



Efektivitas Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dalam Menurunkan Kandungan COD dan Detergen pada Limbah Laundry

The Effectiveness of Activated Carbon from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) in Reducing COD and Detergent Concentration in Laundry Wastewater

Devi Kurnia Sari ^{*,1}, Hasrul Anwar ¹, Erlan Sumanjaya ²

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

² Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: devi.kurnia@eng.unila.ac.id

Abstrak. Usaha laundry setiap tahun tumbuh pesat akibat meningkatnya aktivitas masyarakat, namun pertumbuhan bisnis laundry ini memiliki dampak negatif, yaitu limbah laundry yang mengandung bahan kimia dengan tingkat konsentrasi tinggi, seperti COD dan detergen. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak 0, 60, 120, 180 dan 240 menit dan aktivator HCl dan ZnCl₂ konsentrasi 10% berbahan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dalam menurunkan kadar COD dan detergen pada limbah laundry yang dianalisis menggunakan Randomized Completely Block Design (RCBD) taraf signifikan 5% dengan tiga kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kadar COD dengan karbon aktif aktivasi HCl sebesar 204,39 mg/l atau 11% pada waktu kontak 240 menit sedangkan detergen sebesar 1,6948 mg/l atau 12,5% pada waktu kontak 180 menit dengan kadar air baku 1,9375 mg/L. Penurunan kadar COD dengan karbon aktif teraktivasi ZnCl₂ sebesar 344,654 mg/l atau 60% pada waktu kontak 180 menit dari kandungan air baku sebesar 848,896 mg/l, sedangkan penurunan detergen pada waktu kontak 240 menit sebesar 1,7544 mg/l atau 28% dari air baku 2,4315 mg/l. Pemilihan jenis aktivator berpengaruh terhadap penurunan kadar COD dan detergen. Karbon aktif yang diaktivasi dengan ZnCl₂ terbukti lebih efisien dalam menurunkan kadar COD dan detergen pada limbah laundry.

Kata kunci: aktivator, COD, detergen, eceng gondok (*Eichornia crassipes*), karbon aktif.

Abstract. The laundry business has experienced rapid growth due to increasing societal activities. However, this growth has resulted in negative impacts, particularly through laundry wastewater containing high concentrations of chemicals such as COD (Chemical Oxygen Demand) and detergents. This study aimed to assess the impact of different contact times (0, 60, 120, 180, and 240 minutes) and activated carbon derived from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) treated with HCl and ZnCl₂ (10% solutions) on reducing COD and detergent levels in laundry wastewater. The analysis employed a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications at a significance level of 5%. Results indicated that COD levels were reduced by 204.39 mg/l (11%) after 240 minutes using HCl-activated carbon, while detergent levels decreased by 1.6948 mg/l (12.5%) after 180 minutes, starting from an initial concentration of 1.9375 mg/l. In comparison, COD levels decreased by 344.654 mg/l (60%) after 180 minutes using ZnCl₂-activated carbon, starting from an initial concentration of 848.896 mg/l. Detergent levels decreased by 1.7544 mg/l (28%) after 240 minutes, starting from an initial concentration of 2.4315 mg/l.

mg/L. The selection of the type of activator affects the reduction of COD and detergent levels. Activated carbon with $ZnCl_2$ has proven to be more efficient in reducing COD and detergent levels in laundry wastewater.

Keywords: activator, activated carbon, COD, detergent, water hyacinth.

1. Pendahuluan

Kekurangan air bersih merupakan permasalahan yang umum dan belum terselesaikan secara menyeluruh di banyak bagian Indonesia, terutama di pedesaan dan daerah terpencil. Sulitnya mendapatkan pasokan air bersih menghasilkan dampak yang lebih rumit. Kualitas air yang bersih dan sehat memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari karena manfaatnya yang besar. Bisnis *laundry* semakin populer di kalangan masyarakat modern yang penuh dengan aktivitas. Namun, perkembangan bisnis *laundry* ini membawa dampak buruk dengan hadirnya bahan berbahaya seperti fosfat, surfaktan, nitrogen dan CH_4 , tingginya TSS, kekeruhan, BOD, dan COD (Melián *et al.*, 2023). Peningkatan jumlah usaha *laundry* akan menyebabkan meningkatnya penggunaan detergen. Banyak usaha *laundry* membuang air limbahnya langsung ke saluran air dan selokan, yang menimbulkan gangguan serta dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan. Tingginya kandungan kekeruhan dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 20.000 mg/l (Collivignarelli *et al.*, 2019), selain itu limbah *laundry* juga mengandung beberapa komponen seperti pewangi yang di dalam detergen dan tetap berada di lingkungan karena proses biodegradabilitasnya yang rendah (Melián *et al.*, 2023).

