

PEMANFAATAN KARBON AKTIF KAYU BESI UNTUK MENGURANGI KADAR TSS, COD DAN FOSFAT LIMBAH LAUNDRY

^KWiwiek Mulyani¹, Sri Mulyono¹, dan Andreas C. Ayomi¹

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Jayapura, Jl. Padang Bulan II Kelurahan Hedam Distrik Heram, Jayapura, Papua, Indonesia, 99351

Info Artikel:

Disubmit: 10-04-2025

Direvisi: 29-05-2025

Diterima: 13-06-2025

Dipublikasi: 20-05-2025

^KPenulis Korespondensi:

Email:

wiwiekmulyani03@gmail.com

Kata kunci:

Arang Aktif, COD, Fosfat, Kayu Besi, Laundry, TSS

DOI: 10.47539/gk.v17i1.480

ABSTRAK

Kota Jayapura mengalami pertumbuhan penduduk yang pesat dan peningkatan aktivitas jasa laundry yang menghasilkan limbah cair berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemanfaatan karbon aktif dari limbah kayu besi sebagai alternatif ramah lingkungan untuk mengolah limbah laundry. Serbuk kayu besi diaktivasi menggunakan larutan NaOH, NaCl, dan garam krosok, lalu dibandingkan efektivitasnya dalam menurunkan kadar *total suspended solids* (TSS), *chemical oxygen demand* (COD), dan fosfat. Hasil menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi dengan NaOH dan NaCl mampu menurunkan kadar TSS, COD, dan fosfat, setara dengan kinerja karbon aktif yang memenuhi Standar Nasional Indonesia. Sementara itu, aktivasi menggunakan garam krosok menunjukkan efektivitas yang lebih rendah. Dengan demikian, karbon aktif kayu besi yang diaktivasi dengan NaOH dan NaCl berpotensi digunakan sebagai solusi pengolahan limbah laundry yang lebih berkelanjutan.

ABSTRACT

Jayapura City is experiencing rapid population growth and increased laundry service activities that produce liquid waste that has the potential to pollute the environment. This study aims to utilize activated carbon from ironwood waste as an environmentally friendly alternative to processing laundry waste. Ironwood powder was activated using NaOH, NaCl, and coarse salt solutions, and then its effectiveness was compared in reducing total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), and phosphate levels. The results showed that activated carbon activated with NaOH and NaCl reduced TSS, COD, and phosphate levels, equivalent to the performance of activated carbon that meets the Indonesian National Standard. Meanwhile, activation using coarse salt showed lower effectiveness. Thus, activated carbon from ironwood activated with NaOH and NaCl can be used as a more sustainable laundry waste treatment solution.

Keywords: Activated Charcoal, COD, Ironwood, Phosphate, Laundry, TSS

PENDAHULUAN

Kota Jayapura sebagai pusat pemerintahan Provinsi Papua, mengalami pertumbuhan penduduk yang pesat, yang turut mendorong dinamika sosial dan ekonomi, termasuk meningkatnya permintaan terhadap jasa laundry. Fenomena ini berkaitan erat dengan gaya hidup masyarakat urban yang semakin sibuk, seperti pegawai, mahasiswa, dan ibu rumah tangga yang memiliki keterbatasan waktu untuk mencuci pakaian. Layanan laundry pun menjadi alternatif yang praktis dan efisien. Namun, di balik

kemudahan tersebut, industri laundry menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa kimia berbahaya seperti surfaktan, fosfat, dan senyawa organik lainnya, yang apabila tidak diolah secara memadai, dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan masyarakat (Ramadhan et al., 2023, Bakar et al., 2024)

Kehadiran *total suspended solid* (TSS), *chemical oxygen demand* (COD) dan fosfat yang tinggi di badan air dapat menurunkan kualitas air, sehingga tidak aman untuk konsumsi manusia maupun kegiatan rekreasi (Hooda et al., 2024). Limbah laundry yang dibuang tanpa pengolahan berisiko menimbulkan pencemaran serius, terutama melalui peningkatan kadar fosfat yang dapat menyebabkan eutrofikasi dan penurunan kadar oksigen terlarut di perairan, sehingga mengganggu kehidupan organisme akuatik (Tuye et al., 2023, Suharto et al., 2020). Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah ini adalah penggunaan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif telah terbukti mampu menyerap berbagai kontaminan seperti logam berat, senyawa organik, serta fosfat, menjadikannya teknologi ramah lingkungan yang efektif dalam menekan dampak negatif limbah laundry terhadap ekosistem (Putri et al., 2022, Astuti and Kinasih, 2022).

