

POLA INFRAMERAH ARANG TEMPURUNG KELAPA HASIL PEMURNIAN MENGGUNAKAN ASAM

Vistarani Arini Tiwow¹, Meytij Jeanne Rampe², Henny Lieke Rampe³, dan Anastasya Apita²

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, Makassar

²Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano

³Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado

Email: vistatiwow@unm.ac.id

ABSTRAK

Kelapa merupakan salah satu tanaman industri yang memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Bagian kelapa yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi adalah tempurung kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola spektrum inframerah arang hasil pemurnian menggunakan asam klorida, asam asetat, dan asam nitrat. Tempurung kelapa dipirolisis pada suhu $\pm 300^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam selanjutnya dilakukan pemurnian dengan tiga jenis pelarut yaitu HCl, CH_3COOH , dan HNO_3 . Karakter masing-masing arang hasil pemurnian tersebut dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Spektrum FTIR menunjukkan puncak pita serapan dengan peningkatan intensitas yang signifikan menggunakan asam klorida (HCl). Karakteristik struktur arang karbon teridentifikasi dengan munculnya gugus fungsi C=O dan C=C.

Kata kunci: arang tempurung kelapa, gugus fungsi, asam, FTIR

ABSTRACT

Coconut is one of the industrial plants that plays an important role in the Indonesian economy. The part of coconut that has a high economic value is the coconut shell. This study was aimed to examine the infrared spectrum pattern of charcoal purified using hydrochloric acid, acetic acid, and nitric acid. Coconut shell was pyrolyzed at a temperature of $\pm 300^{\circ}\text{C}$ for 2 hours and then purified with three types of solvents, namely HCl, CH_3COOH , and HNO_3 . The character of each refined charcoal was analyzed using Fourier Transform Infrared (FTIR). The FTIR spectrum showed the absorption band peaks with a significant increase in intensity using hydrochloric acid (HCl). The structural characteristics of carbon charcoal were identified by the appearance of C=O and C=C functional groups.

Keywords: coconut shell charcoal, functional group, acid, FTIR

PENDAHULUAN

Di Sulawesi Utara khususnya di Desa Kauditan Kabupaten Minahasa Utara, tempurung kelapa dihasilkan dari petani kopra hanya digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pengolahan kelapa menjadi kopra, juga sebagai bahan bakar pemanggangan ikan atau bahan makanan lainnya. Bahkan masih banyak masyarakat yang menjual tempurung kelapa dengan harga relatif murah. Padahal jika tempurung kelapa tersebut diolah lebih lanjut akan menciptakan nilai tambah dari komoditas kelapa. Salah satu produk olahan tempurung kelapa yang mempunyai prospek adalah arang yang merupakan bahan baku dalam pembuatan briket yang pada proses selanjutnya akan dapat diolah sebagai karbon aktif (Setiawati & Suroto, 2010).

Tempurung kelapa menghasilkan produk yang bernilai tambah tinggi dari pengolahan tempurung kelapa adalah tepung batok, briket dan karbon aktif (Rampe dkk., 2013; Tangsathitkulchai dkk., 2016; Saputro dkk., 2020; Lee dkk., 2021). Tepung batok digunakan sebagai bahan pengisi untuk pembuatan lem resin sintesis, pengeboran minyak, plastik sintesis, komposit, papan multipleks, serta obat nyamuk bakar (Winarno, 2014)

Tempurung kelapa baik dijadikan arang karena memiliki sifat kekerasan yang baik, tingginya kadar karbon yang terikat dan rendahnya kadar abu mineral. Apabila tempurung kelapa dipirolisis maka produk utamanya adalah arang, sedangkan hasil samping komponen volatil, air, dan abu. Komponen penyusun arang antara lain karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur. Sebagian

besar pori-pori arang masih tertutup dengan hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lainnya juga masih mengandung unsur anorganik yaitu magnesium (Mg), Aluminium (Al), Kalium (K), Kalsium (Ca), Besi (Fe) (Rampe, 2015).

