



Analisis Bilangan Gelombang Arang Aktif Kayu Makila (*Litsea Angulata B.L*)

(Analysis of Makila wood activated charcoal wavenumber)

Herman Siruru^{1*} & Pieter Riupassa²

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Ambon, 97233

²Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Ambon, 97233

*Email : sirherman78@gmail.com

ABSTRACT

Infrared (IR) spectroscopic analysis systems provide advantages in characterizing organic compounds and polymeric material formulations. In this study, an FTIR analysis of makila wood-activated charcoal (*Litsea Angulata B.L*) was conducted to determine the relationship between wavenumber and the type of makila activated charcoal and the correlation of wavenumber with the quality of makila wood activated charcoal. Makila wood-activated charcoal is made in 2 stages: carbonization at a temperature of 500 °C for 8 minutes and then starting at a temperature of 700 °C for 60 minutes. The results of the independence test (14.722) showed that at the $\alpha=0.05$ level (24.992), the wavenumber was not related to activated charcoal. The correlation between wavenumber and iodine adsorption capacity is negative and tends to be below; in the area of wave number 400-1500 cm^{-1} , it is -0.5476, and in the area of wave number 1500-2000 cm^{-1} is -0.3931. While in the wavenumber region, 2500-4000 cm^{-1} is positive and tends to be low at 0.3660, and in the wavenumber region 2000-2500 cm^{-1} , the value is zero (0) or there is no correlation. The correlation between wavenumber and benzene absorption is positive and tends to be below, in the area of wave number 400-1500 cm^{-1} , it is 0.1902, and in the region of wave number 1500-2000 cm^{-1} is 0.3271. While in the wavenumber region 2500-4000 cm^{-1} , the correlation is negative and tends to be high at -0.8310, and in the wavenumber region 2000-2500 cm^{-1} , the value is zero (0) or there is no correlation.

KEYWORDS: Extractive, holocellulose, particles, yield, ethanol

INTISARI

Sistem analisis spektroskopi inframerah (IR) memberikan keunggulan dalam mengkarakterisasi senyawa organik dan formulasi material polimer. Dalam penelitian ini dilakukan analisa FTIR arang aktif kayu makila (*Litsea Angulata B.L*) untuk mengetahui hubungan bilangan gelombang dengan jenis arang aktif kayu makila dan korelasi bilangan gelombang dengan kualitas arang aktif kayu makila. Arang aktif kayu makila dibuat dalam 2 tahap yaitu karbonisasi pada suhu 500 °C selama 8 menit selanjutnya diaktivasi pada suhu 700 °C selama 60 menit. Hasil uji kebebasan (14,722) menunjukkan bahwa hipotesis nol benar atau diterima pada taraf nyata $\alpha=0,05$ (24,992) atau bilangan gelombang tidak saling berkaitan dengan arang aktif. Korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap iodium bersifat negatif dan cenderung rendah, pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} sebesar -0,5476 dan pada wilayah bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1} sebesar -0,3931. Sedangkan pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1} bersifat positif dan cenderung rendah sebesar 0.3660 dan pada wilayah bilangan gelombang 2000-2500 cm^{-1} nilainya nol (0) atau tidak terdapat korelasi. Korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap benzena bersifat positif dan cenderung rendah, pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} sebesar 0,1902 dan pada wilayah bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1} sebesar 0,3271. Sedangkan pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1} korelasi bersifat negatif dan cenderung tinggi sebesar -0,8310 dan pada wilayah bilangan gelombang 2000-2500 cm^{-1} nilainya nol (0) atau tidak terdapat korelasi.

KATA KUNCI: Ekstraktif, holoselulosa, partikel, rendemen, etanol

PENDAHULUAN

Kebutuhan arang aktif nasional salah satunya berasal dari impor. Impor karbon aktif cenderung meningkat dengan kecenderungan peningkatan sekitar 5,86% terhitung dari tahun 2012-2016 (Efiyanti, *dkk*, 2020). Impor arang aktif bukan saja untuk mencukupi kebutuhan arang aktif dalam negeri dari segi kuantitasnya saja tapi juga dari segi kualitas. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas arang aktif baik secara fisik maupun kimia (Lano, *dkk*. 2020; Lima *et al.* 2014; Al-Bahri *et al.* 2014). Modifikasi arang aktif sebagai upaya peningkatan kualitas akan sangat efektif jika karakteristik arang aktif diketahui secara baik.