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) adalah tumbuhan gulma yang telah diakui oleh IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) merupakan salah satu dari 10 gulma terburuk di dunia dan masuk dalam daftar 100 besar di *Global Invasive Species Database* oleh *Invasive Species Specialist Group* (ISSG). Banyak ahli menyatakan bahwa spesies ini hampir tidak mungkin diberantas karena laju pertumbuhannya yang cepat (3% per hari), menyebabkan berbagai masalah seperti menghambat transportasi air, menyumbat sungai, serta menutupi permukaan perairan (Harun *et al.*, 2021).

Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan biomassa sebagai sumber terbarukan untuk produksi karbon aktif semakin meningkat karena untuk mengurangi biaya, meminimalkan limbah agro-industri yang terakumulasi, serta penekanan pada proses yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Danish & Ahmad, 2018). Sehingga diperlukan teknik dalam mengurangi limbah agro-industri, salah satunya dengan pirolisis. Pirolisis adalah salah satu metode konversi biomassa melalui proses termokimia menjadi produk energi seperti karbon aktif. Teknik ini dianggap lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah dan menggunakan teknologi yang sederhana (Muzyka *et al.*, 2023). Karbon aktif berbahan eceng gondok kering menghasilkan kandungan karbon yang tinggi yakni 33,1–46,5%, kandungan hidrogen 4,4–6,6%, dan nilai kalori yang tinggi

13,1–18,4 MJ/kg (Hu *et al.*, 2015). Karbon aktif juga dapat berperan dalam mitigasi perubahan iklim dengan menyerap karbon secara stabil dan aman dalam tanah. Dengan demikian, mengubah eceng gondok menjadi karbon aktif melalui proses konversi termokimia merupakan solusi yang menjanjikan untuk mendukung keberlanjutan energi dan lingkungan (Li *et al.*, 2021).

Dalam proses karbonisasi menjadi karbon aktif, Proses aktivasi bertujuan untuk memperbesar luas permukaan atau meningkatkan volume pori-pori karbon dengan membuka pori-pori yang telah terbentuk dan dapat memodifikasi atau menyesuaikan sifat kimia permukaan karbon aktif sehingga memiliki karakteristik tersendiri. Dalam penentuan sifat-sifat karbon aktif, proses aktivasi dianggap lebih penting dan krusial dibandingkan proses karbonisasi (Gao *et al.*, 2020). Agen aktivasi dibagi menjadi tiga jenis: agen aktivasi basa (seperti Na_2CO_3 , KOH , $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$, dan sejenisnya), agen aktivasi asam (seperti H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl , dan sebagainya), serta agen aktivasi netral atau garam (seperti ZnCl_2 , FeCl_3 , dan lainnya).

Penelitian ini menggunakan karbon aktif dari eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang diaktivasi dengan larutan HCl dan ZnCl_2 10% untuk menurunkan kadar COD dan *detergent* dalam limbah *laundry*, dengan variasi waktu kontak adsorpsi selama 0, 60, 120, 180, dan 240 menit. Karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan HCl 10% menunjukkan peningkatan luas permukaan sebesar 842,2 m^2/g , dibandingkan dengan adsorben komersial yang memiliki luas permukaan 26,038 m^2/g . Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh dari karbon aktif teraktivasi larutan HCl dan ZnCl_2 10% serta waktu kontak karbon aktif pada limbah *laundry* terhadap kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *detergent*. Berdasarkan penelitian Sunarya (2016), karbon aktif berbahan eceng gondok dengan aktivator HCl mampu menurunkan kandungan detergen pada limbah cair hotel sebesar 52,88% dan kandungan COD turun sebesar 6,18%.