Arang dapat dibuat dengan pemanasan langsung atau tidak langsung dalam timbunan maupun tanur. Pada proses peruraian ini, selain arang dapat dihasilkan produk lain seperti destilat dan gas (Rampe dkk., 2014). Proses pemanasan tempurung kelapa akan menghasilkan perubahan bertahap. Pada tahap pertama dikenal dengan karbonisasi, sampel karbon menjadi kokas, kedua dikenal dengan tahap grafitisasi yaitu mengubah kokas menjadi grafit sehingga karbon dengan struktur yang belum teratur berkembang grafit yang strukturnya teratur.

Arang tempurung kelapa dapat diolah menjadi komoditas yang memiliki nilai tambah cukup besar yaitu karbon aktif. Karbon aktif dapat digunakan sebagai penyerap zat pengotor. Selain itu, dalam industri farmasi yaitu menjadi bahan dasar obat sakit perut atau dikenal norit. Diperkirakan pada masa yang akan datang permintaan karbon aktif yang berbahan dasar arang dari tempurung kelapa akan semakin meningkat (Simpala, 2018).

Pemurnian arang dilakukan untuk mendapatkan arang murni yang bebas dari senyawa anorganik yang nantinya digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai produk, biasanya menggunakan senyawa asam yang bertujuan untuk menghilangkan logam-logam yang terikat pada arang. Seperti yang telah dilakukan oleh Rampe dkk. (2011) arang direndam menggunakan pelarut asam klorida selama 24 jam untuk mendapatkan arang murni yang bebas dari mineral organik. Pelarut asam akan lebih mudah melarutkan zat-zat pengotor yang bersifat basa sehingga akan membentuk garam-garam anorganik.

Untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang masih terikat dalam arang maka dilakukan pemurnian dengan menggunakan tiga jenis pelarut yaitu asam klorida, asam asetat, dan asam nitrat. Pemurnian arang tersebut bertujuan untuk mendapatkan arang yang murni yang bebas dari zat-zat pengotor. Kemudian arang murni dianalisis dengan menggunakan metode analisis FTIR. Analisis ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel.

Spektroskopi FTIR dilengkapi dengan transformasi *Fourier* untuk mendeteksi dan

menganalisis hasil spektrum. Spektrum inframerah yang diperoleh adalah plot hubungan antara intensitas fungsi energi dengan panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorpsi yang terbentuk pada spektrum inframerah menggunakan tabel korelasi dan spektrum senyawa pembanding (Anam dkk., 2007).

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa yang diperoleh dari Desa Kauditan, Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah asam klorida, asam asetat, asam nitrat yang diperoleh dari E. Merck (Darmstadt, Germany).

Preparasi tempurung kelapa

Pengambilan bahan dasar tempurung kelapa dilakukan di Desa Kauditan secara random dengan massa 2 kg. Sampel dibersihkan dari sabut dan kotoran yang masih menempel pada tempurung menggunakan pisau. Sampel dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari. Proses penjemuran bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terkandung pada tempurung kelapa selama 1 minggu. Setelah itu, tempurung kelapa dibuat menjadi kepingan-kepingan dengan ukuran yang lebih kecil dengan cara ditumbuk menggunakan palu.

Karbonisasi

Sampel tempurung kelapa dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dengan tungku dalam kondisi tertutup rapat agar tidak ada oksigen yang masuk selama proses pemanasan. Tempurung kelapa dipirolisis pada suhu $\pm 300^\circ\text{C}$ selama 2 jam, kemudian diperoleh kepingan arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa hasil pirolisis dibersihkan dari arang sabut yang melekat dengan menggunakan pisau, kemudian arang tersebut dihaluskan sampai menjadi serbuk dengan cara menumbuk menggunakan lumpang porselen. Serbuk arang kemudian diayak dengan ayakan 40 Mesh untuk menyeragamkan ukuran partikel sehingga diperoleh serbuk karbon dengan ukuran partikel lolos ayakan 40 mesh.

