada arang aktif. Hal ini sesuai dengan penelitian Sahara, dkk (2017), kadar air arang dipengaruhi oleh sifat higroskopis, jumlah uap air pada arang, penggilingan, pengayakan, dan penetralan yang terkandung oleh arang aktif [9].

3.2 Kadar Abu

Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan kadar abu pada Tabel 1 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 2.

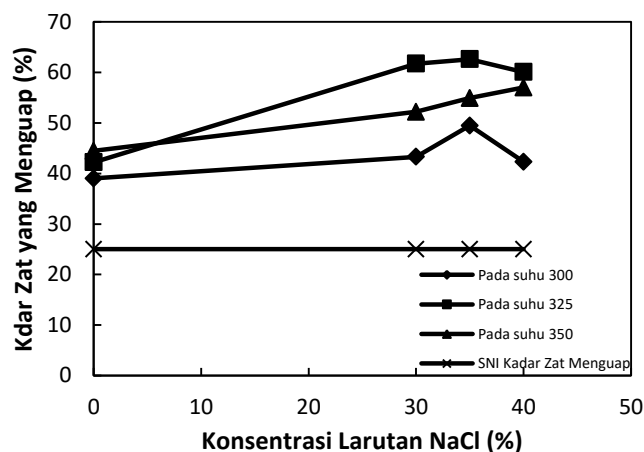


Gambar 2. Hubungan kadar abu terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui jumlah oksida yang terkandung dalam karbon aktif. Pada penelitian ini dihasilkan kadar abu berkisar antara 13-22% sehingga kurang sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu kadar abu maksimal 10%. Pada Gambar 2, arang tanpa aktivasi mengalami penurunan kadar di setiap kenaikan suhu pirolisis. Namun pada arang beraktivator konsentrasi 30%, 35%, dan 40% mengalami fluktuasi. Hal ini dikarenakan suhu pirolisis, proses aktivasi, dan waktu perendaman. Hal ini juga terjadi pada penelitian Junary, dkk (2015) dan menjelaskan bahwa semakin lama proses perendaman maka sisa mineral akan menghalangi permukaan karbon untuk menyerap air sehingga tidak menguap pada proses pembakaran dalam *furnace* [10]. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin tinggi pula kadar abu yang dihasilkan [8].

3.3 Kadar Zat yang Menguap

Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan kadar zat yang menguap pada Tabel 1 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 3.



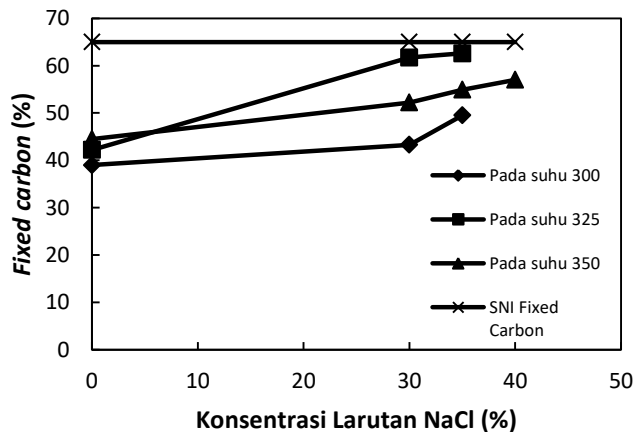
Gambar 3. Hubungan kadar zat yang menguap terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Penentuan kadar *volatile matter* bertujuan untuk mengukur kandungan senyawa yang belum menguap pada proses aktivasi. Pada Gambar 3 dihasilkan kadar *volatile matter* berkisar antara 21,66-37,24% sehingga hasil terbaik sebesar 21,66% pada konsentrasi NaCl 35% bersuhu 325°C. Hasil tersebut sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu dibawah 25%. Seiring bertambahnya suhu pirolisis maka kadar *volatile matter* akan semakin berkurang. Pada arang tanpa aktivasi bersuhu 300°C terjadi penyimpangan yang cukup signifikan terhadap SNI kualitas arang aktif. Hal tersebut dapat dikarenakan singkatnya waktu pirolisis, lama proses aktivasi, dan kandungan air masih tinggi setelah proses pencucian. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Hartanto dan Ratnawati (2010), meningkatnya kadar zat menguap disebabkan saat proses pembakaran arang dilakukan pada suhu relatif rendah dan waktu yang digunakan singkat [11]. Selain itu, pada

penelitian Susilowati (2016), lama waktu aktivasi menyebabkan karbon terkikis pada proses pencucian [8].

3.4 Fixed Carbon

Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan *fixed carbon* pada Tabel 1 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.