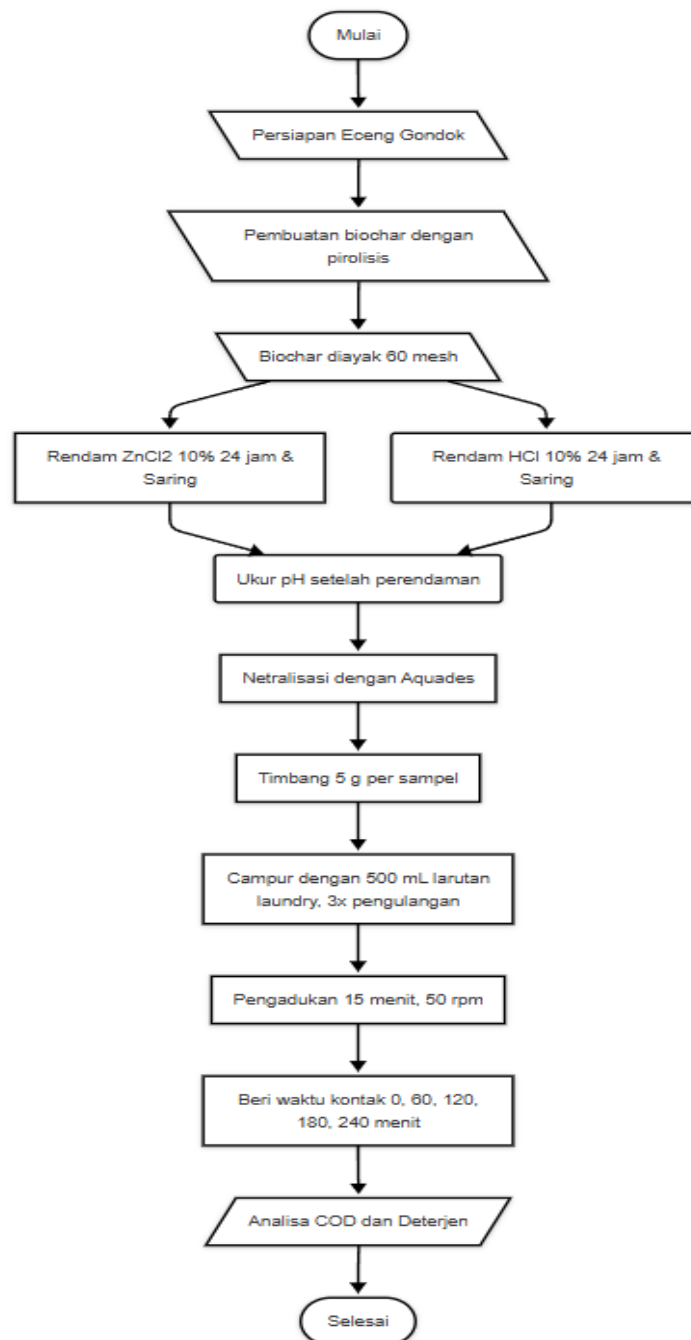
2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Air limbah *laundry* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *laundry* “K” yang berada di Jalan Raya Karang Anyar Lampung Selatan. Sebanyak 15 liter limbah *laundry* dari hasil pembilasan pertama ditampung ke dalam jeriken ukuran 10 liter dan dilakukan analisis laboratorium kandungan awal limbah *laundry* COD dan detergen. Hasil penelitian dianalisis secara *Randomized Completely Block Design* (RCBD) taraf signifikan 5% dengan tiga kali pengulangan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas ukur, jartest, oven, alat pirolisis, batang pengaduk, *stopwatch*, botol sampel, jeriken, kertas saring, ayakan, corong gelas, sendok reagen, timbangan digital, lumpang dan alu, serta indikator pH. Sedangkan bahan yang

digunakan terdiri dari eceng gondok segar sebanyak 4 kg, limbah *laundry* dari bilasan pertama sebanyak 15 liter, adsorben HCl dan ZnCl_2 dengan konsentrasi 10% dan *aquadest* sebanyak 2 liter.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Pembuatan *karbon aktif* dari eceng gondok

Eceng gondok sebanyak 4.000 gram dibersihkan dengan air mengalir dari kran dan dimasukkan ke dalam ember, dilakukan pengeringan di bawah sinar matahari langsung selama 2 hari. Selanjutnya dilakukan proses karbonisasi dengan mengubah bahan menjadi arang karbon aktif, kemudian dilakukan penggilingan hingga menjadi bubuk dan diayak dengan saringan berukuran 60 mesh.

