ISSN 2075-9083 (Print)
ISSN 2075-9075 (Onlline)

JURNAL TEKNIK KIMIA VOKASIONAL

Vol. 5, No. 2, September 2025, hal. 38–45
doi: 10.46964/jimsi.v5i2.1503

PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR SENG KLORIDA ($ZnCl_2$) DALAM PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN BAKU CANGKANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) DENGAN METODE PIROLISIS

Muhammad Idham Kasbi Samara[1)], Surga Wiyanda[2)], dan Firman[3,*)]

[1,2,3)]Program Stuudi D4 Teknologi Kimia Industri, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia.

[*)] Email : firman.kimia@polnes.ac.id

(Received : 01-06-2025; Revised: 30-09-2025; Accepted:30-09-2025)

Abstrak

Cangkang kelapa sawit adalah bagian produk samping atau limbah yang dihasilkan dalam proses pengolahan tandan buah segar (TBS) yang mengandung beberapa senyawa seperti lignin,selulosa dan hemiselulosa. Cangkang kelapa sawit seringkali dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar sebagai hasil samping dari industri kelapa sawit dan biasanya digunakan untuk bahan bakar boiler sebagai alternatif penggunaan batubara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi seng klorida ($ZnCl_2$) terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan dengan metode pirolisis dari bahan baku cangkang kelapa sawit yang mengacu pada standar SNI 06-3730-1995.. Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit di peroleh dengan proses pirolisis oksidasi parsial selama 1,5 jam dengan temperatur pirolisis 350°C dan diaktivasi dengan larutan $ZnCl_2$, kemudian aktivasi fisika pada temperatur 750°C selama 3 jam. Penentuan kualitas karbon aktif dilakukan dengan variasi konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ yaitu 5%,10%,15%,20% dan 25% dengan waktu perendaman selama 24 jam pada masing masing larutan sebanyak 25ml dan massa karbon aktif sebesar 10g. Di peroleh hasil terbaik pada konsentrasi 20% yaitu menghasilkan nilai kadar air 2,84%, kadar abu 7,98%, kadar zat menguap 11,36%, *fixed carbon* 77,83% dan daya serap iod sebesar 801,653mg/g.

Kata kunci : cangkang kelapa sawit, karbon aktif, pirolisis, $ZnCl_2$

Abstract

Palm oil shells are a by-product or waste produced in the processing of fresh fruit bunches (FFB) which contain several compounds such as lignin, cellulose and hemicellulose. Palm oil shells are often produced in quite large quantities as a by product of the palm oil industry and are usually used as boiler fuel as an alternative to coal. The aim of this research is to determine the effect of zinc chloride (ZnCl2) concentration on the quality of active carbon produced by the pyrolysis method from palm oil shell raw materials which refers to the SNI 06-3730-1995 standard. Active carbon from palm oil shells is obtained by partial oxidation pyrolysis process for 1.5 hours with a pyrolysis temperature of 350°C and activated with ZnCl2 solution, then physical activation at a temperature of 750°C for 3 O'clock. Determination of the quality of activated carbon was carried out by varying the concentration of the ZnCl2 activator, namely 5%, 10%, 15%, 20% and 25% with a soaking time of 24 hours in 25 ml of each solution and a mass of 10 g of activated carbon. The best results were obtained at a concentration of 20%, namely producing a water content of 2.84%, ash content of 7.98%, volatile matter content of 11.36%, fixed carbon of 77.83% and an iodine absorption capacity of 801.653mg/g.

Keywords : *activated carbon, palm oil shell, pyrolysis, $ZnCl_2$*

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

PENDAHULUAN

Cangkang kelapa sawit merupakan produk samping atau limbah kelapa sawit yang berwujud padat dan memiliki jumlah yang relatif banyak dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur, produksi kelapa sawit pada tahun 2022 mencapai angka 16,94 juta ton dengan luas areal tanaman seluas 1,41 juta hektar (Timur, 2023). Cangkang kelapa sawit dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif karena cakang kelapa sawit mengandung lignin sebesar 29,4%, selulosa sebesar 26,6%, dan hemiselulosa 27,7%, selain itu cangkang kelapa sawit ini termasuk kedalam bahan berlignoselulosa yang memiliki berat jenis yang besar (Hartanto & Ratnawati, 2010). Dengan menggunakan bahan baku dari cangkang kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*), diharapkan arang aktif yang di hasilkan lebih banyak. Pembuatan arang aktif dapat dilakukan dengan proses aktivasi fisika, kimia maupun kombinasi keduanya (Amna dkk.,2024).