Di sisi lain, Kota Jayapura juga menghadapi permasalahan limbah padat, khususnya dari industri penggergajian kayu, seperti limbah kayu besi (*Eusideroxylon zwageri*), yang umumnya dibakar atau dibuang tanpa pemanfaatan lebih lanjut. Padahal, kayu besi memiliki potensi besar untuk diolah menjadi karbon aktif yang memiliki daya adsorpsi tinggi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif dari serbuk kayu, termasuk kayu keras seperti kayu besi, efektif dalam menurunkan kadar TSS dan COD dalam limbah cair, menjadikannya alternatif pengolahan limbah yang ekonomis dan berkelanjutan (Rahmayanti and Susanti, 2023, Zalsabitha and Susanti, 2023, Mulyono et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, pemanfaatan limbah kayu besi sebagai bahan baku karbon aktif tidak hanya memberikan nilai tambah pada limbah lokal, tetapi juga menawarkan solusi ramah lingkungan dalam mengatasi pencemaran akibat limbah laundry. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi efektivitas karbon aktif berbasis limbah kayu besi dalam mengolah limbah cair laundry serta mendorong pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan guna mendukung pengelolaan lingkungan di Kota Jayapura.

METODE

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium dengan rancangan *pretest-posttest control group design* yang bertujuan membandingkan efektivitas karbon aktif berbahan dasar serbuk kayu besi yang diaktivasi menggunakan larutan NaOH 15%, NaCl 15%, dan garam krosok 15% dalam pengolahan limbah cair laundry skala rumah tangga. Prototipe alat pengolahan dirancang menggunakan media filtrasi berupa karbon aktif, pasir silika, batu koral, ijuk, dan kerikil, yang disusun dalam tabung berbahan FRP 1054 serta *housing filter* PVC berdiameter 4 inci.

Karbon aktif dibuat dari limbah serbuk dan serpihan kayu besi, kemudian dibandingkan efektivitasnya dengan karbon aktif komersial yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI

06-3730-1995). Kelompok perlakuan terdiri atas: X1 (aktivasi dengan NaOH), X2 (aktivasi dengan NaCl), X3 (aktivasi dengan garam krosok), dan X4 sebagai kontrol positif menggunakan karbon aktif standar SNI. Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga kali pengulangan ($n = 3$) untuk meningkatkan validitas hasil.

Sumber air limbah berasal dari 10 usaha laundry di Kota Jayapura. Parameter yang diukur meliputi total TSS, COD, dan fosfat, baik sebelum maupun sesudah perlakuan. Pengukuran kadar fosfat dilakukan menggunakan spektrofotometer, TSS mengacu pada metode SNI 6989.3:2019, dan COD dianalisis menggunakan *COD reactor*.

Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk memperoleh nilai rata-rata dan selisih penurunan kadar polutan. Selanjutnya, data diuji secara statistik menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dan uji homogenitas. Uji *paired t-test* digunakan untuk menilai efektivitas masing-masing jenis karbon aktif dalam menurunkan kadar TSS, COD, dan fosfat. Uji ANOVA digunakan untuk melihat perbedaan signifikan antar kelompok perlakuan. Seluruh analisis ditujukan untuk menentukan formulasi karbon aktif kayu besi yang paling efektif sebagai media penyaring limbah laundry rumah tangga.

HASIL

Pengamatan kualitas limbah cair laundry dilakukan selama 30 hari dengan menggunakan karbon aktif yang terbuat dari serpihan kayu besi. Karbon aktif ini diaktivasi dengan NaOH, NaCl, dan garam Krosok. Sampel air limbah diambil pada hari pertama, ketiga, kelima, ketujuh, dan seterusnya hingga hari ke-30. Sampel dianalisis untuk kandungan TSS, COD, dan fosfat. Analisis dilakukan pada air limbah yang belum diolah, setelah pengolahan pendahuluan, dan setelah melewati karbon aktif.