Proses pemurnian

Serbuk arang yang telah diayak, kemudian dibagi menjadi enam sampel dengan

massa masing-masing 5 g. Selanjutnya, masing-masing direndam dengan asam klorida (1 M dan 2 M), asam asetat (1 M dan 2 M), asam nitrat (1 M dan 2 M) selama 24 jam. Rasio perbandingan volume 5:20 g/ml. Serbuk arang hasil yang telah direndam disaring dengan kertas saring Whatman No.42 kemudian dicuci dengan aquades sampai air cucian menunjukkan pH konstan. Serbuk arang hasil pemurnian dikeringkan dengan cara dimasukkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 12 jam.

Analisis arang hasil pemurnian dengan FTIR

Pengukuran spectra IR menggunakan spektrofotometer FTIR (Shimadzu, IRprestige-21) bekerja pada rentang scan 4000-340 cm^{-1} , resolusi 4 cm^{-1} , dan scan 2-3 detik. Sampel yang diuji dibuat dalam bentuk pellet KBr. Analisis FTIR menggunakan *software IRsolution* untuk pengukuran spektrum dan deteksi puncak. Selanjutnya, gugus fungsi yang terkandung pada arang tempurung kelapa diinterpretasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

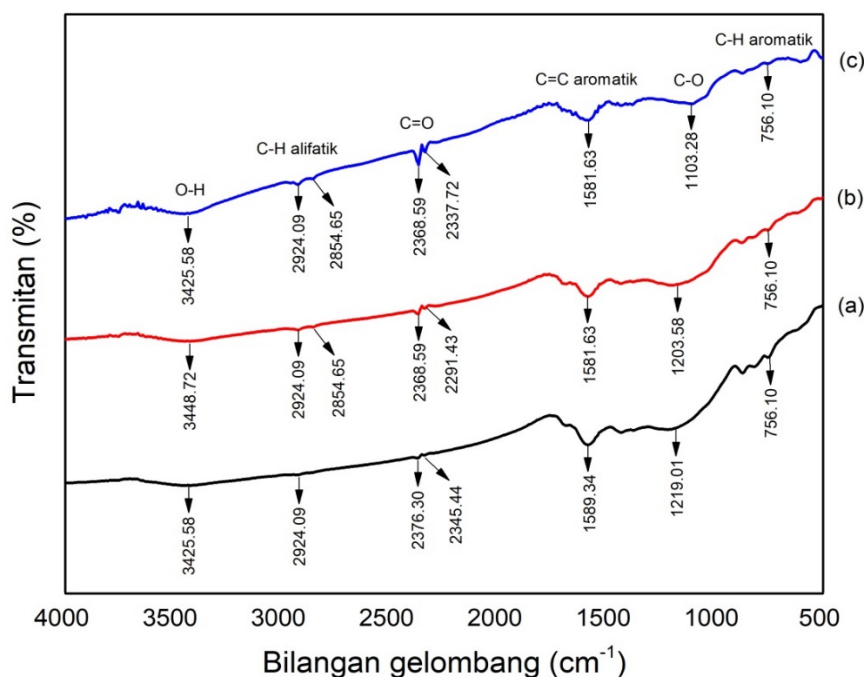
Spektrum FTIR arang hasil pemurnian dengan asam klorida

Spektrum FTIR arang hasil pirolisis dan arang hasil pemurnian dengan HCl (1 M dan 2 M) ditunjukkan pada Gambar 1. Tampak bahwa pola spektrum FTIR hampir sama. Sementara bilangan gelombang dan transmittan arang hasil

pirolisis dan pemurnian dengan asam klorida (HCl) ditunjukkan pada Tabel 1.

Gambar 1. menunjukkan gugus-gugus fungsi yang teridentifikasi antara lain serapan muncul pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus O-H. Serapan yang muncul pada bilangan gelombang 2900-2800 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C-H alifatik. Serapan pada bilangan gelombang 2300-1800 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=O yang merupakan gugus karbonil. Serapan pada bilangan gelombang 1500-1400 cm^{-1} mengindikasikan adanya C=C aromatik yang merupakan bentuk heksagonal arang. Serapan pada bilangan gelombang 1300-800 cm^{-1} teridentifikasi adanya gugus C-O. Selanjutnya serapan pada bilangan gelombang 700-400 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C-H aromatik dari hidrokarbon.