Arang aktif merupakan padatan amorf yang tidak hanya memiliki atom karbon saja tetapi juga atom lainnya yang membentuk berbagai gugus fungsi dimana gugus fungsi ini berkontribusi bagi kualitas arang aktif. Keberadaan dan jenis gugus fungsi arang aktif dapat diamati dengan penggunaan spektroskopi infra merah atau *Fourier-Transform Infrared* (FTIR). Setiap ikatan kimia mempunyai vibrasi yang khas sehingga vibrasi yang terjadi pada bilangan gelombang menandakan adanya suatu gugus fungsi tertentu (Rahmat & Suwarno 2020; Kenneth & Judith 2000). Banyaknya gugus fungsi yang terdapat dalam suatu benda dapat diketahui dengan banyaknya sinar yang ditransmisikan sehingga semakin sedikit sinar yang ditransmisikan maka gugus fungsi semakin banyak (Nandiyanto *et al.* 2019)

Analisis spektroskopi infra merah (IR) sangat luas pemanfaatannya untuk menganalisis gugus fungsi yaitu dari analisis molekul kecil atau kompleks hingga analisis sel atau jaringan (Berthomieu & Hienerwadel 2009). Analisis infra merah (IR) akan menentukan gugus fungsi dari molekul yang memberikan regangan pada daerah jerapan infra merah (Urbaniak & Donggala 2012). Selain itu analisis FTIR juga dapat menganalisis unsur yang berada di permukaan benda (Fan *et al.* 2012). Salah satu hasil kemajuan instrumentasi IR adalah pemrosesan data seperti Fourier Transform Infrared (FTIR). Teknik ini memberikan informasi dalam hal kimia, seperti struktur dan konformasional pada polimer dan polipaduan, perubahan induksi tekanan dan reaksi kimia.

Spektroskopi infra merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} (Nandiyanto, *dkk*, 2019). Metode spektroskopi infra merah ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa, karena spektrum yang dihasilkan spesifik untuk senyawa tersebut (Beasley *et al.* 2014). Metode ini banyak digunakan karena 1) Cepat dan relatif murah, 2) Dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam molekul. 3) Spektrum inframerah yang dihasilkan oleh suatu senyawa adalah khas dan oleh karena itu dapat menyajikan sebuah sidik jari untuk senyawa tersebut. Peak atau pola sidik jari

suatu bahan yang telah mengalami pemanasan menunjukkan pola peak atau sidik jari yang berbeda dengan bahan bakunya (Nandiyanto *et al.* 2016; Nandiyanto *et al.* 2017; Budiman *et al.* 2019). Selain itu peak yang terbentuk pada bahan yang telah dipanaskan dipengaruhi oleh jenis bahan baku (Siruru *et al.*, 2020).

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis FTIR arang aktif berbagai bahan baku berbasis kayu makila (*Litsea Angulata B.L*) untuk mengetahui hubungan bilangan gelombang dengan jenis arang aktif kayu makila dan korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap iodine (*iodin number*) dan daya jerap benzena arang aktif kayu makila.

METODE PENELITIAN

Persiapan bahan

Kayu makila (*Litsea Angulata B.L*) yang telah diberi perlakuan kimia maupun fisik meliputi: serbuk kayu makila (A), serbuk kayu makila yang telah diekstrak air panas (B), serbuk kayu makila yang telah diekstrak etanol-benzena (C), serbuk kayu makila yang telah diekstrak etanol-air (D), holoselulosa kayu makila (E), dan partikel kayu makila (F).

Pembuatan arang

Bahan baku dikarbonisasi menggunakan tanur pada suhu 500 °C selama 8 menit dengan indikator asap yang telah menipis. Selanjutnya arang yang dihasilkan digerus dan diayak sehingga menghasilkan serbuk dengan ukuran lolos saringan 40 mesh.