2.2.2 Proses Aktivasi dengan larutan HCl dan ZnCl₂

Sebanyak 100 gram karbon aktif direndam dalam larutan aktivator HCl dengan konsentrasi 10% selama 24 jam, dan 100 gram karbon aktif lainnya direndam dalam larutan aktivator ZnCl₂ dengan konsentrasi yang sama selama 24 jam. Karbon aktif yang telah melalui proses aktivasi kemudian disaring menggunakan kertas saring. pH karbon aktif diukur menggunakan kertas lakmus, kemudian karbon aktif dicuci dengan 500 ml *aquadest* hingga pH kembali normal. Setelah itu, karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar air dan membuka pori-pori.

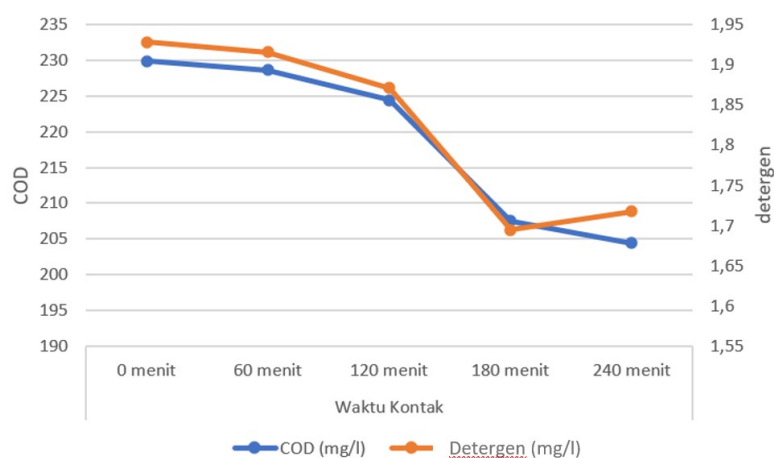
2.2.3 Proses pencampuran karbon aktif dengan limbah laundry

Proses pencampuran karbon aktif dengan limbah *laundry* dimulai dengan menyiapkan 30 *beaker glass* berukuran 1.000 ml. Karbon aktif yang teraktivasi ditimbang sebanyak 5 gram, kemudian 500 ml air limbah *laundry* dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan dicampur dengan 5 gram karbon aktif per sampel. Campuran diaduk menggunakan *jartest* selama 15 menit dengan kecepatan 50 rpm, kemudian dibiarkan selama durasi yang ditentukan, yaitu 0, 60, 120, 180, dan 240 menit. Setelah itu, campuran disaring menggunakan kertas saring dan dilakukan analisis laboratorium untuk mengukur kadar COD dan detergen. Prosedur penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian [Gambar 1](#).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kandungan COD dan detergen dengan karbon aktif teraktivasi HCl 10%

Hasil penelitian dari analisis kandungan COD dan detergen terhadap limbah *laundry* dengan karbon aktif berbahan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang teraktivasi dengan larutan HCl konsentrasi 10%, disajikan pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Kandungan COD dan detergen pada limbah *laundry* dengan variasi waktu kontak pada karbon aktif teraktivasi HCl 10%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar COD tertinggi terjadi pada waktu kontak 240 menit, dengan nilai mencapai 204,39 mg/l, mencapai efisiensi penurunan sebesar 11%. Hal ini diduga disebabkan oleh durasi kontak yang lebih lama antara adsorben karbon aktif dan limbah *laundry*. Penurunan kadar COD semakin besar seiring bertambahnya waktu kontak karbon aktif dengan limbah, yang berkaitan dengan proses penyerapan yang berlangsung lebih lama. Penelitian [Alsawy et al. \(2022\)](#) menyatakan bahwa ketika karbon aktif dimasukkan ke dalam cairan, diperlukan waktu untuk mencapai kesetimbangan, di mana durasi ini berbanding terbalik dengan jumlah karbon yang digunakan. Selain takaran karbon aktif, proses pengadukan juga berperan dalam memperpanjang kontak antara partikel karbon aktif dan senyawa yang diserap. Penelitian oleh [Munandar et al. \(2016\)](#) tentang adsorben nano karbon aktif yang berasal dari cangkang sawit untuk mengurangi kandungan COD dalam limbah cair kelapa sawit menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak, semakin tinggi penyerapan senyawa COD dari limbah cair tersebut.

