

EFFECTS OF ZINC CHLORIDE IMPREGNATION ON THE CHARACTERISTICS OF POROUS CARBON FROM RICE HUSK

Arifah Sukasri^{1,*}, Ridhawati¹, Arfiyanti Suharto^{2,**}, Septiani Ayu Lestari²

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

Rice husk waste can cause environmental pollution because it has not been used optimally. Because of its high cellulose content, rice husk has a very good potential to be used as a source of porous carbon material. The purpose of this study was to utilize carbon sources from natural materials, namely rice husks and impregnate them with ZnCl₂ with various concentrations, analyze the characteristics of impregnated porous carbon, and examine its potential applications as an effort to utilize rice husk waste. Impregnation was carried out by reflux method at 100°C for 1 hour. The best results of the chemical composition is porous carbon with 30% ZnCl₂ impregnation include 2.62% moisture content, 22.84% ash content, 20.08% volatile matter content, 56.36% fixed carbon content, and 705.20 mg/g Iodine absorption. Impregnated carbon characterization test with FTIR has been carried out.

Keywords: rice husk, porous carbon, impregnation, activated carbon

ABSTRAK

Limbah sekam padi dapat menyebabkan polusi lingkungan karena belum digunakan secara optimal. Karena kandungan selulosanya yang tinggi, sekam padi mempunyai potensi yang sangat bagus untuk digunakan sebagai sumber material karbon berpori. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan sumber karbon dari bahan alam yaitu sekam padi dan mengimpregnasinya dengan ZnCl₂ dengan variasi konsentrasi, menganalisis karakteristik karbon berpori terimpregnasi, dan mengkaji potensi aplikasinya sebagai upaya pemanfaatan limbah sekam padi. Impregnasi dilakukan dengan metode refluks pada 100°C selama 1 jam. Hasil komposisi kimia terbaik diperoleh pada karbon berpori dengan impregnasi ZnCl₂ 30% yaitu kadar air 2.62%, kadar abu 22.84%, kadar zat terbang 20.08%, kadar karbon terikat 56.36%, dan daya serap Iodin 705.20 mg/g. Karbon berpori terimpregnasi ZnCl₂ dilakukan uji karakterisasi dengan FTIR.

Kata Kunci: sekam padi, karbon berpori, impregnasi, karbon aktif

1. PENDAHULUAN

Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan (BPS Sulawesi Selatan) menyatakan bahwa produksi padi pada tahun 2021 di Sulawesi Selatan mencapai 5,15 juta ton [1]. Proses penggilingan padi akan menghasilkan hasil samping berupa 15-20% sekam padi, 8-12% dedak padi atau bekatul, dan kurang lebih 5% menir atau bagian keras yang hancur [2]. Salah satu hasil samping penggilingan padi adalah sekam padi yang jika ditinjau dari data BPS Sulawesi Selatan akan dihasilkan kurang lebih 1,03 juta ton sekam padi yang hingga saat ini pemanfaatannya belum optimal sehingga berakhir menjadi limbah pertanian. Sekam padi mengandung 50% selulosa sehingga sangat potensial menjadi sumber material karbon berpori yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben.

Sifat dari karbon berpori yang diperoleh sangat bergantung kepada strukturnya yang ditentukan oleh jenis *starting material* maupun jenis faktor pengaktivasi. Pada aktivasi secara kimia, *starting material* diimpregnasi atau dicampur dengan agen pengaktivasi seperti HNO₃, H₃PO₄, NaOH, dan ZnCl₂ [3]. Gugus fungsional akan terbentuk selama proses aktivasi karena terjadi interaksi radikal bebas dengan atom seperti oksigen dan nitrogen pada permukaan karbon. Permukaan karbon berpori akan reaktif secara kimia dan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya [4].