Tabel 1. Analisis Penurunan TSS Limbah Laundry dengan Berbagai Metode Pengolahan

Jenis pengolahan	TSS sebelum (mg/l)	TSS setelah (mg/l)	Penurunan (%)	NAB (mg/l)	Nilai t	P-value analisis TSS	p-value vs metode lain	Koefisien korelasi (R)	Koefisien determinasi (R^2)
Pengolahan pendahuluan	564,5	276,7	49,8	30	9,104	0,000	-	-	-
Aktivasi NaOH	564,5	30,9	93,8	30	10,297	0,000	P=0,993(NaCl) P=0,155(Krosok)	0,541	0,293
Aktivasi NaCl	564,5	30,3	93,1	30	10,131	0,000	P=0,9993(NaOH) P=0,153(Krosok)	0,584	0,341
Aktivasi Garam Krosok	564,5	48,1	90,5	30	10,121	0,000	P=0,155(NaOH), P=0,153(NaCl)	0,456	0,208
Karbon aktif SNI	564,5	29,1	94,1	30	11,301	0,000	P=0,916(NaOH), P=0,127(krosok)	0,734	0,539

Tabel 1 membandingkan lima metode pengolahan limbah cucian untuk menurunkan TSS. Awalnya, TSS sangat tinggi (564,5 mg/l), melebihi batas aman (30 mg/l). Karbon Aktif SNI paling efektif, menurunkan TSS hingga 94% (29,1 mg/l). Aktivasi NaOH dan NaCl juga efektif, menurunkan TSS sekitar 93%. Garam Krosok menurunkan TSS 90,5%, tapi kurang optimal. Pengolahan dasar hanya menurunkan TSS 49,8%, belum memenuhi standar.

Tabel 2. Analisis Penurunan COD Limbah Laundry

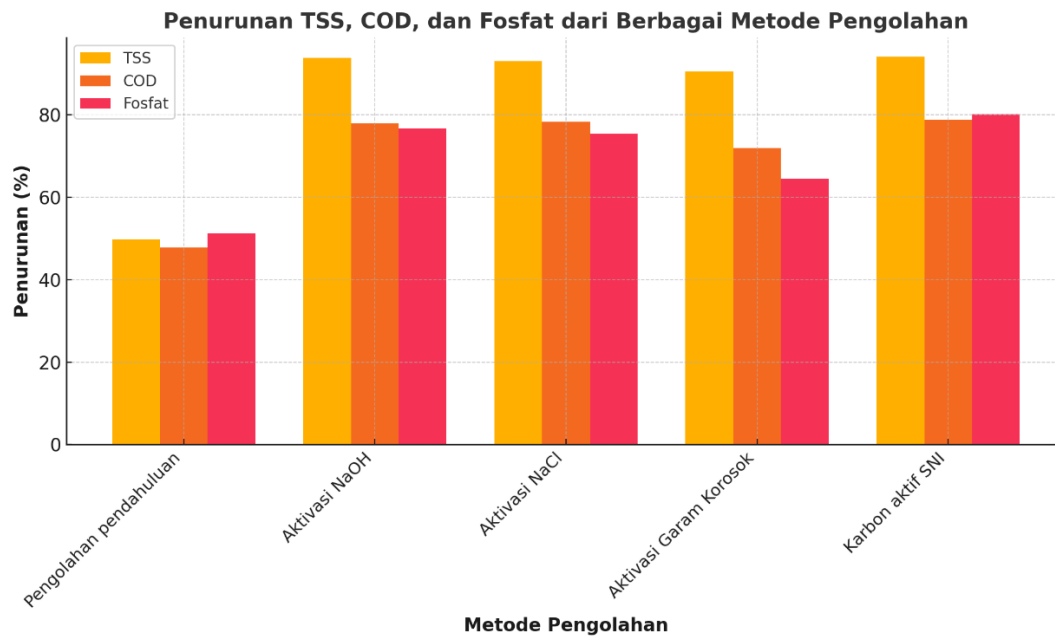
Jenis pengolahan	TSS sebelum (mg/l)	TSS setelah (mg/l)	Penurunan (%)	NAB (mg/l)	Nilai t	P-value analisis TSS	p-value vs metode lain	Koefisien korelasi (R)	Koefisien determinasi (R ²)
Pengolahan pendahuluan	466	237,7	47,8%	1000	8,468	0,000	-	-	-
Aktivasi NaOH	466	92,5	77,9%	100	8,356	0,000	P=0,877 (NaCl) P=0,031 (Krosok)	0,61	0,380
Aktivasi NaCl	466	90,9	78,3%	100	8,365	0,000	P=0,877 (NaOH) P=0,021 (Krosok)	0,644	0,414
Aktivasi Garam	466	118,0	71,9%	100	7,766	0,000	P=0,031 (NaOH) P=0,021 (NaCl)	0,222	0,049
Korosok	466	88,3	78,9%	100	8,402	0,000	P=0,727 (NaOH) P=0,013 (Krosok)	0,661	0,437
Karbon aktif SNI	466	88,3	78,9%	100	8,402	0,000			