Penelitian ini menggunakan larutan HCl dengan konsentrasi 10%, menurut [Adinata \(2013\)](#), semakin tinggi konsentrasi larutan aktivasi kimia, semakin kuat kemampuan karbon untuk mengikat sisa-sisa tar dari proses karbonisasi, yang kemudian dikeluarkan melalui mikro pori-pori karbon, sehingga meningkatkan tingkat porositas permukaan karbon. Hal ini menyebabkan daya adsorpsi karbon aktif semakin besar. Namun, jika konsentrasi larutan aktivasi terlalu tinggi, daya adsorpsi karbon aktif justru cenderung menurun. Hal ini terjadi karena transfer massa larutan aktivasi yang terlalu cepat mengeluarkan tar dari mikro pori-pori, sehingga sisa tar masih tertinggal dan menumpuk di permukaan pori-pori karbon, yang pada akhirnya mengurangi kemampuan adsorpsi karbon aktif.

Berdasarkan [Gambar 2](#), penggunaan aktivator HCl terbukti efektif menurunkan kadar COD terhadap limbah *laundry* secara signifikan, didapatkan nilai 229,618 mg/l yang terjadi pada waktu kontak 120 menit dan 207,492 mg/l pada 180 menit, menghasilkan selisih penurunan sebesar 66,94 mg/l. Namun, kadar COD pada limbah *laundry* mengalami penurunan pada waktu kontak 240 menit dengan nilai sebesar 204,39 mg/l yang disebabkan karena jenuhnya karbon aktif teraktivasi HCl dalam menyerap COD, sehingga ia melepaskan kembali limbah *laundry* yang telah terserap. Menurut [Syafitra et al. \(2020\)](#), penurunan nilai adsorpsi yang terus berlanjut setelah mencapai waktu kontak optimum menunjukkan terjadinya desorpsi pada karbon aktif. Hal ini terjadi ketika karbon aktif mulai melepaskan zat yang sebelumnya diadsorpsi karena sudah mencapai kejenuhan dan tidak dapat menyerap lebih banyak adsorbat, menandakan bahwa kapasitas maksimum penyerapan karbon aktif telah tercapai.

Menurut Esterlita *and* Herlina (2015) dan Valentina *et al.* (2013), untuk pembuatan karbon aktif melalui aktivasi kimia, aktivator yang lebih efektif untuk material lignoselulosik, seperti eceng gondok (*Eichornia crassipes*), adalah aktivator asam seperti HCl, dibandingkan dengan aktivator bersifat basa. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan oksigen dalam material lignoselulosik, di mana aktivator asam bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen. Berdasarkan hasil penelitian Gumelar *et al.* (2015) mengenai karbon aktif dari eceng gondok yang diaktivasi secara kimia dengan larutan HCl, diperoleh nilai luas permukaan karbon aktif sebesar 26,038 m²/g.

Penurunan kadar detergen pada limbah *laundry* dengan karbon aktif dari eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang diaktivasi dengan larutan HCl menunjukkan hasil yang belum optimal, yakni sebesar 1,7178 mg/l pada waktu kontak 240 menit. Penurunan kadar detergen pada limbah *laundry* hotel dengan arang aktif eceng gondok teraktivasi larutan HCl, serta variasi waktu kontak dan dosis mampu menurunkan kadar detergen sebesar 0,9061 mg/l dengan efisiensi 52,8% (Sunarya, 2016). Peningkatan penurunan kadar detergen ini diduga disebabkan oleh lamanya proses kontak antara karbon aktif yang telah teraktivasi larutan HCl dan kandungan detergen dalam limbah *laundry*. Sesuai dengan penelitian Tangkuman *et al.* (2009) karbon aktif memerlukan waktu kontak untuk menyerap kandungan yang terdapat dalam limbah, dan proses pengadukan diperlukan untuk memberikan kesempatan pada partikel karbon aktif agar dapat bersinggungan dengan senyawa yang diserap.