Berdasarkan Gambar 1 memperlihatkan terdapat pita serapan yang baru ketika diberi perlakuan pemurnian menggunakan HCl pada bilangan gelombang 2854,65 cm^{-1} . Selain itu, adanya pergeseran bilangan gelombang puncak pita serapan namun tidak signifikan. Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan peningkatan persen transmittan juga terjadi ketika arang dimurnikan menggunakan HCl. Tampak bahwa peningkatan konsentrasi HCl, maka persen transmittan juga meningkat secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa adanya penyusunan struktur heksagonal arang tempurung kelapa (Rampe & Santoso, 2021).



Gambar 1. Spektrum FTIR (a) Arang hasil pirolisis, (b) Arang hasil pemurnian dengan HCl 1 M dan (c) Arang hasil pemurnian dengan HCl 2 M.

Tabel 1. Bilangan gelombang dan transmittan arang hasil pirolisis dan pemurnian dengan asam klorida (HCl)

Arang hasil pirolisis		Arang hasil pemurnian HCl 1 M		Arang hasil pemurnian HCl 2 M		Gugus fungsi
Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmittan (%)	
3425,58	1,408	3448,72	4,772	3425,58	16,847	O-H
2924,09	2,077	2924,09	5,800	2924,09	19,975	C-H
		2854,65	6,103	2854,65	20,632	alifatik
2376,30	3,138	2368,59	7,371	2368,59	22,130	C=O
2345,44	3,330	2291,43	8,126	2337,72	23,533	
1589,34	3,985	1581,63	9,059	1581,63	26,951	C=C
						aromatik
1219,01	4,962	1203,58	10,144	1103,28	28,765	C-O
756,10	9,552	756,10	15,479	756,10	33,132	C-H
						aromatik

Spektrum FTIR arang hasil pemurnian dengan asam asetat

Spektrum FTIR arang hasil pirolisis dan arang hasil pemurnian menggunakan CH₃COOH (1 M dan 2 M) ditunjukkan pada Gambar 2. Pola spektrum FTIR memberikan puncak pita serapan yang hampir sama. Gambar 2 memperlihatkan bahwa terdapat pita serapan baru pada bilangan gelombang 2862,36 cm⁻¹ pada konsentrasi asam

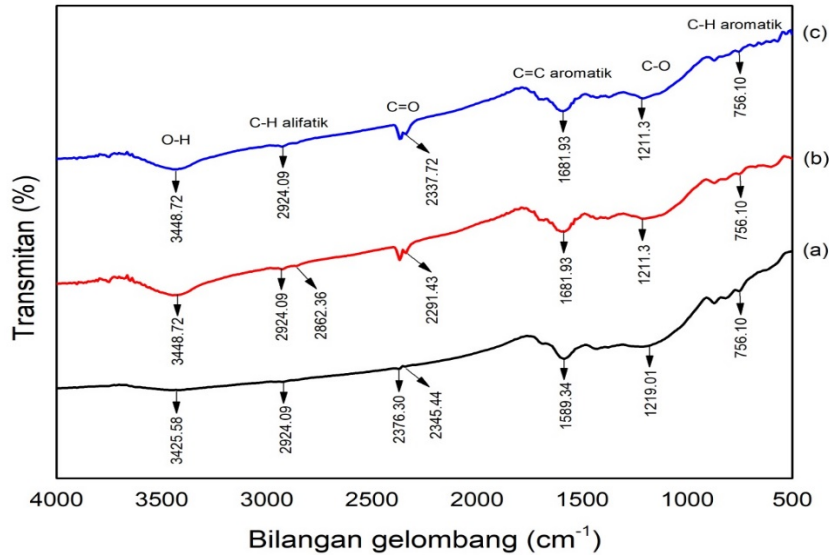
asetat 1 M dan juga adanya pergeseran bilangan gelombang.

Pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus O-H. Bilangan gelombang dengan puncak pita serapan 2900-2800 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi gugus C-H alifatik yang mengindikasikan senyawa hidrokarbon. Bilangan gelombang dengan puncak pita serapan muncul pada bilangan gelombang sekitar 2300 cm⁻¹ menunjukkan

vibarsi gugus C=O. Bilangan gelombang 1600-1400 cm^{-1} menunjukkan vibrasi gugus C=C aromatik. Bilangan gelombang dengan puncak pita serapan 1300-800 cm^{-1} menunjukkan vibrasi gugus C-O. Bilangan gelombang dengan puncak pita serapan 700-400 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi gugus C-H aromatik yang mengindikasikan adanya senyawa hidrokarbon.

Bilangan gelombang dan transmittan arang hasil pirolisis dan pemurnian dengan asam asetat (CH_3COOH) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tampak bahwa persen transmittan meningkat ketika arang tempurung kelapa dimurnikan menggunakan asam asetat 1 M namun tidak signifikan. Ketika konsentrasi asam asetat 2 M, maka persen transmittan menurun namun tidak signifikan juga. Baik pergeseran bilangan gelombang maupun perubahan persen transmittan mengindikasikan bahwa adanya penyusunan kembali struktur karbon yang diakibatkan oleh gugurnya zat-zat pengotor dalam arang (Rampe & Santoso, 2021).



Gambar 2. Spektrum FTIR (a) Arang hasil pirolisis, (b) Arang hasil pemurnian dengan CH_3COOH 1 M, dan (c) Arang hasil pemurnian dengan CH_3COOH 2 M

Tabel 2. Bilangan gelombang dan transmittan arang hasil pirolisis dan pemurnian dengan asam asetat (CH_3COOH)

Arang hasil pirolisis		Arang hasil pemurnian CH_3COOH 1 M		Arang hasil pemurnian CH_3COOH 2 M		Gugus fungsi
Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	
3425,58	1,408	3448,72	10,751	3448,72	7,94	O-H
2924,09	2,077	2924,09	13,832	2924,09	10,75	C-H alifatik
		2862,36	14,212			
2376,30	3,138	2337,72	15,741	2337,72	12,26	C=O
2345,44	3,330					
1589,34	3,985	1681,93	19,608	1681,93	16,53	C=C aromatik
1219,01	4,962	1211,30	19,803	1211,30	16,69	C-O
756,10	9,552	756,10	25,093	756,10	22,43	C-H aromatik

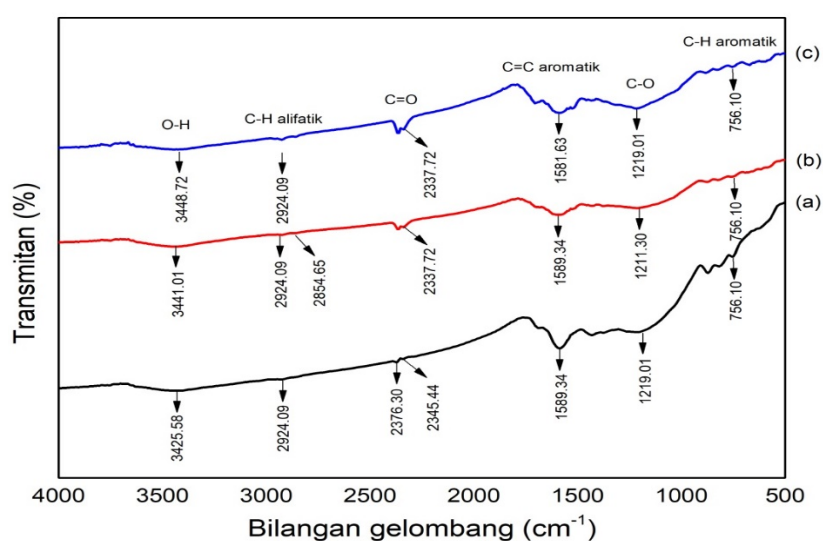
Spektrum FTIR arang hasil pemurnian dengan asam nitrat

Spektrum FTIR arang hasil pirolisis dan arang hasil pemurnian menggunakan asam nitrat (1 M dan 2 M) ditunjukkan pada Gambar 3. Pola spektrum FTIR arang tempurung kelapa hampir sama. Pola spektrum menunjukkan adanya puncak serapan yang bergeser bilangan gelombangnya serta terdapat puncak pita serapan yang baru konsentrasi asam nitrat 2 M di bilangan gelombang 2854,65 cm^{-1} .