Proses aktivasi fisika dapat dilakukan dengan menggunakan pemanasan pada suhu tinggi sedangkan aktivasi kimia dapat dilakukan dengan perendaman arang menggunakan aktivator (bahan kimia). Ada beberapa senyawa kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator dalam proses aktivasi arang aktif yaitu KOH, H2SO4, ZnCl2, dan HCl. Beberapa aktivator tersebut memberi pengaruh yang berbeda terhadap luas permukaan maupun volume pori-pori arang aktif yang dihasilkan. Manfaat aktivasi kimia terhadap suatu adsorben adalah untuk dapat meningkatkan kinerja adsorpsi suatu adsorben karena melalui suatu proses aktivasi akan terjadi pembersihan terhadap pengotor-pengotor yang terikat pada permukaan adsorben serta mampu meningkatkan luas pori-pori dari adsorben sehingga dapat menghasilkan proses adsorpsi yang lebih efektif. Salah satu aktivator yang dapat digunakan dalam pembuatan karbon aktif yaitu Seng klorida ($ZnCl_2$).

Proses aktivasi adalah proses yang bertujuan untk memperbesar pori-pori karbon aktif dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan agar terjadi perubahan sifat fisika dan sifat kimia sehingga luas permukaannya bertambah besar serta memiliki daya adsorpsi yang baik. Pada proses ini diperlukan penggunaan cairan atau padatan berupa asam, basa, atau garam yang digunakan sebagai aktivator. Jenis aktivator yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas dari pembuatan suatu karbon aktif. Suatu karbon yang belum diaktivasi tidak dapat digunakan sebagai karbon aktif dikarenakan struktur porosnya tidak berkembang. Adapun faktor yang mempengaruhi proses aktivasi yaitu waktu, temperatur, ukuran partikel, rasio, dan jenis aktivator. Aktivasi dibagi menjadi dua cara yaitu secara kimia dan fisika (Hatina & Winoto, 2020).Menurut SNI 06 3730-1995 karbon aktif yang baik mempumyai persyaratan yang tercantuk pada tabel 1.

Tabel 1. Standar SNI Karbon Aktif

Karakteristik	Mutu
Kadar Air	Maksimum 15%
Kadar Abu	Maksimum 10%
Kadar Zat Menguap	Maksimum 25%
Fixed Carbon	Minimum 65%
Daya Serap Iod	Minimum 750 mg/g

Dari beberapa penelitian yang dilakukan oleh, (Permana dkk., 2019) dan (Gani dkk., 2021) diketahui bahwa jenis aktivator kimia yang digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif sangat mempengaruhi luas permukaan dan volume pori-pori permukaan karbon aktif. Hal ini berdasar pada penelitian yang dilakukan oleh(Permana dkk., 2019), yang menyatakan bahwa jenis aktivator dang pengaruh konsentrasi aktivator dapat meningkatkan kualitas karbon aktif yang lebih baik.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ terhadap kualitas karbon akitf berbahan baku cangkang kelapa sawit yang mengacu pada standar SNI 06-3730-1995. Manfaat penelitian ini adalah menjadikan cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif dikarenakan cangkang kelapa sawit memiliki kandungan lignin dan selulosa yang tinggi sehingga memiliki sifat difusi termal yang baik dan menambah nilai guna dari cangkang kelapa sawit serta memberi solusi agar limbah cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan lebih baik dan memiliki nilai ekonomi.

METODOLOGI

1. **Persiapan Bahan Baku**
   Cangkang kelapa sawit dibersihkan dari serabut dan kotoran yang menempel selanjutnya di cuci bersih dan dikeringkan dibawah paparan sinar matahari.

2. **Proses Pirolisis**
   Cangkang kelapa sawit yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis yang dialirkan oleh udara melalui kompresor. Reaktor pirolisis kemudian dirangkai dengan *connector* dan *condensor* dan gelas ukur sebagai penampung asap cair. Alirkan air pendingin (*cooling water*), kemudian nyalakan alat pirolisis. Cangkang kelapa sawit dipirolisis dengan suhu 350°C dengan waktu selama 1,5 jam. Setelah pirolisis selesai dan didapatkan hasil berupa arang. Arang kemudian diseragamkan ukurannya dengan ukuran -100+120 mesh.