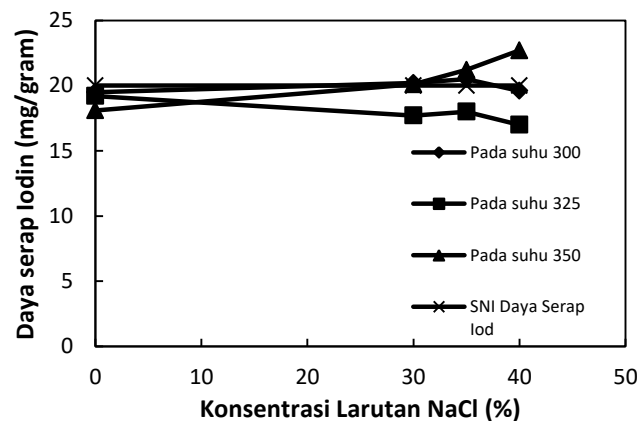


Gambar 4. Hubungan *fixed carbon* terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Tujuan analisis *fixed carbon* ini bertujuan untuk mengetahui kadar karbon murni yang terkandung pada arang aktif yang dihasilkan. Pada Gambar 4 menunjukkan hasil *fixed carbon* berkisar antara 39-62,63% sehingga hasil tersebut tidak sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu di atas 65%. Hasil *fixed carbon* yang hampir mencapai standart mutu terjadi pada arang aktif berkonsentrasi 35% dengan suhu 325°C yaitu 62,63%. Hal tersebut dikarenakan hasil kadar abu dan *volatile matter* yang kurang sesuai dengan standart mutunya. Berdasarkan penelitian Erawati dan Fernando (2018) disebutkan semakin tinggi hasil *fixed carbon* maka semakin baik kualitas arang aktif [12]. Seharusnya semakin kecil hasil kadar abu dan *volatile matter* maka semakin tinggi *fixed carbon* yang dihasilkan sehingga semakin baik kualitas arang aktif tersebut [11].

3.5 Daya Serap Iodin

Uji daya serap iodin pada arang aktif bertujuan untuk menentukan kualitas arang aktif yang berkaitan dalam proses pemurnian, pembersihan, penyerapan, pemucat, dll. Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan daya serap iodin pada Tabel 1 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 5.

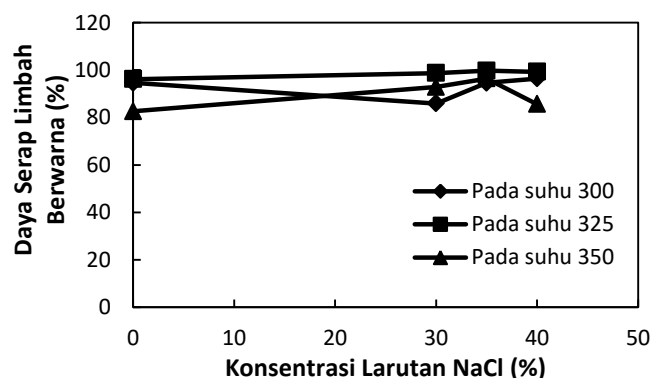


Gambar 5. Hubungan daya serap iodin terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Pada Gambar 5 di atas diketahui daya serap iodin yang dihasilkan berkisar antara 19,5 - 23,0 mg/gram sehingga hasil tersebut sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu di atas 750 mg/gram. Daya serap iod cukup baik terjadi pada arang beraktivator konsentrasi NaCl 40% pada suhu 350°C. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Radika dan Astuti (2020) bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator maka daya serap pun akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya [13]. Selain itu, penelitian sebelumnya mengatakan bahwa daya serap akan mencapai maksimal dan akan menjadi konstan dengan bertambahnya waktu adsorpsi karena pembentuk pori-pori sudah maksimal [14].

3.6 Uji Daya Serap Limbah Cair Berwarna (Tiruan)

Pengujian adsorpsi terhadap limbah cair berwarna (tiruan) dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer UV – VIS. Pengukuran larutan *metilen blue* dilakukan pada panjang gelombang 660 nm. Dalam percobaan ini digunakan larutan *metilen blue* sebagai limbah dengan konsentrasi mula-mula 2,5 ppm. Pada pembuatan arang aktif melalui proses pirolisis bersuhu 300°C, 325°C, dan 350°C dengan aktivator NaCl 30%, 35%, dan 40% dihasilkan daya serap iodin pada Tabel 2 dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan daya serap limbah berwarna terhadap konsentrasi aktivator NaCl pada suhu 300°C, 325°C, dan 350°C