Studi pendahuluan tentang pembuatan karbon berpori pernah dilakukan yaitu pembuatan karbon aktif dari sekam padi dengan pengaktivasi H₂SO₄ [5], pembuatan karbon aktif dari tangkai anggur dengan impregnasi ZnCl₂ [6], pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sebagai adsorben fenol [7]. Suhdi dan Wang, 2021 membuat karbon aktif dari kulit buah karet terimpregnasi ZnCl₂ dan KOH, dengan rasio impregnasi masing-masing 1:3, 1:4, dan 1:5. *Slurry* dihomogenkan pada 1000

¹ Korespondensi penulis: Arifah Sukasri, Telp 085743543579, arifahsukasri@poliupg.ac.id

rpm selama 1,5 jam. Pada aktivasi $ZnCl_2$ slurry dipanaskan 500 °C selama 1 jam lalu dicuci HCl untuk menghilangkan residu. Dilakukan analisis proksimat, diperoleh kadar karbon terikat yang meningkat [8].

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam preparasi karbon berpori adalah sekam padi, zink klorida, aquades, larutan Iod, $Na_2S_2O_3$. Limbah sekam padi diperoleh dari penggilingan padi di Kab. Maros. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah timbangan analitik, peralatan gelas kimia, *magnetic stirer*, serangkaian alat refluks, oven, dan instrumen FTIR.

Pada proses karbonisasi sekam padi, dilakukan pencucian untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada sekam padi. Sekam padi yang bersih dijemur di bawah sinar matahari sampai kering sekitar 1 hari. Selanjutnya dimasukkan ke dalam tungku pembakaran lalu dibakar selama 40 menit hingga sekam padi menjadi karbon (sampai menjadi arang). Karbon yang diperoleh dari hasil pembakaran kemudian didinginkan. Karbon yang dihasilkan dihaluskan dan diayak dengan ukuran 60 mesh. Karbon yang lolos ayakan siap untuk tahap impregnasi

Pada prosedur impregnasi karbon berpori, sebanyak 10 gram karbon berpori dari sekam padi masing-masing diimpregnasi dengan larutan $ZnCl_2$ 10%, 20%, dan 30% dengan metode refluks. Proses refluks dilakukan selama 1 jam pada suhu 100°C. Setelah refluks selesai, larutan didinginkan, disaring, dan dipisahkan antara filtrat dan residu. Residu yang diperoleh dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali dan diukur hingga pH netral ± 7 . Residu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga diperoleh bobot konstan. Diperoleh tiga sampel karbon berpori terimpregnasi $ZnCl_2$. Produk material berpori yang dihasilkan didinginkan dan dianalisis karakteristiknya menggunakan FTIR

Pada penentuan daya serap karbon aktif terhadap Iod, sebanyak 0,5 gr karbon aktif dimasukkan ke dalam Erlenmeyer lalu ditambahkan 25 mL larutan Iod 0,1 N. Larutan dikocok selama 15 menit kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh diambil 10 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer untuk dititrasi. Sebagai peniter adalah larutan $Na_2S_2O_3$ 1 N. Ke dalam erlenmeyer ditambahkan indikator amilum sebanyak 3 tetes. Larutan dititrasi sampai warna biru tepat hilang.

Analisis komposisi kimia karbon aktif dilakukan terhadap ketiga karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ meliputi analisis kadar air, analisis kadar abu, analisis kadar zat terbang, dan analisis kadar karbon terikat.

Pada penentuan gugus fungsi dari karbon aktif, gugus fungsi dari karbon berpori yang telah diimpregnasi dengan $ZnCl_2$ dengan variasi konsentrasi yaitu 10%, 20%, dan 30% dianalisis menggunakan FTIR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ 10%, 20%, dan 30% dilakukan analisis komposisi kimianya meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon terikat. Kami membandingkan hasil analisis komposisi kimia karbon berpori yang telah diimpregnasi dengan berbagai variasi konsentrasi $ZnCl_2$. Berikut hasil analisis yang diperoleh dari penelitian, dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan kualitas karbon aktif sesuai persyaratan SNI No.06-3730-1995 tertuang dalam Tabel 2 [9]. Adapun Komposisi kimia karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ disajikan dalam Gambar 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Komposisi Kimia Karbon Aktif Terimpregnasi $ZnCl_2$