Lima metode diuji untuk menurunkan COD dari limbah laundry yang awalnya mencapai 466 mg/l, melebihi batas aman 100 mg/l. Karbon Aktif SNI menunjukkan hasil terbaik dengan penurunan 78,9% (menjadi 88,3 mg/l) dan akurasi prediksi tertinggi. Aktivasi NaCl dan NaOH juga efektif, dengan penurunan sekitar 78%. Garam krosok kurang optimal (penurunan 71,9%) dan menunjukkan hubungan variabel yang lemah. Metode pengolahan awal paling rendah efektivitasnya, hanya menurunkan COD sebesar 47,8%.

Tabel 3. Analisis Penurunan Fosfat Limbah Laundry

Jenis pengolahan	TSS sebelum (mg/l)	TSS setelah (mg/l)	Penurunan (%)	NAB (mg/l)	Nilai t	P-value analisis TSS	p-value vs metode lain	Koefisien korelasi (R)	Koefisien determinasi (R ²)
Pengolahan pendahuluan	3,64	1,76	51,25%	1,0	14,664	0,000	-	-	-
Aktivasi NaOH	3,64	0,81	76,77%	1,0	15,946	0,000	P=0,603 (NaCl) P=0,000 (Krosok)	0,584	0,341
Aktivasi NaCl	3,64	0,85	75,45%	1,0	16,027	0,000	P=0,603 (NaOH) P=0,001 (Krosok)	0,740	0,341
Aktivasi Garam	3,64	1,32	64,55%	1,0	14,241	0,000	P=0,000 (NaOH) P=0,001 (NaCl)	0,306	0,093
Korosok	3,64	0,68	80,22%	1,0	17,956	0,000	P=0,173 (NaOH) P=0,061 (NaCl)	0,658	0,433
Karbon aktif SNI	3,64	0,68	80,22%	1,0	17,956	0,000			

Tabel 3 menunjukkan efektivitas lima metode pengolahan limbah laundry dalam menurunkan fosfat. Karbon Aktif SNI paling optimal dengan penurunan 80,22%. Aktivasi NaCl menurun 75,45% dan menunjukkan korelasi paling kuat. Aktivasi garam krosok paling rendah dengan penurunan 64,55%. Pengolahan awal tidak memenuhi ambang batas.



Gambar 1. Grafik Penurunan TSS, COD. Dan Fosfat

Hasilnya menunjukkan bahwa semua metode pengolahan yang diuji berhasil menurunkan ketiga parameter tersebut secara signifikan, dengan variasi penurunan antar metode. Metode Karbon Aktif SNI dan Aktivasi NaOH menunjukkan hasil terbaik dalam penurunan TSS, COD, dan fosfat, sementara Aktivasi garam krosok dan pengolahan pendahuluan memperlihatkan penurunan yang sedikit lebih rendah.

BAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari serbuk kayu yang diaktivasi dengan larutan basa dan garam mampu menurunkan kandungan TSS, COD, dan fosfat dalam air limbah laundry secara signifikan. Aktivasi menggunakan NaOH menunjukkan efisiensi penurunan TSS sebesar 93,8%, disusul NaCl sebesar 93,1%, dan karbon aktif standar berlabel SNI sebesar 94,1%, sebaliknya, penggunaan garam krosok hanya mampu menurunkan TSS hingga 90,5%.