Pembuatan arang aktif

Arang aktif dibuat dengan metode aktivasi fisika. Serbuk arang dimasukkan dalam tabung besi kemudian diaktivasi pada suhu 700 °C selama 60 menit. Setelah proses aktivasi selesai arang aktif dibiarkan dalam reaktor selama ± 24 jam. Arang aktif yang dihasilkan dihitung rendemennya dan dianalisis sifat-sifatnya meliputi daya jerap iodine (*iodin number*), daya jerap benzena serta dikarakteristik gugus fungsinya menggunakan analisis FTIR.

Pengujian daya jerap iodine

Pengukuran daya jerap iodine dilakukan berdasarkan ASTM D 4607-94. Pengukuran daya jerap iodine bertujuan untuk menduga mikropori yang terdapat pada arang. Daya jerap iodine menunjukkan jumlah iodine yang dapat dijerap 1 g arang (mg iodine/g arang aktif). Sebanyak 0,2 g arang aktif dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL tertutup, kemudian ditambahkan 25 mL larutan iodine 0,1 N dan dikocok selama 15 menit dalam suhu kamar, selanjutnya larutan langsung disaring. Larutan hasil saringan tersebut dipipet 10 mL dan dititer dengan larutan natrium tiosulfat 0,104 N sampai didapatkan larutan berwarna kuning, kemudian

ditambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator. Larutan dititer kembali sampai warna biru dari larutan hilang. Daya jerap dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Daya jerap arang terhadap iod} \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{\left(10 - \frac{V \times N}{0,1} \right)}{D} \times 12,69 \times fp \quad (1)$$

Keterangan:

V : larutan natrium tio-sulfat yg diperlukan (mL)

N : normalitas larutan tio-sulfat (0,104)

12,69 : jumlah iod sesuai dgn 1 mL larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

D : berat contoh uji (g)

10 : volume larutan iodin yang telah dikocok dengan arang dan telah disaring

fp : faktor pengenceran

Pengujian daya jerap benzena

Pengujian daya jerap benzena mengacu kepada ASTM (1979). Pengujian terhadap benzene dilakukan menggunakan desikator sebagai ruang pengujian. Contoh uji arang aktif sebanyak 1 gram ditempatkan pada cawan petri di dalam bagian atas desikator. Pada bagian bawah desikator terlebih dahulu disimpan cairan benzena sebanyak 300 mL yang disimpan pada tiga gelas ukur berisikan masing-masing 100 mL. Arang aktif beserta benzena didiamkan dalam desikator selama 24 jam sampai mencapai kesetimbangan penjerapan untuk kemudian ditimbang. Besarnya daya jerap benzena dihitung berdasarkan persentase penambahan berat arang aktif terhadap berat awal arangnya.

$$\text{Daya jerap benzena (\%)} = \frac{\text{Berat akhir arang} - \text{Berat awal arang}}{\text{Berat awal arang}} \times 100 \quad (2)$$

Pengujian gugus fungsi dengan menggunakan FTIR

Keberadaan gugus fungsi permukaan arang aktif kayu makila ditentukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Analisis gugus fungsi dilakukan dengan metode KBr. Pembuatan pelet uji untuk analisis dilakukan dengan cara mencampur contoh uji dengan KBr. Nisbah antara contoh uji dan KBr adalah 1:50 (g/g). Pelet berukuran diameter 1,3 cm dan tebal 0,5 cm dibuat dengan tekanan 6133 kg/cm². Transmisi diukur menggunakan spektrum infra merah FTIR Tensor 37 Bruker. Pengambilan data transmisi dilakukan pada bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹ dengan resolusi sebesar 16 cm⁻¹ dan 5 kali pemindaian.

Analisa Data

Analisa data dengan metoda uji kebebasan untuk mengetahui hubungan bilangan gelombang dengan arang aktif kayu makila, selanjutnya dilakukan pengujian korelasi antara bilangan gelombang kualitas arang aktif kayu makila.