3. **Proses Aktivasi Kimia**
   Arang yang telah di screening dengan ukuran -100 + 120 mesh, di timbang sebanyak 10gr dan di rendam dengan larutan ZnCl2 dengan variasi konsentrasi sebesar 5%,10%,15%,20% dan 25% sebanyak 25ml dan di rendam selama 24 jam.

4. **Proses Analisa Kualitas Arang**
   Analisa kualitas arang dari penelitian ini meliputi analisa kadar air, kadar abu, zat terbang (*volatile matter*), kadar karbon terikat (*fixed carbon*), dan uji daya serap iod.

5. **Analisa Kadar Air**
   Arang sebanyak 10 gr dikeringkan dalam oven pada suhu 105-110°C selama 2 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator, dan timbang. Masukkan oven selama 10 menit dan masukkan ke desikator lagi. Ulangi sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar airnya dalam persen (%).

6. **Analisa Kadar Abu**
   Cawan yang sudah berisi contoh kadar air yang sudah ditetapkan, digunakan untuk mengukur kadar abu. Caranya cawan tersebut di pindahkan ke crucible dan dimasukkan ke dalam *furnace* dengan temperatur 750 ºC selama 3 jam. Kemudian, dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang.

7. **Analisa Kadar Zat Terbang**
   Cawan yang sudah berisi contoh kadar air yang sudah ditetapkan, digunakan untuk mengukur kadar zat terbang. Cawan tersebut di pindahkan ke crusible dan dimasukkan ke dalam *furnace* dengan temperatur 950 ºC selama 7 menit. Kemudian, dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang.

8. **Analisa Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)**
   Penentuan kadar karbon murni dilakukan dengan menghitung selisih antara seratus persen dengan nilai hasil penjumlahan kadar abu dan kadar zat terbang.

9. **Analisa Daya Serap Iod**
   Pada analisa daya serap iod dilakukan dengan cara merendam karbon aktif dengan larutan iod kemudian di titrasi menggunakan larutan natrium thiosulfat.

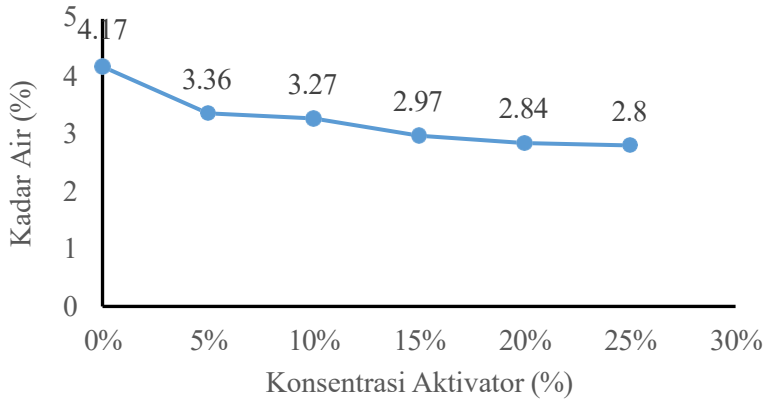
ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif dengan variasi konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ dengan konsentrasi sebesar 5%,10%,15%,20% dan 25% dengan melalui metode pirolisi pada temperatur 350°C selama waktu 1,5 jam.

Kadar Air (*Inherent Moisture*)

Dari gambar 1 menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kadar air semakin menurun. Hal ini bisa terjadi karena pada aktivasi secara kimia kadar air pada karbon aktif sangat dipengaruhi oleh sifat higroskopis dari aktivator. Apabila aktivator dapat mengikat molekul air yang ada pada permukaan karbon aktif maka jumlah pori-pori pada karbon aktif semakin bertambah. Hal ini menyebabkan luas permukaan dari karbon aktif semakin besar dan mampu meningkatkan daya serap karbon tersebut. Karbon aktif yang memiliki kualitas baik adalah karbon aktif yang memiliki kualitas tinggi dalam menyerap polutan. Selain itu semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kadar air akan semakin turun karena reaksi dehidrasi dan karbonisai lebih intensif.Hal ini menghasilkan karbon aktif dengan struktur pori yang lebih baik dan kadar air yang lebih rendah karena air yang tersisa dari bahan baku lebih banyak tereleminasi. Pada konsentrasi yang lebih rendah dihasilkan kadar air yang lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena pada proses aktivasi kurang optimal yang dapat menyebabkan pori-pori terbentuk lebih sedikit dan struktur karbon aktif yang kurang stabil, sehingga kadar air cenderung lebih tinggi. Pada penelitian ini kadar air yang dihasilkan masih memenuhi standar mutu karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15%. Sedangkan pada penelitian ini kadar air terendah dihasilkan oleh karbon aktif dengan konsentrasi 25% yaitu sebesar 2,8% dan yang paling tinggi adalah dengan konsentrasi 5% sebesar 3,36%.