Karbon aktif terimpregnasi	Kadar Air	Kadar Abu	Kadar Zat Terbang	Kadar Karbon Terikat	Daya Serap Iod
$ZnCl_2$ 10%	3.85 %	38.96 %	24.53 %	36.51 %	680.47 mg/g
$ZnCl_2$ 20%	3.96 %	32.20 %	21.03 %	46.77 %	655.71 mg/g
$ZnCl_2$ 30%	2.62 %	22.84 %	20.08 %	56.36 %	705.20 mg/g

Tabel 2. Kualitas karbon Aktif Berdasarkan Persyaratan SNI

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar Air	Maksimum 15%
Kadar Abu	Maksimum 10%
Kadar Zat Mudah Menguap	Maksimum 25%
Kadar Karbon	Minimal 65%
Bilangan Iodin	Minimal 750 mg/g



Gambar 1. Komposisi kimia karbon aktif terimpregnasi ZnCl₂ dengan berbagai konsentrasi

Analisis Kadar Air Karbon Berpori

Kandungan air dari karbon aktif terimpregnasi ZnCl₂ dengan variasi konsentrasi 10%, 20%, dan 30% telah dianalisis dengan tujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon berpori tersebut. Larutan pengimpregnasi ZnCl₂ berfungsi sebagai agen dehidrasi yang mampu mendehidrasi biomassa yang ditandai adanya perubahan warna mejadi kehitaman dan tekstur campuran menjadi lengket [10]. Dari Tabel 1. dapat dilihat bahwa kadar air dari karbon aktif terimpregnasi ZnCl₂ 10%, 20%, dan 30% memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan persyaratan SNI No 06-3730-1995 dimana kadar air maksimum suatu karbon aktif adalah 15%. Hal ini menunjukkan keberhasilan ZnCl₂ sebagai bahan pengimpregnasi dalam mengikat molekul air yang terkandung dalam karbon aktif. Esterlita (2015) mengemukakan bahwa zat asam seperti ZnCl₂ dan H₃PO₄ akan lebih baik digunakan sebagai aktivator dalam pembuatan karbon aktif daripada zat basa karena karbon aktif merupakan material lignoselulosa yang memiliki kandungan oksigen tinggi. ZnCl₂ dan H₃PO₄ akan bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen dalam karbon aktif tersebut [11].

Analisis Kadar Abu Karbon Berpori

Abu yang terkandung dalam karbon berpori menggambarkan kandungan oksida logam yang terdapat didalamnya. Kadar abu yang tinggi akan menyebabkan tersumbatnya karbon aktif sehingga mengurangi luas permukaan karbon aktif [5]. Kadar abu karbon berpori terimpregnasi ZnCl₂ dengan konsentrasi 10%, 20%, dan 30% berturut-turut yaitu 38.96%, 32.20% dan 22.84%. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa impregnasi karbon berpori dengan bertambahnya konsentrasi ZnCl₂ berhasil menurunkan kadar abu karbon berpori dimana konsentrasi ZnCl₂ tertinggi menghasilkan kadar abu terendah seperti terlihat dari Gambar 1. Hal ini disebabkan tingginya konsentrasi ZnCl₂ akan semakin melarutkan tar dan mineral organik yang menutupi pori karbon ini.

Namun, dari Tabel 1. dapat dilihat bahwa kadar abu yang dihasilkan masih terlalu tinggi dan belum memenuhi standar sesuai persyaratan SNI dimana kadar abu maksimal dari karbon berpori adalah 10%. Kandungan abu yang tinggi merupakan hal yang tidak diinginkan dalam pembuatan karbon aktif karena akan mengurangi kekuatan mekanik dari karbon aktif dan mempengaruhi kapasitas adsorpsi [12]. Febriyantri (2017) mengatakan bahwa tingginya kadar abu dapat terjadi karena pada saat proses karbonisasi terbentuk garam mineral sehingga akan terbentuk partikel halus dari garam mineral tersebut. Kadar silikat yang tinggi juga akan menyebabkan tingginya kadar abu [13].