Gambar 3 menunjukkan bahwa gugus fungsi O-H yang terus menerus muncul pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} . Gugus fungsi C-H alifatik yang muncul pada bilangan gelombang 2900-2800 cm^{-1} menunjukkan senyawa hidrokarbon yang terikat. Gugus C=O muncul pada bilangan gelombang sekitar 2300

cm^{-1} . Gugus C=C aromatik muncul pada bilangan gelombang 1700-1400 cm^{-1} . Gugus fungsi C-O muncul pada bilangan gelombang 1300-800 cm^{-1} . Selanjutnya gugus C-H aromatik muncul pada bilangan gelombang 700-400 cm^{-1} .

Bilangan gelombang dan transmittan arang hasil pirolisis dan pemurnian dengan asam nitrat (HNO_3) ditunjukkan pada Tabel 3. Tampak bahwa terjadi peningkatan namun tidak signifikan persen transmittan ketika arang tempurung kelapa dimurnikan menggunakan asam nitrat 1 M. Namun, ketika pada konsentrasi 2 M persen transmittan mengalami penurunan namun tidak signifikan. Fenomena ini menunjukkan bahwa terjadi penyusunan kembali struktur arang karbon membentuk heksagonal (Rampe & Santoso, 2021).



Gambar 3. Spektrum FTIR (a) Arang hasil pirolisis, (b) Arang hasil pemurnian dengan HNO_3 1 M, dan (c) Arang hasil pemurnian dengan HNO_3 2 M

Tabel 3. Bilangan gelombang dan transmittan arang hasil pirolisis dan pemurnian dengan asam nitrat

Arang hasil pirolisis		Arang hasil pemurnian HNO_3 1 M		Arang hasil pemurnian HNO_3 2 M		Gugus fungsi
Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Transmittan (%)	
3425,58	1,408	3441,01	3,14	3448,72	2,745	O-H
2924,09	2,077	2924,09	4,959	2924,09	3,546	C-H
		2854,65		2854,65	3,798	alifatik
2376,30	3,138	2337,72	6,158	2337,72	4,383	C=O
2345,44	3,330					
1589,34	3,985	1589,34	8,099	1581,63	5,732	C=C aromatik

Arang hasil pirolisis		Arang hasil pemurnian HNO ₃ 1 M		Arang hasil pemurnian HNO ₃ 2 M		Gugus fungsi
Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmitan (%)	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmitan (%)	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Transmitan (%)	
1219,01	4,962	1211,30	9,167	1219,01	6,109	C-O
756,10	9,552	756,10	16,05	756,10	9,496	C-H aromatik

Pemurnian dengan ketiga asam yang digunakan yaitu asam klorida, asam asetat, dan asam nitrat menunjukkan hasil pola pita serapan yang hampir sama. Perubahan pola pita serapan yang terjadi seperti adanya serapan yang baru dan perubahan intensitas serapan menunjukkan berkurangnya pengotor-pengotor pada arang. Peningkatan intensitas puncak pita serapan yang signifikan ditemukan pada pemurnian menggunakan asam klorida (HCl). Hal tersebut

mengindikasikan akan terjadi pembentukan senyawa aromatik yang merupakan penyusun struktur kristalit heksagonal dari arang. Berdasarkan gugus fungsi yang teridentifikasi (Tabel 4) menunjukkan bahwa kemunculan gugus C=O pada bilangan gelombang 2300-1800 cm⁻¹ dan C=C pada bilangan gelombang 1700-1400 cm⁻¹ mengindikasikan karakteristik dari struktur arang karbon (Tinga dkk, 2016; Tan dkk, 2017; Fahmi dkk, 2020).