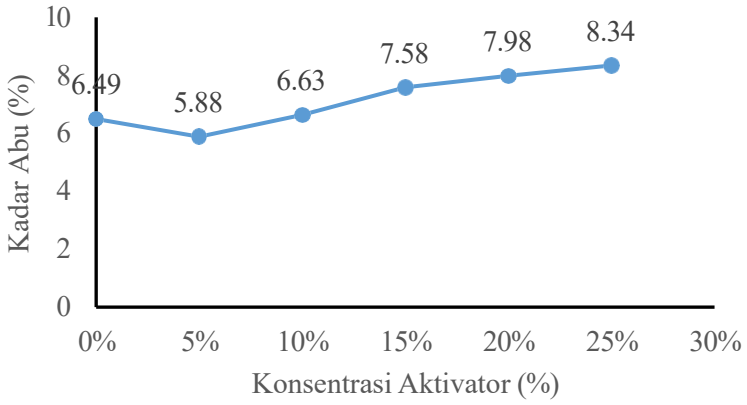


Gambar 1. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kadar Air

Kadar Abu (*Ash Content*)

Gambar 2 menunjukan bawha semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kadar abu semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi aktivator dapat memperluas permukaan karbon aktif sebagai akibat dari besar dan banyaknya pori-pori yang dihasilkan. Sebagian $ZnCl_2$ dapat mengendap sebagai residu setelah proses aktivasi sehingga banyaknya pori-pori terbentuk maka abu yang dihasilkan juga semakin banyak. Selain itu pada proses pencucian harus dengan sempurna karena pecuncian yang tidak sempurna setelah aktivasi juga dapat menyisakan residu $ZnCl_2$ pada karbon aktif, yang meningkatkan kadar abu. Oleh karena itu penggunaan konsentrasi $ZnCl_2$ yang tinggi harus dengan pencucian yang efisien untuk memastikan residu $ZnCl_2$ benar-benar tereleminasi. Selain itu juga konsentrasi $ZnCl_2$ juga harus disesuaikan dengan kandungan mineral dalam bahan baku. Jika bahan baku memiliki kandungan mineral tinggi, konsentrasi $ZnCl_2$ yang sangat tinggi dapat berinteraksi dengan mineral tersebut, sehingga kadar abu tetap tinggi meskipun proses akivasi intensif. Pada karbon aktif kadar abu harus diupayakan sekecil mungkin karena akan menurunkan kemampuan daya serapnya baik dalam bentuk gas maupun larutan. Selain itu komponen abu dalam senyawa Zn (Seng) biasanya merujuk pada residu anorganik yang tertinggal setelah proses pembakaran atau oksidasi senyawa yang mengandung seng.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)



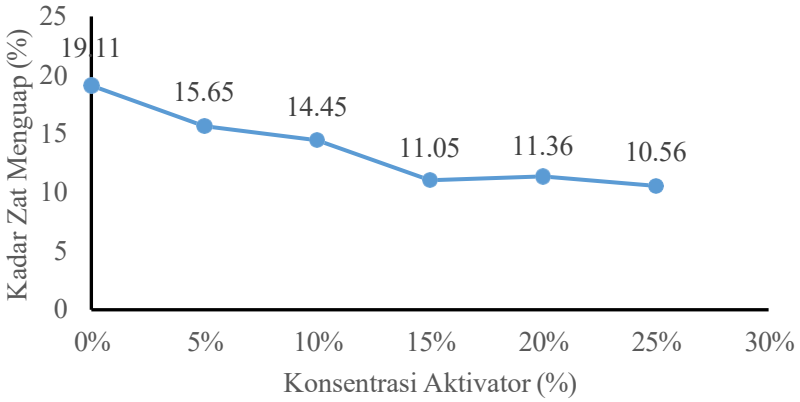
Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kadar Abu