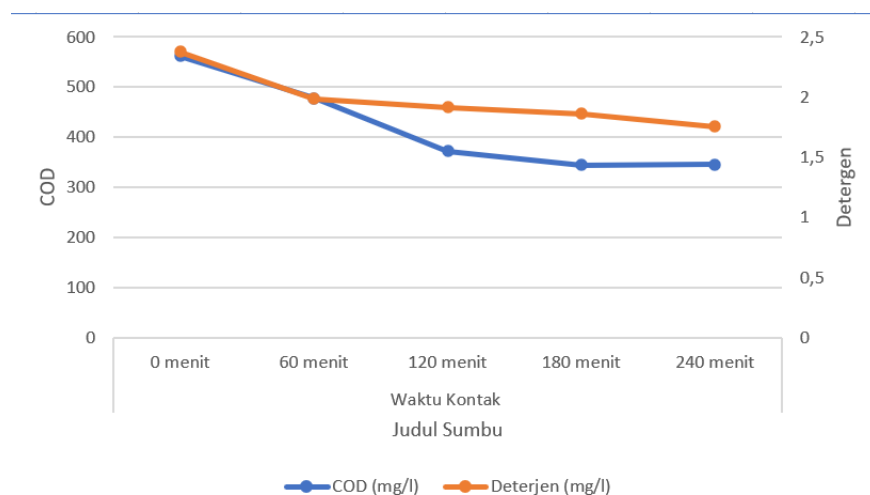
Aktivasi menggunakan perlakuan asam seperti larutan HCl menyebabkan terjadinya proses dealuminasi dan dekarbonasi. Penggunaan asam klorida menyebabkan terjadinya dealuminasi dan dekarbonasi, di mana aluminium (Al) dan kation (Mn⁺) dilepaskan dari kerangka karbon aktif, mengubahnya menjadi Al dan kation non-kerangka. Proses dealuminasi akan meningkatkan luas permukaan karbon aktif karena berkurangnya zat pengotor yang menyumbat pori-porinya. Dengan bertambahnya luas permukaan tersebut, kemampuan karbon aktif untuk menyerap zat akan meningkat (Heraldry *et al.*, 2003).

Berdasarkan analisis statistik menggunakan *Randomized Completely Block Design*, penurunan kadar COD pada limbah *laundry* dengan karbon aktif yang diaktivasi HCl menunjukkan nilai F hitung perlakuan sebesar 5,92, yang lebih besar dari Ftabel 2,46. Ini berarti bahwa perlakuan A dan B berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar COD. Selain itu, variasi waktu kontak karbon aktif eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang diaktivasi dengan HCl juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar detergen, dengan nilai F hitung 0,027 yang lebih kecil dari F tabel (5%) 2,46. Di sisi lain, nilai F hitung untuk interaksi antara faktor A dan B adalah

0,025, yang juga lebih kecil dari F tabel (5%) 2,93, menunjukkan belum ada interaksi signifikan pada faktor A dan B dalam penurunan kadar detergen pada limbah *laundry*.

3.2 Kandungan COD dan detergen dengan karbon aktif teraktivasi ZnCl_2 10%

Hasil analisa pada limbah *laundry* dengan penurunan kadar COD menggunakan karbon aktif eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang diaktivasi ZnCl_2 dengan larutan didapatkan hasil melebihi standar baku mutu air limbah sedangkan penurunan kadar detergen pada limbah *laundry* dengan karbon aktif aktivasi ZnCl_2 didapatkan hasil analisis sebesar 2,4315 mg/l masih dibawah standar baku mutu berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri, kandungan detergen memiliki kadar sebesar 5 mg/l. Adapun penurunan kadar COD dan detergen pada limbah *laundry* dengan karbon aktif dari eceng gondok (*Eichornia crassipes*) teraktivasi ZnCl_2 dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Kandungan COD dan detergen pada limbah *laundry* dengan variasi waktu kontak pada karbon aktif teraktivasi ZnCl_2 10%