Tabel 4. Pita serapan spektrum FTIR arang tempurung kelapa hasil pemurnian menggunakan asam

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)			Gugus Fungsi
HCl	CH ₃ COOH	HNO ₃	
3400	3400	3400	O-H
2900-2800	2900-2800	2900-2800	C-H alifatik
2300-1800	2300	2300	C=O
1500-1400	1600-1400	1700-1400	C=C aromatik
1300-1800	1300-800	1300-800	C-O
700-400	700-400	700-400	C-H aromatik

KESIMPULAN

Spektrum FTIR arang hasil pirolisis dan hasil pemurnian dengan asam klorida, asam asetat, dan asam nitrat menunjukkan bahwa puncak pita serapan dengan peningkatan intensitas yang signifikan menggunakan asam klorida (HCl). Karakteristik struktur arang karbon teridentifikasi dengan munculnya gugus fungsi C=O dan C=C.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam C., Sirojudin & Firdausi, K.S. 2007. Analisis gugus fungsi pada sampel uji bensin dan spiritus menggunakan metode spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*. 10(1), 79-85.
- Fahmi, F., Dewayanti, N.A.A., Widiyastuti, W. & Setyawan, H. 2020. Preparation of porous graphene-like material from coconut shell charcoals for supercapacitors. *Cogent Engineering*. 7(1), 1748962.
- Lee, K.C., Lim, M.S.W., Hong, Z.Y., Chong, S., Tiong, T.J., Pan, G.T. & Huang, C.M. 2021. Coconut shell-derived activated carbon for high-performance solid-state supercapacitors. *Energies*. 14(15), 4546.
- Rampe, M.J. 2015. Konversi arang tempurung kelapa menjadi elektroda karbon. *Chemistry Progress*. 8(2), 77-86.
- Rampe, M.J., Setiaji, B., Trisunaryanti, W. & Triyono. 2011. Fabrication and characterization of carbon composite from coconut shell carbon. *Indonesia Journal of Chemistry*. 11(2), 124-130.
- Rampe, M.J., Setiaji, B., Trisunaryanti, W. & Triyono. 2014. Analisis struktur mikro dan struktur kristal karbon tempurung kelapa dan polivinil alkohol (PVA) pada temperatur tinggi. *Chemistry Progress*. 7(2), 78-80.
- Rampe, M.J. & Santoso, I.R.S. 2021. Difraktogram X-Ray Diffraction Arang Tempurung Kelapa, Pekalongan, PT. Nasya Expanding Manajement.

- Rampe, M.J., Tiwow, V.A. & Rampe, H.L. 2013. Potensi arang hasil pirolisis tempurung kelapa sebagai material karbon. *Jurnal Sainsmat.* 2(2), 191-197.
- Saputro, E.A., Wulan, V.D.R., Winata, B.Y., Yogaswara, R.R. & Erliyanti, N.K. 2020. The process of activated carbon from coconut shells through chemical activation. *Natural Science: Journal of Science and Technology.* 9(1), 23-28.
- Setiawati, E. & Suroto. 2010. Pengaruh bahan aktivator pada pembuatan karbon aktif tempurung kelapa. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan.* 2(1), 21-26.
- Simpala, M. M. 2018. *Jejak Sukses Pengusaha Kelapa Indonesia.* Yogyakarta, CV. Andi Offset.
- Winarno, F. 2014. *Kelapa Pohon Kehidupan.* Jakarta, PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Tan, I.A.W., Abdullah, M.O., Lim, L.L.P. & Yeo, T.H.C. 2017. Surface modification and characterization of coconut shell-based activated carbon subjected to acidic and alkaline treatments. *Journal of Applied Sci. & Process Engineering.* 4(2), 186-194.
- Tinga, T.L., Jaya, R.P., Hassan, N.A., Yaacob, H., Jayanti, D.S. & Ariffin, M.A. M. 2016. A review of chemical and physical properties of coconut shell in asphalt mixture. *Journal Teknologi.* 78(4), 85-89.
- Tangsathitkulchai, C., Junpirom, S. & Katesa, J. 2016. Carbon dioxide adsorption in nanopores of coconut shell chars for pore characterization and the analysis of adsorption kinetics. *Journal of Nanomaterials.* 2016, 1-10.