Abu ini umumnya terdiri dari oksida logam seperti ZnO (Zinc Oksida) atau senyawa lainya yang tidak mudah menguap pada suhu tinggi. ZnO sering ditemukan karena stabilitasnya saat logam seng dipanaskan atau dioksidasi dalam kondisi normal. Hal ini bisa terjadi karena pada suhu tinggi, klorida (Cl^-) dapat terlepas dalam bentuk gas seperti HCl (jika ada kelembaban) atau klorin (Cl_2), meninggalkan residu oksida seng sebagai komponen abu. Reaksi thermal $ZnCl_2$ dapat diilustrasikan $ZnCl_2 \rightarrow ZnO+Cl_2$ (pada suhu tinggi). Zink oksida yang terbentuk stabil dan berbentuk padatan putih sebagai komponen abu. Pada penelitian ini kadar abu yang dihasilkan masih memenuhi standar mutu karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 10% sedangkan pada penelitian ini kadar abu yang paling rendah dihasilkan pada konsentrasi aktivator 5% yaitu sebesar 5,88% dan yang paling tinggi dihasilkan pada konsentrasi aktivator 25% sebesar 8,34%.

Kadar Zat Menguap (*Volatile matter*)

Gambar 3 menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kadar zat menguap semakin rendah. Hal ini menunjukan bahwa permukaan karbon aktif mengandung senyawa non karbon yang cenderung rendah. Adanya senyawa non karbon tersebut dapat menyumbat pori-pori dan mengurangi penyerapan pada karbon aktif. Semakin rendah kadar *volatile matter* maka senyawa non karbon yang menutupi pori-pori karbon aktif cenderung sedikit, hal ini dapat menambah kapasitas penyerapan pada karbon aktif karena pada pori karbon aktif cenderung rendah terhadap senyawa non karbon. Pada konsentrasi yang rendah, proses aktivasi kurang intensif, sehingga tidak semua senyawa volatile terdekomposisi atau tereleminasi dari bahan baku. Akibatnya karbon aktif yang dihasilkan cenderung memiliki kadar zat menguap lebih besar karena masih banyak sisa bahan organik atau senyawa semi volatil yang tertinggal. Dan pada konsentrasi yang tinggi reaksi dehidrasi dan karbonisasi lebih intensif selama aktivasi termal. Proses ini membantu menghilangkan lebih banyak zat volatil, seperti senyawa organik yang tidak stabil, sehingga menghasilkan karbon aktif dengan kadar zat menguap lebih rendah. Selain itu $ZnCl_2$ berfungsi sebagai katalis dalam pemecah senyawa organik kompleks menjadi gas yang sederhana yang tereleminasi selama pemansan. Pada penelitian ini kadar *volatile matter* yang dihasilkan masih memenuhi standar mutu karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 25%. Sedangkan pada penelitian ini kadar *volatile matter* yang paling rendah dihasilkan pada konsentrasi 15% dan yang paling tinggi pada konsentrasi 5% sebesar 15.65%.

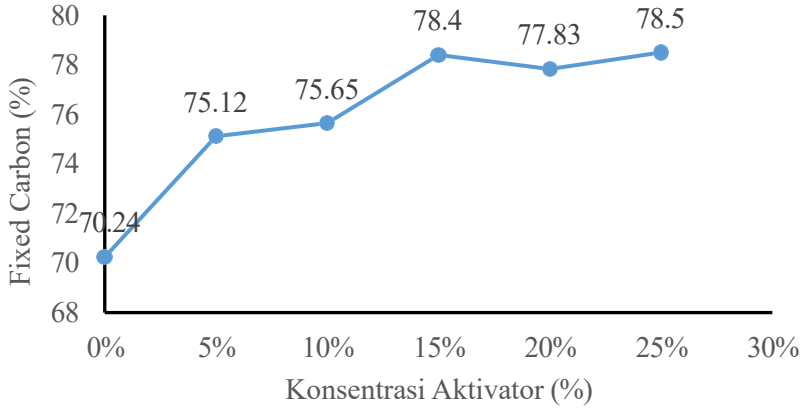
ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)



Gambar 3. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap *Volatile Metter*