Analisis Kadar Zat Terbang Karbon Berpori

Kandungan zat terbang yang terdapat di dalam karbon aktif juga ditentukan dalam penelitian ini. Kadar zat terbang dalam karbon aktif menunjukkan kandungan senyawa yang mudah menguap yang terkandung didalamnya. Menurut standar SNI 06-3730-1995, kadar zat terbang karbon aktif maksimal sebesar 25%. Dari ketiga variasi konsentrasi ZnCl₂ yang digunakan untuk impregnasi karbon berpori, hasil kadar zat terbang memenuhi standar kualitas karbon aktif walaupun masih relatif tinggi. Kadar zat terbang semakin menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi ZnCl₂.

Menurut Suhdi (2021) menurunnya kandungan zat terbang terjadi karena aktivator ZnCl₂ mendegradasi struktur permukaan karbon aktif sehingga zat terbang yang ada dengan mudah akan hilang [8].

Bertambahnya konsentrasi $ZnCl_2$ dapat mempermudah penghilangan material ringan dan zat mudah menguap melalui runtuhnya ikatan alifatik dan aromatik dalam karbon berpori [14]. Kadar zat terbang masih bisa diturunkan dengan cara meningkatkan suhu karbonisasi. Peningkatan suhu karbonisasi akan menguapkan senyawa yang mudah menguap yang masih tertinggal dan akan meningkatkan jumlah pori yang terbentuk [15].

Analisis Kadar Karbon Terikat

Analisis kadar karbon terikat dilakukan agar kandungan atau presentase karbon murni yang dihasilkan dalam karbon aktif dapat diketahui. Perhitungan kadar karbon terikat didasarkan pada pengurangan 100% karbon dengan kadar abu dan kadar zat mudah menguap [16]. Dari Gambar 1. terlihat peningkatan kadar karbon terikat yang cukup signifikan dengan bertambahnya konsentrasi $ZnCl_2$ meskipun belum memenuhi standar kualitas karbon aktif dimana kadar karbon terikat minimum sebesar 65%. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi rendah, $ZnCl_2$ akan bereaksi dengan H dan O pada permukaan karbon berpori dan membentuk H_2O dan H_2 , daripada membakar karbon (CO dan CO_2), yang mengarah ke hasil yang lebih tinggi, seperti penelitian yang dilakukan oleh Varila (2017) [17]. Tinggi rendahnya kadar karbon terikat yang diperoleh dari karbon berpori sangat dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin sekam padi yang dapat dikonversi menjadi atom karbon [18].

Analisis Bilangan Iod

Adsorpsi Iodium adalah metode adsorpsi cepat dan sederhana untuk menentukan kapasitas penyerapan dari karbon aktif, yang juga dikenal sebagai bilangan Iodin. Bilangan Iodin merupakan ukuran kandungan mikropori dari karbon aktif. Bilangan Iodin yang lebih tinggi menandakan porositas mikro yang lebih tinggi pula dalam sampel. Dalam penelitian, daya serap Iod dalam ketiga karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ masih belum memenuhi standar SNI. Daya serap Iod dengan larutan $ZnCl_2$ 10% sebesar 680,47 mg/g dan menurun pada $ZnCl_2$ 20% menjadi 655,71 mg/g. Namun, kembali meningkat dengan meningkatnya konsentrasi $ZnCl_2$ 30% sebagai larutan pengimpregnasi yaitu sebesar 705,20 mg/g.