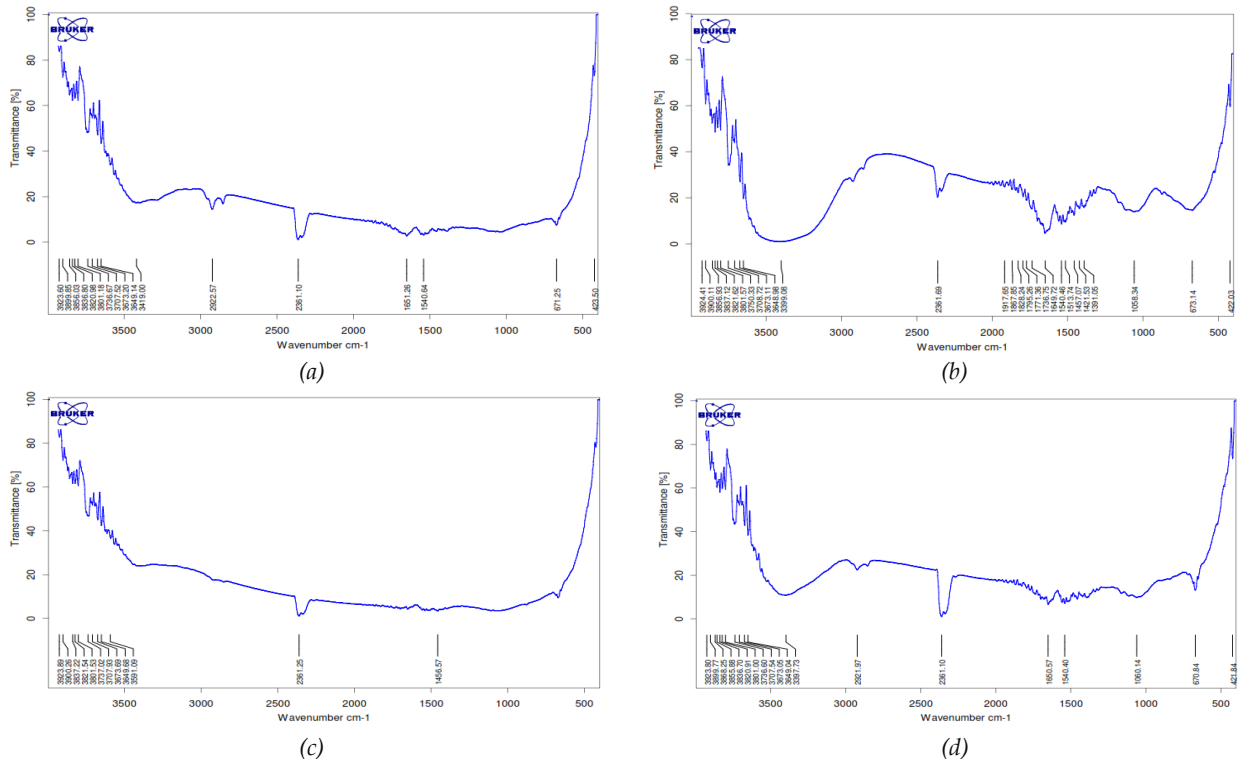
$$\chi^2 = \sum_i \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3)$$

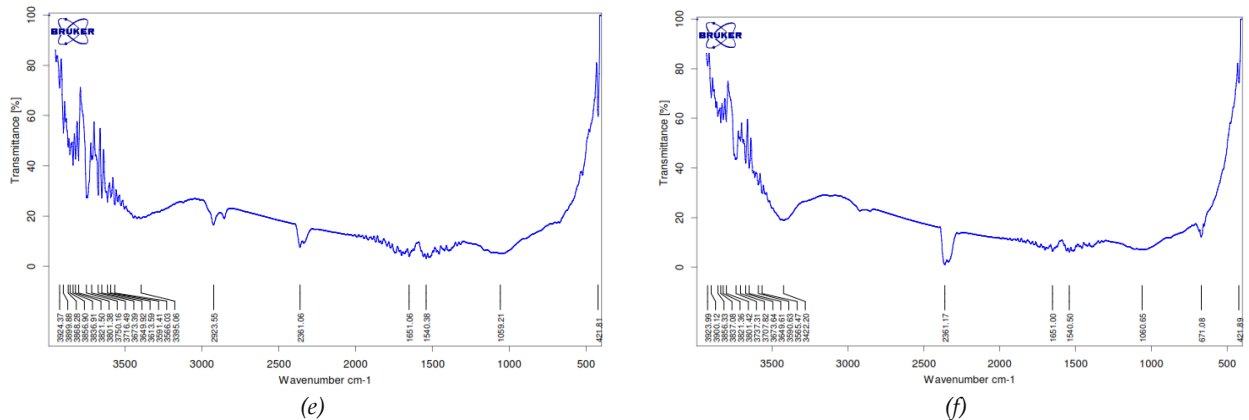
Dimana: χ^2 : Uji kebebasan, o: Frekuensi teramati, e: Nilai harapan, i: 1,2,3,4,...n