Fixed Carbon

Menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator maka *fixed carbon* yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini bisa terjadi karena $ZnCl_2$ akan berinteraksi 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 (Buchari, 2022). Pada konsentrasi yang rendah proses aktivasi kimia an karbonisasi kurang efektif. Akibatnya sisa bahan organik atau zat volatil tidak sepenuhnya tereleminasi. Hal ini menyebabkan kandungan *fixed carbon* leih rendah karena Sebagian besar massa karbon tertinggal dalam bentuk senyawa volatil. Pada konsentrasi yang lebih tinggi proses karbonisasi lebih intensif karena $ZnCl_2$ bertindak sebagai katalis yang mempercepat reaksi dehidrasi dan dekomposisi senyawa organik menjadi karbon murni. Konsentrasi tinggi juga membantu pembentukan struktur karbon yang lebih stabil dengan meminimalkan zat volatil dan residu non-karbon, sehingga meningkatkan kandungan *fixed carbon*. Pada penelitian ini hasil dari karbon terikat telah memenuhi standar mutu karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 yaitu minimal 65%.



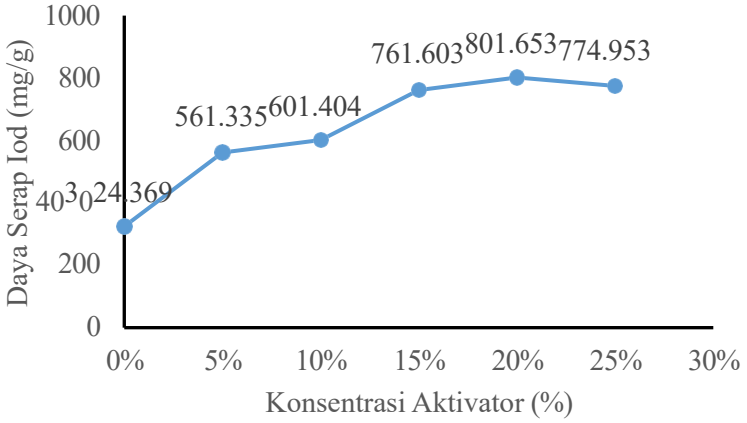
Gambar 4. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap *Fixed Carbon*

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

Daya Jerap Iod

Gambar 5 menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator bilangan daya serap iod semakin naik. Hal ini bisa terjadi karena seiring dengan meningkat nya rasio konsentrasi $ZnCl_2$ akan menyebabkan lebih banyak pori yang terbentuk di dalam karbon aktif, sehingga dapat meningkatkan bilangan iod. Peningkatan konsentrasi $ZnCl_2$ sebagai larutan pengimpregnasi akan menyebabkan pori yang terbentuk semakin banyak sehingga daya serap karbon aktif juga meningkat (Buchari, 2022). Pada konsentrasi rendah proses aktivasi tidak berjalan optimal , sehingga pembentukan pori-pori pada karbon aktif terbatas. Akibatnya, luas permukaan karbon aktif spesifik lebih kecil, dan daya serap terhadap iod lebih rendah karena jumlah pori yang terbentuk tidak mencukupi untuk mengankap molekul iod. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, aktivasi kimia lebih intensif, meningkatkan pembetukan pori mikropori dan mesopori pada karbon aktif. Luas permukaan spesifik meningkat memungkinkan karbon aktif meyerap lebih banyak molekul iod, sehingga daya serap iod menjadi lebih tinggi. $ZnCl_2$ juga membantu dekomposisi bahan organik menjadi karbon yang lebih murni, yang secara langsung meningkatkan kapasitas adsorpsi. Selain itu pada konsentrasi yang terlalu tinggi, meskipun pori-pori tetap terbentuk, beberapa diantaranya dapat tertutup Kembali akibat residu $ZnCl_2$ atau bisa juga karena kerusakan struktur karbon aktif. Hal ini dapat mengurangi efektivitas adsropsi iod.

Ada pula efek positif pada adsorpsi, konsentrasi $ZnCl_2$ yang lebi tinggi meningkatkan ketersediaan ion zink (Zn^{2+}) dan klorida (Cl^-) di larutan. Ion Zn^{2+} dapat berinteraksi dengan molekul iod, membentuk senyawa kompleks atau mempercepat proses adsorpsi pada permukaan material adsorben. Selain itu ada pula efek pada aktivasi adsorben, jika $ZnCl_2$ digunakan untuk mengaktivasi karbon aktif atau material adsorben lainya, konsentrasi tinggi dapat membuka pori-pori material, meningkatkan luas permukaan spesifik, dan meningkatkan daya serap iod. Pada penelitian ini daya serap iod yang teraktivasi $ZnCl_2$ yang memenuhi standar SNI 06-3730-1995 ialah dengan konsentrasi 15%,20% dan 25% memiliki nilai di atas 750 mg/g.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Daya Jerap Iod