Pada penelitian ini penyerapan arang aktif terbaik pada suhu 325°C dengan konsentrasi aktivator NaCl 35% dengan penurunan konsentrasi warna sebesar 99,78%. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa semakin tinggi suhu pirolisis maka daya serap akan semakin baik [7]. Selain itu, semakin besar konsentrasi NaCl maka daya adsorpsi semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa pori karbon membesar maka kemampuan mengadsorpsi juga semakin besar [15].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kualitas arang aktif dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator NaCl, yaitu semakin tinggi suhu pirolisis maka kualitas arang yang dihasilkan semakin baik. Begitu juga dengan konsentrasi aktivator NaCl, semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kualitas arang semakin baik. Namun, kualitas arang akan kurang baik jika proses perendaman dengan konsentrasi aktivator yang terlalu tinggi di mana arang akan berada pada titik jenuh. Sesuai syarat mutu arang aktif (SNI 06-3730-1995) dan keefektifan dalam penyerapan limbah cair berwarna (tiruan) arang didapatkan hasil terbaik pada konsentrasi aktivator NaCl 35% dengan suhu pirolisis 325°C.

Saran untuk penelitian ini yaitu diharapkan penelitian selanjutnya dalam melakukan proses persiapan bahan, bahan seharusnya dilakukan *size reduction* menjadi serbuk untuk mempercepat proses pembakaran dalam proses pirolisis. Selain itu, peneliti selanjutnya dapat melakukan variasi terhadap lama proses adsorpsi, limbah yang digunakan, serta analisis uji SEM untuk mengetahui karakteristik arang aktif yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Ditjenbun, "Peluang Ekspor Perkebunan Masih Bertahan." 2020, [Online]. Available: <http://ditjenbun.pertanian.go.id/2020/>, diakses : 28 Januari 2021.
- [2] D. Ratna dan Ariani, "Pengolahan Tempurung Kelapa Menjadi Arang Dan Asap Cair Dengan Metode Semi-Batch Pyrolysis," *Jurnal Distilat: Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 367–372, 2021.
- [3] S. Naimah, S. A. A., B. N. Jati, N. N. Aidha, dan A. A. Cahyaningtyas, "Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit Tio₂ – Zeolit," *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 36, no. 2, hal. 225, 2014.
- [4] R. Muchlisin Riadi, "Karbon Aktif." 2017, [Online]. Available: <https://www.kajianpustaka.com/2017/09/karbon-aktif.html>, diakses : 04 April 2021.
- [5] A. R. Permatasari, L. U. Khasanah, dan E. Widowati, "Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Utilissima*) Dengan Variasi Jenis Aktivator *Characterization Of Activated Carbon From Cassava Peels (Manihot utilissima) With Different Activators*," *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, vol. VII, no. 2, hal. 70–75, 2014.
- [6] E. Setiawati dan S. Suroto, "Pengaruh Bahan Aktivator Pada Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa," *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, vol. 2, no. 1, hal. 21, 2010.
- [7] A. Permatasari, "Studi Awal Pengaruh Kombinasi Waktu Perendaman ZnCl₂ Dan KOH Dalam Proses Aktivasi Karbon Dari Kayu Halaban," *Jurnal Distilat: Teknologi Separasi*,

- vol. 5, no. 2, hal. 98–104, 2019.
- [8] Y. Hendrawan, S. M. Sutan, dan R. Y. R. Kreative, “Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (*Bagasse*) Menggunakan *Activating Agent* NaCl,” *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 5, no. 3, hal. 200–207, 2017.
- [9] E. Sahara, N. K. Dahliani, dan I. B. P. Manuaba, “Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH,” *Jurnal Kimia*, vol. 11, no. 1, hal. 174, 2017.
- [10] E. Junary, J. P. Pane, dan N. Herlina, “Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi Terhadap Nilai Kalor dan Karakteristik Pada Pembuatan Bioarang Berbahan Baku Pelepeh Aren (*Arenga pinnata*),” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 2, hal. 46–52, 2015.
- [11] S. Hartanto dan Ratnawati, “Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia,” *Jurnal Sains Material Indonesia*, vol. 12, no. 1, hal. 12–16, 2010.
- [12] E. Erawati dan Ekta Firdausi Nur Afifah, “Pembuatan Karbon Aktif dari Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis L*, f) (Ukuran Partikel dan Jenis Aktivator),” *Jurnal The 8th University Research Colloquium 2018*, hal. 97–104, 2018.
- [13] R. Radika, “Pengaruh Variasi Konsentrasi NaCl sebagai Aktivator Karbon Aktif Kulit Singkong untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Air Sungai Batang Ombilin,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 9, no. 2, hal. 163–168, 2020.
- [14] R. Ferriansyah, “Penggunaan Serbuk Tulang Ayam Sebagai Adsorben,” *Jurnal Distilat: Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 9, hal. 494–499, 2021.
- [15] A. Y. Rini Nafsiati Astuti, Anton Prasetyo, “Adsorpsi *Metilen Blue* Pada Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dengan Variasi Konsentrasi NaCl Pada Suhu Pengaktifan 600 °C Dan 650 °C,” *Jurnal Neutrino*, vol. 4, no. 1, hal. 16–23, 2012.