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur gugus fungsi arang aktif kayu makila

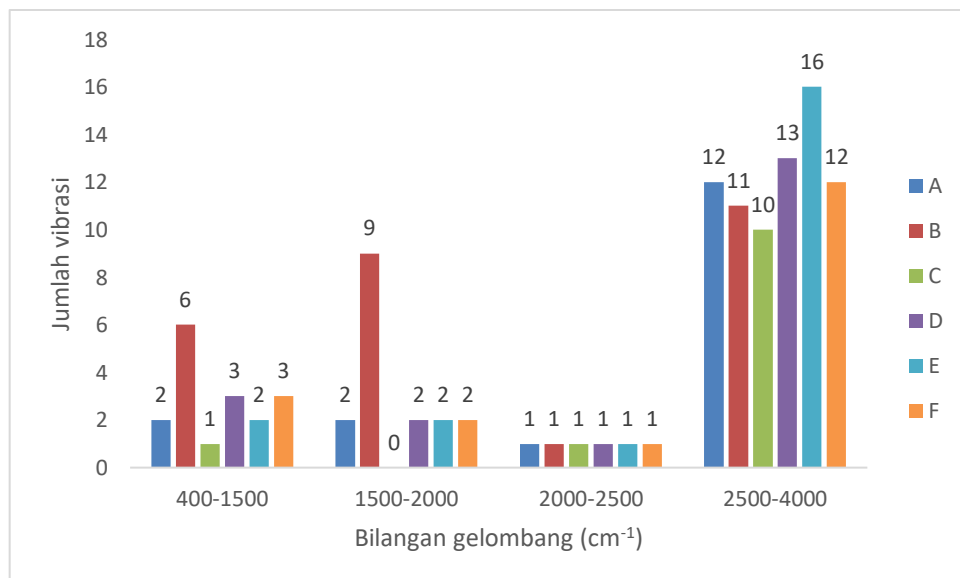
Hasil karakterisasi FTIR (Gambar 1a-1f) menunjukkan bahwa grafik semua sampel memiliki pola yang hampir sama yaitu menyerupai parabola dengan penumpukan spektrum di sekitar bilangan gelombang 3500 cm^{-1} . Hal ini disebabkan karena bahan baku arang aktif semuanya sama yaitu kayu makila, namun vibrasi spektroskopi inframerah tidak sama pada setiap sampel. Selain itu walaupun terdapat vibrasi yang sama pada beberapa sampel namun transmisi dari tiap sampel berbeda. Vibrasi yang terjadi menunjukkan jenis gugus fungsi atau ikatan kimia yang terdapat dalam arang aktif sedangkan transmisi merupakan indikator banyaknya suatu gugus fungsi yang berada dalam arang aktif (Sulistiyani & Huda 2018).





Gambar 1. Hasil FTIR arang aktif: Serbuk kayu makila (a), Serbuk makila bebas ekstraktif polar (b), Serbuk makila bebas ekstraktif non-polar (c), Serbuk makila bebas ekstraktif semi polar (d), Holoselulosa kayu makila (e) dan Partikel kayu makila (f).