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi aktivator ZnCl2 (Seng Klorida) dalam pembuatan karbon aktif berbahan baku cangkang kelapa sawit diperoleh hasil terbaik pada konsentrasi 20% dimana hasil yang diperoleh telah memenuhi standar mutu karbon aktif pada SNI 06-3730-1995, didapatkan hasil terbaik sebagai berikut :

- Kadar air : 2,84%
- Kadar abu : 7,98%
- Kadar zat menguap : 11,36%
- *Fixed Carbon* : 77,83%
- Daya serap Iod : 801,653 mg/g

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

DAFTAR PUSTAKA

Amna, S., & Shahab, A. (2024). *Sintesis karbon aktif dari batang kelapa sawit menggunakan aktivator asam fosfat (h 3 po 4) active carbon syntetic from palm oil trunk using activotor phosphoric acid (h 3 po 4)*. *15*(01).

Anggraeni, I. S., & Yuliana, L. E. (2015). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Siwalan (Borassus Flabellifer L.) dengan Menggunakan Aktivator Seng Klorida (ZnCl2) dan Natrium Karbonat (Na2CO3). In *Thesis*.

Basyir Rantawi, A., Leksi Siregar, A., & Rizkullah, A. (2021). Perbandingan Persentase Perekat Arpus 17,5% dan 20% terhadap Kualitas Briket Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, *13*(3), 223–230.

Buchari, M. H. (2022). *Effects of Zink Chloride Impregnation on the Characteristics of*. 153–158.

Fadri, A. E. (2018). Adsorpsi Logam Besi (Fe) pada Air Gambut Menggunakan Karbo Aktif Cangkang Kelapa Sawit Serta Potensinya sebagai Bahan Ajar. In *Skripsi*.

Gani, R. A. A., Sokoy, Y. D., Samolo, D. L., & Togibasa, O. (2021). Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Sagu Menggunakan Aktivator ZnCl2. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, *18*(1), 50. https://doi.org/10.20527/flux.v18i1.6933

Hartanto, S., & Ratnawati. (2010). Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, *12*(1), 12–16. http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4588/4002

Hatina, S., & Winoto, E. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Serbuk Kayu Merbau Dan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Untuk Pengolahan Limbah Cair Aas. *Jurnal Redoks*, *5*(1), 32. https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4027

Idrus, R., Lapanporo, B. P., & Putra, Y. S. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Prisma Fisika*, *1*(1), 50–55. https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/1422

Jamilatun, S., & Setyawan, M. (2014). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair. *Spektrum Industri*, *12*(1), 73. https://doi.org/10.12928/si.v12i1.1651

Laos, L. E., Masturi, M., & Yulianti, I. (2016). *The Effect of Activation Temperature on the Absorption of Activated Carbon in Candlenut Shells*. *Proceedings of the National Seminar on Physics (E-Journal)*, *V*, 135–140.

Madhu. (2018). *Difference Between Combustion and Pyrolysis*.

Mastiani, N., Amalia, V., & Rosahdi, T. D. (2018). Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Ion Logam Fe(III). *Al-Kimiya*, *5*(1), 42–47. https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3731

Muhajir, A., Machdar, I., & Mariana, M. (2021). Produksi karbon aktif arang tempurung kelapa menggunakan kombinasi metode aktivasi secara kimia dan steam tekanan rendah. *Jurnal Litbang Industri*, *11*(2), 110. https://doi.org/10.24960/jli.v11i2.7104.110-116

Nagaraja, S. S., Sahu, A. B., Panigrahy, S., & Curran, H. J. (2021). A fundamental study on the pyrolysis of hydrocarbons. *Combustion and Flame*, *233*, 111579. https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111579

Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, *4*(1), 53–67. https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105

Oktaviansyah, I. (2024). Pengaruh Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Karbon Aktif Industrial Terhadap Parameter Ammonia Pada Danau Sipin. *Jurnal Redoks*, *9*(2), 137–146. https://doi.org/10.31851/redoks.v9i2.14541

Permana, E., Tarigan, I. L., Gusti, D. R., & Lestari, I. (2019). *Analisis Mutu Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Larutan Aktivator $ZnCl_2$.* Jurnal Teknologi 12(2) 170-175.