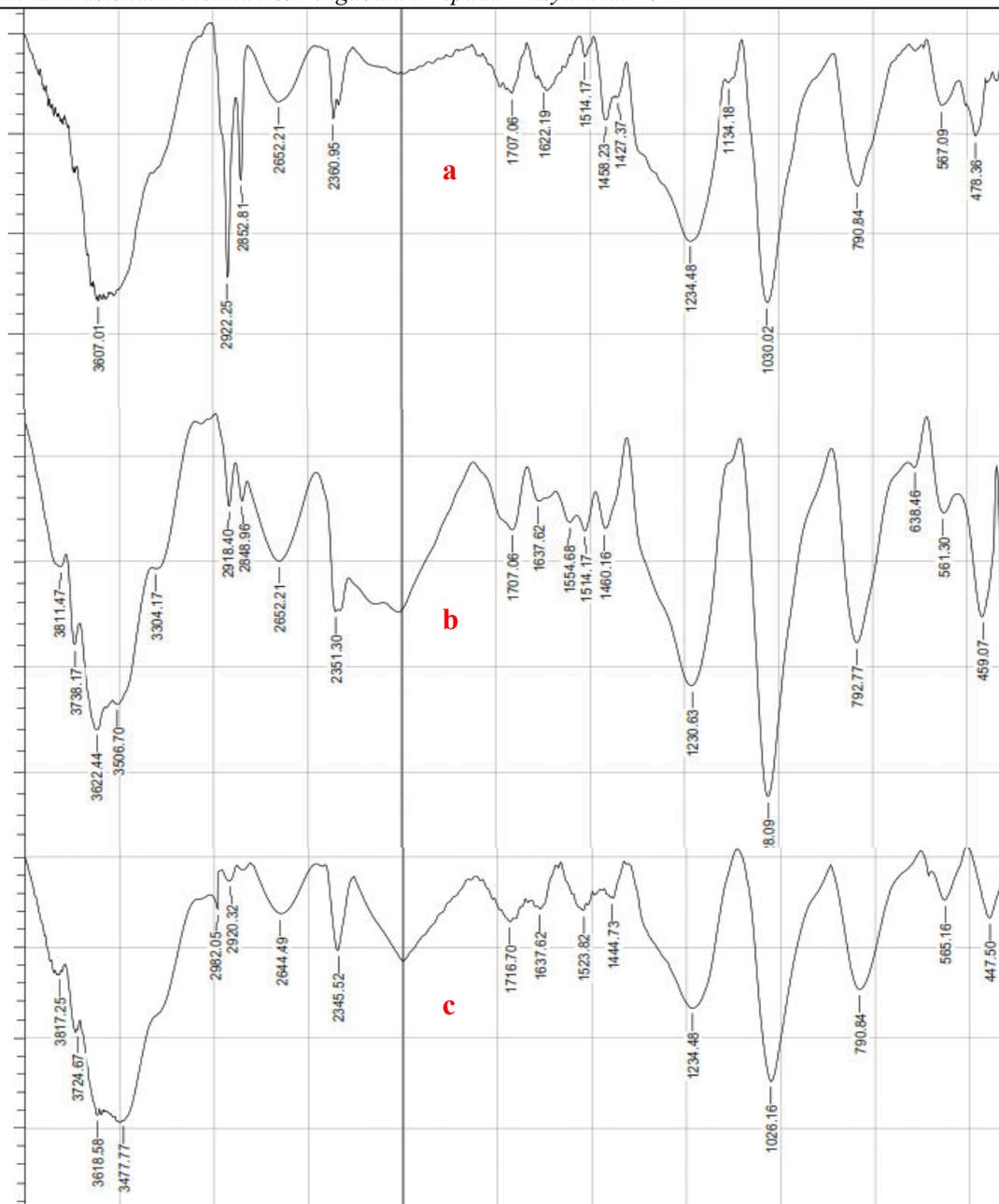
Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ozdemir yang melakukan pembuatan karbon aktif dari tangkai anggur dengan impregnasi $ZnCl_2$. Bilangan Iod ditemukan meningkat secara bertahap dengan meningkatnya rasio $ZnCl_2$ /tangkai anggur. Rasio $ZnCl_2$ yang lebih besar akan menyebabkan lebih banyak situs aktif dan lebih banyak pori yang terbentuk di dalam sampel, sehingga dapat meningkatkan bilangan Iod [6]. Peningkatan konsentrasi $ZnCl_2$ sebagai larutan pengimpregnasi akan menyebabkan pori yang terbentuk semakin banyak sehingga daya serap karbon aktif juga meningkat [7].