Jumlah vibrasi yang teridentifikasi pada sampel A sebanyak 17 bilangan gelombang, sampel B sebanyak 27 bilangan gelombang, sampel C sebanyak 12 bilangan gelombang, sampel D sebanyak 19 bilangan gelombang, sampel E sebanyak 21 bilangan gelombang dan sampel F sebanyak 19 bilangan gelombang. Hal ini disebabkan karena kadar dan komponen kimia dari bahan baku tiap sampel tidak sama walaupun merupakan kayu makila tetapi telah mengalami perlakuan secara fisik maupun kimia sebelum proses pengarangan. Vibrasi dan besar kecilnya transmisi arang aktif dipengaruhi oleh bahan baku (Mentari, dkk, 2018).



Gambar 2. Sebaran bilangan gelombang berdasarkan 4 wilayah

Gambar 2 menunjukkan sebaran bilangan gelombang yang dikelompokkan dalam 4 wilayah. Wilayah bilangan gelombang antara 2500-4000 cm⁻¹ memiliki frekuensi yang lebih banyak dari wilayah yang lain pada semua sampel. Frekuensi bilangan gelombang pada wilayah 2500-4000 cm⁻¹ sampel A sebanyak 12 bilangan gelombang, sampel B sebanyak bilangan

gelombang 11, sampel C sebanyak 10 bilangan gelombang, sampel D sebanyak 13 bilangan gelombang, sampel E sebanyak 16 bilangan gelombang dan sampel F sebanyak 12 bilangan gelombang (Tabel 1).

Tabel 1. Frekuensi bilangan gelombang yang teramati berdasarkan 4 wilayah

Bilangan Gelombang	A	B	C	D	E	F	Total
400-1500	2	6	1	3	2	3	17
1500-2000	2	9	0	2	2	2	17
2000-2500	1	1	1	1	1	1	6
2500-4000	12	11	10	13	16	12	74
Total	17	27	12	19	21	18	114

Tabel 2. Frekuensi teramati dan harapan

Bilangan Gelombang	A	B	C	D	E	F	Total
400-1500	2 (2,54)	6 (4,03)	1 (1,79)	3 (2,83)	2 (3,13)	3 (2,68)	17
1500-2000	2 (2,54)	9 (4,03)	0 (1,79)	2 (2,83)	2 (3,13)	2 (2,68)	17
2000-2500	1 (0,89)	1 (1,42)	1 (0,63)	1 (1)	1 (1,11)	1 (0,95)	6
2500-4000	12 (11,4)	11 (17,53)	10 (7,79)	13 (12,33)	16 (13,63)	12 (11,68)	74
Total	17	27	12	19	21	18	114

Hasil uji kebebasan berdasarkan Tabel 2 diperoleh $X^2 = 14,722$, dimana jika dibandingkan dengan tabel nilai kritik sebaran Khi-kuadrat pada $X_{0,05} = 24,992$, maka nilai X^2 lebih kecil. Hal ini berarti bahwa pada taraf nyata $\alpha = 0,05$ bilangan gelombang tidak saling berkaitan dengan arang aktif. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Latifah *dkk* 2007 menunjukkan bahwa pengujian FTIR dapat mengelompokkan jenis bahan berdasarkan daerah sidik jarinya dengan nilai korelasi kalibrasi dan prediksi yang tinggi yaitu $> 95\%$. Hal ini disebabkan karena penelitian ini menggunakan bahan baku jenis yang sama walaupun telah dilakukan perlakuan awal pada bahan baku tersebut namun diduga perlakuan awal tidak signifikan dapat menghadirkan ikatan kimia yang spesifik dalam tiap-tiap jenis arang aktif.

Kualitas Arang Aktif Kayu Makila

Hasil pengujian kualitas arang aktif kayu makila (Tabel 3) menunjukkan bahwa rendemen tertinggi pada sampel C sebesar 87,40 persen dan rendemen terendah pada sampel E sebesar 81,43 persen. Daya jerap iodium tertinggi pada sampel E sebesar 792,6 mg/g dan daya jerap iodium terendah pada sampel F sebesar 489,6 mg/g, sedangkan untuk daya jerap benzena tertinggi pada sampel B sebesar 11,42 persen dan daya jerap benzena terendah pada sampel E sebesar 6,23 persen.