Pada parameter COD, karbon aktif hasil aktivasi NaCl mencatat penurunan sebesar 78,3%, diikuti oleh NaOH (77,9%) dan karbon aktif SNI (78,9%). Garam krosok kembali menunjukkan efektivitas yang lebih rendah dengan capaian 71,9%. Untuk parameter fosfat, aktivasi dengan NaOH berhasil menurunkan konsentrasi hingga 76,77%, sementara NaCl dan garam krosok masing-masing mencatat penurunan sebesar 75,45% dan 64,55%.

Efektivitas karbon aktif dari serbuk kayu yang diaktivasi NaOH dapat dijelaskan melalui mekanisme peningkatan porositas dan luas permukaan spesifik akibat degradasi struktur lignoselulosa. NaOH diketahui efektif dalam memutuskan ikatan lignin dan selulosa, yang kemudian menciptakan banyak mikropori (Murnane et al., 2019). Pori-pori tersebut memperbesar area adsorpsi, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan terhadap partikel tersuspensi maupun senyawa organik penyumbang COD (Hernández-Montoya et al., 2012).

Selain aspek fisik, aktivasi NaOH juga membentuk gugus fungsi bermuatan negatif pada permukaan karbon aktif, yang memperkuat interaksi elektrostatis terhadap ion positif seperti fosfat. Efek ini sejalan dengan temuan (Kishor et al., 2020), yang menunjukkan bahwa peningkatan gugus fungsi mampu mengoptimalkan penyerapan senyawa ionik dalam air limbah.

Sementara itu, aktivasi menggunakan NaCl juga terbukti efektif sebagai pendekatan alternatif. Proses ini meningkatkan karakteristik adsorpsi dari karbon aktif, baik melalui modifikasi permukaan maupun peningkatan porositas (Ibaid, 2024). Peningkatan tersebut memungkinkan retensi TSS dan senyawa organik lebih optimal, sebagaimana dilaporkan pula oleh (Napitupulu et al., 2023) dalam studi penggunaan jerami padi sebagai bahan baku karbon aktif.

Secara kimiawi, keberadaan NaCl memengaruhi muatan permukaan karbon melalui interaksi ionik yang mendukung adsorpsi ion fosfat bermuatan negatif (Siswoyo et al., 2023). Efektivitas ini penting mengingat kelebihan fosfat dapat menyebabkan eutrofikasi dan degradasi kualitas air (Júnior et al., 2024). Di samping itu, permukaan karbon aktif hasil aktivasi NaCl cenderung lebih hidrofilik, yang mendukung peningkatan adsorpsi senyawa organik dan menurunkan nilai COD (Maslahat and Arrisujaya, 2019).

Efektivitas karbon aktif hasil aktivasi NaOH dan NaCl yang mendekati performa karbon aktif SNI menandakan potensi penggunaan bahan lokal dengan pendekatan kimia sederhana untuk pengolahan air limbah yang efisien dan berkelanjutan. Dengan demikian, pemanfaatan serbuk kayu sebagai bahan dasar karbon aktif memberikan alternatif ekonomis yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga ramah lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kayu besi yang diaktivasi menggunakan NaOH dan NaCl sangat efektif menurunkan kadar TSS, COD, dan fosfat dalam limbah laundry. Efektivitas kedua jenis aktivasi ini hampir setara dengan karbon aktif berstandar SNI, menjadikannya alternatif yang layak dan lebih ekonomis. Sebaliknya, aktivasi dengan garam krosok menunjukkan hasil yang kurang optimal, terutama pada parameter COD dan fosfat.

Oleh karena itu, pemanfaatan karbon aktif kayu besi dengan aktivasi NaOH atau NaCl direkomendasikan untuk pengolahan limbah cair laundry, terutama dalam skala rumah tangga atau komunitas laundry kecil. Aplikasi ini berpotensi menjadi solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan, sekaligus mendorong pemanfaatan limbah biomassa lokal secara produktif.