Analisis Gugus Fungsi

Karbon berpori yang telah diimpregnasi dengan larutan $ZnCl_2$ dianalisis gugus fungsinya menggunakan spektrofotometer infra merah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan struktur kimia yang terjadi terhadap ketiga karbon berpori terimpregnasi $ZnCl_2$ 10%, 20%, dan 30%. Berdasarkan Gambar 2. dapat dilihat ketiga FTIR karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ mempunyai spektra yang hamper mirip. Pada karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ 10% ada serapan pada 3607.01 yang merupakan vibrasi O-H *stretching* dari senyawa aromatik. Namun, muncul serapan baru pada karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ 20% dan 30% yaitu bilangan gelombang 3506.70 cm^{-1} dan 34477.77 cm^{-1} yang mengindikasikan berkurangnya gugus O-H karena masuknya senyawa pengimpregnasi [19]. Impregnasi dengan meningkatnya konsentrasi $ZnCl_2$ menyebabkan perubahan derajat keasaman permukaan karbon aktif. Permukaan karbon aktif yang awalnya bersifat basa akan berubah asam dengan adanya impregnasi $ZnCl_2$.

Serapan pada bilangan gelombang 2800-2950 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C-H alifatik, 1600-1750 cm^{-1} adalah serapan yang menunjukkan vibrasi C=C dan C=O dari struktur aromatik [20]. Gugus C≡C alkuna ditemukan pada serapan 2360.95 (impregnasi $ZnCl_2$ 10%) dan bergeser pada 2351.30 cm^{-1} (impregnasi $ZnCl_2$ 20%) serta 2345.52 cm^{-1} (impregnasi $ZnCl_2$ 30%). Serapan pada 1234.48 cm^{-1} (impregnasi $ZnCl_2$ 10%), 1230.63 cm^{-1} (impregnasi $ZnCl_2$ 20%), dan 1234.48 cm^{-1} (impregnasi $ZnCl_2$ 30%) adalah vibrasi C-O yang mengindikasikan bahwa karbon aktif terimpregnasi cenderung lebih polar. Serapan pada bilangan gelombang 567.09 cm^{-1} dan sedikit bergeser pada impregnasi $ZnCl_2$ 20% dan 30% adalah C-X [18].

Serapan tajam pada bilangan gelombang sekitar 790 cm^{-1} dan 1030 cm^{-1} merupakan vibrasi Si-O-Si yang menunjukkan bahwa karbon aktif terimpregnasi masih mengandung silika karena senyawa penyusun sekam padi sebagian besar adalah silika anorganik.