Tabel 3. Kualitas arang aktif kayu makila

Kode	Sampel	Rend (%)	Dj Iod (mg/g)	Dj Benzena (%)
A	Serbuk kayu makila	85,59	501,1	10,82
B	Serbuk kayu makila bebas ekstraktif polar	83,37	507,9	11,42
C	Serbuk kayu makila bebas ekstraktif non-polar	87,40	733,0	11,28
D	Serbuk kayu makila bebas ekstraktif semi-polar	84,98	497,6	7,54
E	Holoselulosa kayu makila	81,34	792,6	6,23
F	Partikel kayu makila	83,06	489,6	7,44
SNI 1995			≥ 750	≥ 25

Tabel 4. Korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap iodium arang aktif kayu makila

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	400-1500	1500-2000	2000-2500	2500-4000
400-1500				
1500-2000	0,9599			
2000-2500	0	0		
2500-4000	-0,1499	-0,1446	0	
DS Iodium	-0,5476	-0,3931	0	0,3660

Korelasi antara bilangan gelombang dan kualitas arang aktif dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Pada Tabel 4 korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap iodium bersifat negatif dan cenderung rendah, pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm⁻¹ sebesar -0,5476 dan pada wilayah bilangan gelombang 1500-2000 cm⁻¹ sebesar -0,3931. Sedangkan pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm⁻¹ bersifat positif dan cenderung rendah sebesar 0,3660 dan pada wilayah bilangan gelombang 2000-2500 cm⁻¹ nilainya nol (0) atau tidak terdapat korelasi.

Penetapan daya jerap iodium arang aktif bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 10 Angstrom atau 1 nm. Pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm⁻¹ dapat menyerap molekul dengan ukuran kurang dari 10 Angstrom walaupun lemah, hal ini karena gugus fungsi gugus yang terbentuk tidak semuanya dapat menyerap molekul dengan ukuran kurang dari 10 Angstrom. Menurut Stuart (2004) pada bilangan gelombang 2500-4000 cm⁻¹ didominasi oleh gugus fungsi hidroksil (OH) dan amida (NH).

Tabel 5. Korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap benzene arang aktif kayu makila

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	400-1500	1500-2000	2000-2500	2500-4000
400-1500				
1500-2000	0,9599			
2000-2500	0	0		
2500-4000	-0,1499	-0,1446	0	

DS Benzena	0,1902	0,3271	0	-0,8310
------------	--------	--------	---	---------

Pada Pada Tabel 5 korelasi bilangan gelombang dengan daya jerap benzena bersifat positif dan cenderung rendah, pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} sebesar 0,1902 dan pada wilayah bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1} sebesar 0,3271. Sedangkan pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1} bersifat negatif dan cenderung tinggi sebesar -0,8310 dan pada wilayah bilangan gelombang 2000-2500 cm^{-1} nilainya nol (0) atau tidak terdapat korelasi.

Penentuan daya jerap benzena arang aktif bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk menyerap gas yang bersifat non polar dengan ukuran 6 Angstrom. Pada penelitian ini wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} dan wilayah bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1} dapat menyerap molekul dengan ukuran dari 6 Angstrom namun cenderung sangat lemah karena gugus fungsi yang terbentuk sangat sedikit. Pada bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} cenderung didominasi oleh gugus fungsi yang mengandung mineral seperti silika, fosfor dan sulfur sedangkan pada bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1} cenderung didominasi oleh gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti ester, aldehida dan keton, dan gugus fungsi yang mengandung nitrogen seperti nitrat (Stuart 2004).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji kebebasan disimpulkan bahwa, pada taraf nyata $\alpha = 0,05$, bilangan bilangan gelombang tidak saling berkaitan dengan jenis arang aktif, sehingga keberadaan jenis arang aktif tidak dapat menentukan jenis ikatan kimia arang aktif. Daya jerap iodium arang aktif dapat dipengaruhi oleh ikatan kimia arang aktif pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} dimana semakin sedikit Jenis-jenis ikatan kimia arang aktif yang berada pada wilayah bilangan gelombang 400-1500 cm^{-1} daya jerap iodium semakin tinggi. Daya jerap benzena arang aktif dapat dipengaruhi oleh ikatan kimia arang aktif pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1} dimana semakin sedikit Jenis-jenis ikatan kimia arang aktif yang berada pada wilayah bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1} maka daya jerap benzene arang aktif semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Bahri, M., Calvo, L., Gilarranz, M.A. & Rodriguez, J.J. 2014. Diuron multilayer adsorption on activated carbon from CO₂ activation of grape seeds. *Chem Eng Comm.* 203(1) 103-113. DOI: 10.1080/00986445.2014.934447
- Beasley, M.M., Bartelink, E.J., Lacy, T. M. & Randy, M. 2014. Comparison of Transmission FT-IR, ATR, and DRIFT Spectra: Implications for Assessment of Bone Bioapatite Diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 46(2014): 16-22
- Berthomieu, C. & Hienerwadel, R. 2009. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynth Res* (2009) 101:157-170. DOI 10.1007/s11120-009-9439-x