Penggunaan aktivator ZnCl_2 pada arang aktif berhasil menurunkan kadar COD pada limbah *laundry* sebesar 562,26 mg/l dengan waktu kontak 0 menit, dengan persentase mencapai 33,76%. Penurunan kadar COD ini terus meningkat seiring bertambahnya waktu kontak. Penurunan signifikan terjadi dari waktu kontak 0 menit ke 60 menit, dengan nilai 480,585 mg/l dan selisih penurunan sebesar 81,36 mg/l, yang disebabkan oleh luas permukaan arang aktif yang teraktivasi larutan ZnCl_2 . Sesuai dengan penjelasan [Pakiding et al. \(2014\)](#) ion-ion yang berasal dari aktivator ZnCl_2 akan meresap ke dalam arang dan membuka permukaan yang sebelumnya tertutup oleh komponen pengganggu atau kontaminan, sehingga memperbesar luas permukaan yang aktif. ZnCl_2 berfungsi sebagai katalis yang memfasilitasi pemutusan ikatan molekul dalam biopolimer serta penghilangan gugus fungsional yang mengandung oksigen, seperti hidroksil dan karbonil, tanpa berinteraksi langsung dengan karbon selama proses aktivasi ([Liang et al., 2024](#)).

Dari penelitian [Gao et al. \(2020\)](#) mengenai pembuatan karbon aktif dari kulit buah teh dengan aktivator ZnCl_2 , diperoleh karbon aktif dengan luas permukaan sebesar $124,19 \text{ m}^2/\text{g}$, total volume pori $0,7463 \text{ cm}^3/\text{g}$, dan kapasitas adsorpsi methylene biru sebesar $291,5 \text{ mg/g}$. Selain dipengaruhi oleh jenis aktivator, penurunan kadar COD dan detergen pada limbah *laundry* juga dipengaruhi oleh pH arang aktif. Arang aktif dari eceng gondok yang diaktivasi dengan larutan ZnCl_2 memiliki pH sebesar 4 setelah tiga kali pencucian menggunakan aquadest. Hal ini disebabkan karena tes COD digunakan untuk mengukur kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam ([Sunarya, 2016](#)).

Menurut penelitian [Gumelar et al. \(2015\)](#), penurunan kadar COD semakin baik dengan menurunnya pH larutan. Efisiensi penurunan COD menggunakan karbon aktif akan meningkat seiring dengan penurunan pH. Hal ini terjadi karena pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih tinggi, yang dapat menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif. Kondisi ini mengurangi hambatan untuk difusi bahan organik, berbeda dengan pH tinggi di mana jumlah ion OH^- yang berlimpah menghalangi proses difusi bahan organik.

4. Kesimpulan

Variasi waktu kontak selama 180 menit dengan aktivator ZnCl_2 10% pada arang aktif dari eceng gondok (*Eichornia crassipes*) memberikan pengaruh signifikan dalam menurunkan kadar COD pada limbah *laundry*, dengan efisiensi mencapai 60%. Sementara itu, penurunan kadar detergen terjadi pada waktu kontak 240 menit, dengan efisiensi sebesar 28%. Pemilihan jenis aktivator berpengaruh terhadap penurunan kadar COD dan detergen. Karbon aktif yang diaktivasi dengan ZnCl_2 terbukti lebih efisien dalam menurunkan kadar COD dan detergen pada limbah *laundry*, dengan efisiensi penurunan COD sebesar 60% pada waktu kontak 180 menit, dan penurunan kadar detergen sebesar 28% pada waktu kontak 240 menit. Hal ini dibandingkan dengan aktivator HCl , yang hanya menurunkan kadar COD sebesar 11% pada waktu kontak 240 menit dan kadar detergen sebesar 12,52% pada waktu kontak 180 menit.

Singkatan yang Digunakan

Tidak ada singkatan yang digunakan.

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Devi Kurnia Sari: kurasi data, persiapan, investigasi, sumber daya, penulisan draf awal, metodologi. **Hasrul Anwar:** pengawasan, penulisan draf awal, konseptualisasi, dan sumber daya. **Erlan Sumanjaya:** pengawasan, konseptualisasi, dan sumber daya.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Hibah Penelitian Dasar LPPM Universitas Lampung Tahun Anggaran 2024.