RUJUKAN

- Astuti, D. & Kinasih, R. P. 2022. Kajian Literatur Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Fosfat Pada Pengolahan Air Limbah Laundry. *Jurnal Semesta Sehat (J-Mestahat)*, 2, 82-100.
- Bakar, S., Nizam, N., Musa, S., Mohamed, R., Khamidun, M. & Al-Gheethi, A. Ability Of Ceramic Composite Beads As A Pre-Treatment For Laundry Wastewater And Preparation Of The

- Process. Iop Conference Series: Earth And Environmental Science, 2024. Iop Publishing, 012021.
- Hooda, V., Gupta, S., Chundawat, T. S. & Lather, A. S. 2024. From Nutrient To Nuisance: The Impact Of Phosphorus On Aquatic Ecosystem Health. *Futuristic Trends In Chemical, Material Science And Nanotechnology*, 3, 177-202.
- Ibaid, Z. Z. 2024. Bio-Char As An Adsorbent For Wastewater Purification. *Sustainable Use Of Biochar- From Basics To Advances: From Basics To Advances*, 81.
- Kishor, R., Purchase, D., Ferreira, L., Mulla, S., Bilal, M. & Bharagava, R. 2020. Environmental And Health Hazards Of Textile Industry Wastewater Pollutants And Its Treatment Approaches. *Handbook Of Environmental Materials Management* 230-1: 1-24.
- Maslahat, D. M. & Arrisujaya, N. D. 2019. Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penyerap Remazol Brilliant Blue Dalam
- Limbah Industri Batik Bogor. In: Hadisantoso, E. P., Ryski, I., Khasanah, N. N., Adiyanti, T., Rohmatulloh, Y., Kusman, C. F. & Nurrahmajanti, A. (Eds.) *Seminar Nasional Kimia Uin Sunan Gunung Djati Bandung 2019 "Peran Riset Kimia Dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0"*. Bandung.
- Mulyono, S., Markus, A. H. & Mulyani, W. 2022. Laundry Wastewater Treatment Using Active Carbon Media From Coconut Shell, Matoa Shaws Powder, Iron And Lingua Wood. *Biolink (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 9, 106-115.
- Murnane, J. G., Ghanim, B., O'donoghue, L. M., Courtney, R., O'dwyer, T. F. & Pembroke, T. J. 2019. Advances In Metal Recovery From Wastewaters Using Selected Biosorbent Materials And Constructed Wetlands.
- Napitupulu, M., Nukra, S. & Walanda, D. K. Preparation Of Active Carbon From Rice Straw To Reduce Tss Levels And Ph Value Of Tofu Waste. 2nd International Interdisciplinary Conference On Environmental Sciences And Sustainable Developments Education And Green Economy (Iicessd Ege 2022), 2023. Atlantis Press, 347-350.
- Putri, D. P., Wahida, S. A. & Marlinda, M. 2022. Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* L.) Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Cod (Chemical Oxygen Demand) Pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Informasi, Sains Dan Teknologi*, 5, 71-77.
- Rahmayanti, A. P. D. & Susanti, A. 2023. Analisis Ekonomi Pra Rancangan Pabrik Kimia Pembuatan Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Dengan Kapasitas 8100 Ton/Tahun. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 9, 510-518.
- Ramadhan, R. R., Herawati, P. & Hadrah, H. 2023. Allowance Of Laundry Wastewater Contaminant Parameters By Electrocoagulation Process. *Fidelity: Jurnal Teknik Elektro*, 5, 43-47.
- Siswoyo, S., Mawaddah, I. & Sulistiyo, Y. A. Electrodeposition Of Cobalt On The Carbon Surface From Cobalt Sulfate Solution By Cyclic And Linear Voltammetry In Developing Selective Electrodes For Phosphate Ion. 4th International Seminar On Science And Technology (Isst 2022), 2023. Atlantis Press, 183-191.
- Suharto, B., Anugroho, F. & Putri, F. K. 2020. Penurunan Kadar Fosfat Air Limbah Laundry Menggunakan Kolom Adsorpsi Media Granular Activated Carbon (Gac). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7, 36-46.

- Tuye, I. W., Sutrisno, J. & Majid, D. 2023. Potensi *Salvinia Molesta* Dan *Pistia Stratiotes* Dalam Penurunan Kadar Fosfat, Bod, Dan Cod Pada Limbah Cair Laundry. *Waktu: Jurnal Teknik Unipa*, 21.
- Zalsabitha, D. R. & Susanti, A. 2023. Seleksi Proses Dan Penentuan Kapasitas Pabrik Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 9, 251-257.