- Budiman I, Hermawan D, Febrianto F, Pari G. 2019. Char properties and pollutant adsorption capability of oil palm shell using hydrothermal process. *Biomass Conversion and Biorefinery* 9 (4), 681-688.
- Darusman, L.K., Heryanto, R., Rafi, M., & Wahyuni, W.T. 2007. Potensi Daerah Sidik Jari Spektrum Inframerah Sebagai Penanda Bioaktivitas Ekstrak Tanaman Obat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 12 No.3. hlm. 154-162
- Efiyanti, L., Wati, S.A. & Maslahat, M. 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14 (2020) 94-108
- Fan, M., Dai, D. & Huang, B. 2012. *Fourier transform infrared spectroscopy for natural fibres*. In *Fourier transform-materials analysis: InTech*.
- Kenneth, A. & Judith, F. 2000. *Contemporary Instrumental Analysis Chapter Infrared and Raman Spectrometris: Vibrational Spectrometries*. Prentice Hall Internasional Inc. New Jersey.
- Lano, L.A., Ledo, M.E.S. & Nitsae, M. 2020. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) yang Diaktivasi dengan Kalium Hidroksida (KOH). *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, Vol. 5 (1): 8-15, Februari 2020. DOI: 10.24002/biota.v5i1.2948
- Lima, I.M., Boykin, D.L., Klasson, K.T. & Uchimiya, M. 2014. Influence of posttreatment strategies on the properties of activated chars from broiler manure. *Chemosphere* 95 (2014) 96-104. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.08.027
- Mentari, V.A., Handika, G. & Maulina, S. 2018. Perbandingan Gugus Fungsi Dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) Dan Asam Nitrat (HNO_3). *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 7, No. 1 (Maret 2018)
- Nandiyanto, A. B. D., Fadhlulloh, M. A., Rahman, T. & Mudzakir, A. 2016. Synthesis of carbon nanoparticles from commercially available liquified petroleum gas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 128(1), 012042.
- Nandiyanto, A. B. D., Putra, Z. A., Andika, R., Bilad, M. R., Kurniawan, T., Zuhijah, R. & Hamidah, I. 2017. Porous activated carbon particles from rice straw waste and their adsorption properties. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12, 1-11.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R. & Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscope of Organic Material. *Journal of Science & Technology*, Volume 4 Issue 1. 2019.
- Pujiono, F.E. & Mulyati, T.A. 2014. Potensi Karbon Aktif Dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Wiyata*, Vol. 1 No. 1 Tahun 2014
- Rahmat, S. & Suwarno. 2020. Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester. *Jurnal Infotekmesin* Vol.11, No.01, Januari 2020. DOI:10.35970/infotekmesin.v11i1.63 ;pp.14-23
- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G, Budiman I. 2020. Properties of sago waste charcoal using hydrothermal and pyrolysis carbonization. *Biomass Conversion and Biorefinery*. Doi.org/10.1007/s13399-020-00983-9
- Stuart, B. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sulistiyani, M. & Huda, N. 2018. Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. *Indo. J. Chem. Sci.* 7 (2) (2018)
- Urbaniak, W. & Donggala. 2012. *The Use of the Spectrometric Technique FT-IR-ATR to Examine the Polymers Surface*. InTech., 10.5772/48143