Gambar 2. Spektra FTIR karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ (a) 10% (b) 20% dan (c) 30%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa impregnasi $ZnCl_2$ dengan variasi konsentrasi ke dalam karbon berpori dari sekam padi telah berhasil dilakukan. Hasil karbon aktif terbaik yaitu karbon aktif terimpregnasi $ZnCl_2$ 30% dengan komposisi kimia 2.62% kadar air, 22.84% kadar abu, 20.08% kadar zat terbang, 56.36% kadar karbon terikat, dan daya serap Iod sebesar 705.20 mg/g. Identifikasi gugus fungsi dengan FTIR dari ketiga karbon aktif terimpregnasi tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Ketiga karbon aktif menunjukkan adanya vibrasi O-H, C-H, C=C aromatik, C≡C, C-O, C-X, dan Si-O-Si.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini didanai oleh DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang Nomor: B/14/PL10.11/PT.01.05/2022, Tanggal 7 Juni 2022 sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Kami ucapkan terima kasih kepada Direktur PNUP, Ketua Jurusan, staf dan analis Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah banyak membantu.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. Luas Panen dan Produksi Padi di Sulawesi Selatan 2021. BPS Nasional, 2021
- [2] Supriadi, Ryan. Efektivitas Alat Pembakaran Sekam Padi (Oriza Sativa L) Berceerobong. Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, 2018
- [3] Ziezio, M., Charmas, B., Jedynek, K., Hawryluk, M., Kucio, K. Preparation and characterization of activated carbon obtained from the waste materials impregnated with phosphoric acid(V). Applied Nanoscience (2020) 10:4703-4716
- [4] Hu L, Zhu Q, Wu Q, et al. Natural Biomass-Derived Hierarchical Porous Carbon Synthesized by an in Situ Hard Template Coupled with NaOH Activation for Ultrahigh Rate Supercapacitors. ACS Sustain Chem Eng. 2018;6:13949–13959
- [5] Sukasri, A., Ridhawati, R., Yasser, M., Khatimah, M. H., & St Rabiatul Adwiah, M. (2021). UTILIZATION OF RICE HUSK WASTE AS A SOURCE OF POROUS CARBON MATERIAL. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (pp. 76-81)
- [6] Ozdemir, I., Sahin, M., Orhan, R., Erdem, M. Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation. Fuel Processing Technology 125 (2014) 200-206
- [7] Pambayun, G.S., Yulianto, R.Y.E., Rachimoallah. M., Putri, E.M.M. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. Jurnal Teknik POMITS Vol.2, No.1, (2013) ISSN : 2337-3539
- [8] Suhdi; Wang, S.-C. Fine Activated Carbon from Rubber Fruit Shell Prepared by Using ZnCl₂ and KOH Activation. Appl.Sci. 2021, 11, 3994
- [9] Sahara, E., Sulihingtyas, W.D., Mahardika, I.P.A.S., Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta*) yang Diaktivasi dengan H₃PO₄. Jurnal Kimia 11(1), Januari 2017 : 1-9
- [10] Kristianto, H. Review : Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl₂. Jurnal Integrasi Proses Vo.6, No.3 (Juni 2017) 104-111
- [11] Esterlita, M.O., Herlina, N. Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga Pinnata*). Jurnal Teknik Kimia USU, Vol.4, No.1 (Maret 2015)
- [12] Abdullah, A.H., Zainal, Z., Kassim, A., Hussein, M.Z. Preparation and Characterization of Activated Carbon from Gelam Wood (*Melaleuca cajuputi*). Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol.7 No.1 (2001) 65-68
- [13] Febriyantri, H.Z. Sintesis dan Karakterisasi Karbon Tandan Pisang sebagai Adsorben dengan Aktivator ZnCl₂ untuk Adsorpsi Larutan Fenol. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 2017
- [14] Hock, P.E., Zaini, M.A.A. Activated carbons by zinc chloride activation for dye removal -a commentary. Acta Chimica Slovaca, Vol.11, No.2, 2018, pp.99-106
- [15] Kusdarini, E., Budianto, A., Ghafarunnisa, D., Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H₃PO₄ Kombinasi H₃PO₄-NH₄HCO₃ dan Termal. Reaktor 17(2) 2017:74-80
- [16] Efiyanti, L., Paramasari, A., Hastoeti, P., Setiawan, D., Hastuti, N., Sari, N.R., Iryani, A. Karakterisasi dan Adsorpsi Karbon Tersulfonasi dari Bambu Andong dengan Perbedaan Ukuran Partikel. Jurnal Penelitian Hasil Hutan Vol.40 No.2, Juli 2022 : 115-124
- [17] Varila, T., Bergna, D., Lahti, R., Romar, H., Hu, T., Lassi, U. Activated Carbon Production from Peat Using ZnCl₂ : Characterization and Applications. BioResources 12(4), (2017) 8078-8092
- [18] Maulina, S., Iriansyah, M. Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder. IOP Conf.Series : Materials Sciences and Engineering 309 (2018) 012072
- [19] Astuti, W., Handayani, A.D., Wulandari, D.A. Adsorption of Methyl Violet onto Activated Carbon from Coconut Shell Waste with ZnCl₂ Activation using Microwave Heating. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Vol.13, No.2, Hlm.189-200, 2018
- [20] Altintig, E., Acar, I., Altundag, H., Ozyildirim, O. Production of Activated Carbon From Rice Husk to Support Zn²⁺ Ions. Fresenius Environmental Bulletin – January 2015.