Daftar Pustaka

- Adinata, M. R. (2013). *Pemanfaatan limbah kulit pisang pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai karbon aktif sebagai karbon aktif*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”. Jawa Timur. <https://core.ac.uk/download/pdf/33697269.pdf>
- Alsawy, T., Rashad, E., El-Qelish, M., & Mohammed, R. H. (2022). A comprehensive review on the chemical regeneration of biochar adsorbent for sustainable wastewater treatment. *npj Clean Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00172-3>
- Collivignarelli, M. C., Carnevale Miino, M., Baldi, M., Manzi, S., Abbà, A., & Bertanza, G. (2019). Removal of non-ionic and anionic surfactants from real laundry wastewater by means of a full-scale treatment system. *Process Safety and Environmental Protection*, 132, 105–115. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2019.10.022>
- Danish, M., & Ahmad, T. (2018). A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003>
- Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4. <https://talenta.usu.ac.id/jtk/article/view/1460/941>
- Gao, Y., Yue, Q., Gao, B., & Li, A. (2020). Insight into activated carbon from different kinds of chemical activating agents: A review. *Science of The Total Environment*, 746, 141094. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141094>
- Gumelar, D., Hendrawan, Y., Yulianingsih, R., Keteknikan, J., Teknologi, P.-F., Brawijaya, P.-U., Veteran, J., & Korespondensi, P. (2015). Pengaruh Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kinerja Arang Aktif Berbahan Eceng Gondok (Eichornia crossipes) Pada Penurunan COD Limbah Cair Laundry. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(1). <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/242>
- Harun, I., Pushiri, H., Amirul-Aiman, A. J., & Zulkeflee, Z. (2021). Invasive water hyacinth: Ecology, impacts and prospects for the rural economy. *Plants*, 10(8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants10081613>
- Herald, E. H. S. S. (2003). Characterization And Activation Of Natural Zeolit From Ponorogo. *Indonesian Journal of Chemistry*, 3(2). <https://journal.ugm.ac.id/ijc/article/download/21891/14596>
- Hu, Z., Ma, X., & Li, L. (2015). Optimal conditions for the catalytic and non-catalytic pyrolysis of water hyacinth. *Energy Conversion and Management*, 94, 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.087>
- Li, F., He, X., Srishti, A., Song, S., Tan, H. T. W., Sweeney, D. J., Ghosh, S., & Wang, C. H. (2021). Water hyacinth for energy and environmental applications: A review. *Bioresource Technology*, 327. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124809>
- Liang, J., Li, C., Zhang, S., Wang, S., & Hu, X. (2024). Sequential activation of willow wood with ZnCl₂ and H₃PO₄ drastically impacts pore structure of activated carbon. *Industrial Crops and Products*, 221, 119387. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2024.119387>

- Melián, E. P., Santiago, D. E., León, E., Reboso, J. V., & Herrera-Melián, J. A. (2023). Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109302. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2023.109302>
- Munandar, A., Muhammad, S., & Mulyati, S. (2016). Penyisihan COD dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit menggunakan Nano Karbon Aktif. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(1), 24–31. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4231>
- Muzyka, R., Sobek, S., Dudziak, M., Ouadi, M., & Sajdak, M. (2023). A Comparative Analysis of Waste Biomass Pyrolysis in Py-GC-MS and Fixed-Bed Reactors. *Energies*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/en16083528>
- Pakiding, L. M., Sumarni, N. K., & Musafira. (2014). Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan ZnCl₂ Dan Aplikasinya Dalam Pengolahan Minyak Jelantah. *Jurnal of Natural Science*, 3(1), 47–54. *Online Jurnal of Natural Science*, 3(1), 47-54. <https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/ejurnalfmipa/article/view/2209>
- Sunarya, R. W. (2014). *Penurunan kadar detergen dan cod limbah cair hotel dengan memakai arang aktif berbahan enceng gondok* [Skripsi]. Institut Teknologi Yogyakarta. https://digilib.ity.ac.id/index.php?p=show_detail&id=5905&keywords=sunarya
- Syafitra, D. F., Yusuf, T., Utami I. L., & Wahyusi, N. K. (2020). Pemanfaatan Biochar Dari Sabut Siwalan Sebagai Adsorben Larutan Cu. *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro Journal*, 1(2). www.chempro.upnjatim.ac.id
- Tangkuman, H. D., Herling, D., & Aritonang, F. (2009). Perbandingan Kualitas Karbon Aktif Yang Dibuat Dari Batok Kelapa Hibrida Dan Batok Kelapa Dalam. *Chemistry Progress*, 2(1), 29–32. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/chemprog/article/view/60>
- Valentina, E. A., Miswadi, S. S., & Latifah, D. (2013). Pemanfaatan Arang Eceng Gondok dalam Menurunkan Kekeruhan, COD, BOD pada Air Sumur. *J. Chem. Sci*, 2(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>