



Pengolahan Limbah Cair Sisa Analisis Laboratorium dengan Resin dan Adsorben Karbon Aktif

Agus Budianto*, Tri Wahono, Rizqi Akmal Miftahadi, dan Eka Cahya Muliawati
Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100
Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
131 – 137

Tanggal penyerahan:
21 Desember 2022

Tanggal diterima:
27 Desember 2022

Tanggal terbit:
31 Desember 2022

EMAIL

triwahono002@gmail.com
*corresponding author

ABSTRACT

As a company laboratory in East Java produces waste at levels that do not meet the standards permitted by government authorities. The main problem is the COD value, NH₃-N levels and pH that are not suitable. The study was conducted to reduce COD levels of NH₃-N and neutralize pH with the chosen method. This study aims to determine the effect of the amount of adsorbent and the use of anion exchanger on the pH of the wastewater, the COD concentration of the wastewater, and the total ammonia concentration of the wastewater. This research begins with drying of activated carbon and activation of Silitte MA-12 anion resin. Silitte MA-12 anion resin 100 gr by soaking into the waste and adding activated carbon of 45.5%, 50.55%, 65.72%, 80.89%, and 96.05%. The analysis was carried out after 24 hours of immersion. The Silitte MA-12 resin used causes an increase in pH from 1-2 to 6-7. The results of this study are that the greater the addition of activated carbon percent does not significantly affect the final pH of the sample, the COD value produced is getting smaller from the initial value of 1592 mg/L to 40-200 mg/L with a standard value of 200 mg/L and ammonia levels. in the sample is getting smaller from the initial value of 752 mg/L to 8-90 mg/L with a standard value of 100 mg/L.

Keywords: Activated carbon, ammonia concentration, COD concentration, wastewater, pH.

ABSTRAK

Laboratorium sebuah perusahaan di Jawa Timur menghasilkan limbah dengan kadar yang belum memenuhi standar baku yang diizinkan otoritas pemerintah. Masalah pokok adalah pada Nilai COD, kadar NH₃-N dan pH yang belum sesuai. Penelitian dilakukan untuk menurunkan COD kadar NH₃-N dan menetralkan pH dengan metode yang dipilih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah adsorben dan penggunaan anion exchanger terhadap pH limbah cair, konsentrasi COD limbah cair, dan konsentrasi amonia total limbah cair. Penelitian ini diawali dengan pengeringan karbon aktif dan pengaktifan resin anion jenis Silitte MA-12. Resin anion Silitte MA-12 100 gr dengan direndam ke dalam limbah dan dilakukan penambahan karbon aktif sebesar 45,5%, 50,55%, 65,72%, 80,89%, dan 96,05%. Analisa dilakukan setelah 24 jam perendaman. Resin Silitte MA-12 yang digunakan menyebabkan kenaikan pH dari 1-2 menjadi 6-7. Hasil dari penelitian ini adalah semakin besar penambahan persen karbon aktif tidak terlalu mempengaruhi pH akhir sampel, nilai COD yang dihasilkan semakin kecil dari nilai awal 1592 mg/L menjadi 40-200 mg/L dengan nilai standar baku mutu 200 mg/L dan kadar amonia dalam sampel semakin kecil dari nilai awal 752 mg/L menjadi 8-90 mg/L dengan nilai standar baku mutu 100 mg/L.

Kata kunci: Karbon aktif, konsentrasi amonia, konsentrasi COD, limbah cair, pH.

PENDAHULUAN

Kegiatan industri adalah salah satu sektor untuk meningkatkan perekonomian masyarakat, namun kegiatan industri menimbulkan pencemaran lingkungan yang berdampak buruk untuk ekosistem lingkungan dikarenakan mengandung bahan beracun berbahaya (B3) [1]–[7]. Polutan dilepaskan dari udara, air dan tanah, bersama dengan limbah, yang merupakan komponen ekosistem alami. Di era industri sekarang, limbah NH₃-N merupakan salah satu masalah yang membutuhkan perhatian khusus untuk penanganannya [6, 25-28]. Jenis limbah ini dihasilkan oleh industri maupun domestik. Salah satunya adalah limbah laboratorium dari PT. X yang menghasilkan buangan-buangan yang mengandung senyawa kimia berbahaya, dikarenakan besarnya bahan-bahan kimia yang di pakai dalam reagen untuk sebuah proses.

Penanganan yang dilakukan oleh pihak laboratorium PT. X hanya menampung lalu membuangnya tanpa dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu. Bahan –bahan tersebut jika dibuang langsung ke badan air dapat menurunkan kualitas air dan mencemari lingkungan. Adsorpsi adalah yang terjadi ketika suatu zat mengikat adsorben atau padatan dan membentuk lapisan tipis atau film pada permukaan padatan atau adsorben. Penggunaan adsorben merupakan salah satu alternatif dalam menangani limbah industri yang beracun dan berbahaya yang sukar untuk terdegradasi oleh mikroorganisme. Penggunaan adsorben relatif sederhana dan dapat diregenerasi [2]. Karbon aktif, yang disebut juga arang aktif adalah tipe karbon yang memiliki luas permukaan sangat besar, permukaan yang luas tersebut dapat dicapai dengan mengaktifkan karbon aktif [3], [6], [8]–[13]. Pengaktifan karbon aktif hanya dimaksudkan untuk memperbesar permukaan karbon aktif, tetapi juga ditujukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif itu sendiri.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [14]–[17] tentang pengurangan kandungan amonia dari limbah cair pupuk urea. Proses adsorpsi memakai adsorben bentonit yang telah dilakukan aktivasi adsorben menggunakan HCl 6 % selama 2-4 jam dengan variasi penambahan adsorben sebesar 10; 20; 30; 40 gram didapat kesimpulan yaitu bertambah banyaknya jumlah berat adsorben maka kemampuan menyerap kadar amonia juga semakin besar, akan tetapi pemakaian adsorben terlalu sedikit juga menyebabkan kurang optimalnya proses adsorpsi karena akan membuat permasalahan limbah yang sudah berkurang daya adsorpsinya karena permasalahan tersebut, diperlukan optimalisasi berat adsorben. Dari persoalan tersebut, maka penelitian ini dilakukan pembaruan untuk mengoptimalkan penyerapan kadar amonia dan COD yaitu berupa karbon aktif tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben yang diaktivasi terlebih dahulu menggunakan resin anion NaOH 100 gram selama 1 jam dan perendaman air limbah dengan karbon aktif selama 24 jam. Selain itu, juga dilakukan pembaruan yaitu pengoptimalan variasi berat karbon aktif yang tidak sedikit dan juga tidak berlebihan yaitu 45; 50; 65; 80; dan 95 gram. Dengan adanya pembaruan dari penelitian terdahulu diharapkan mampu mengoptimalkan penyerapan kadar amonia dan COD terhadap limbah cair sisa analisa laboratorium sehingga memenuhi standar baku mutu air limbah sehingga dapat mengatasi permasalahan limbah yang ada pada PT. X.

- a. Naik turunnya keasaman air.
- b. Air menjadi keruh, bau, berwarna gelap.
- c. Meningkatnya kandungan organik atau anorganik di dalam air.
- d. Meningkatnya suspensi padatan yang terkandung dalam air.

Terjadinya perubahan sifat kimia, fisik oleh badan air dikarenakan pembuangan limbah cair industri tidak di proses lebih lanjut terlebih dahulu. Senyawa pada limbah cair industri yang beracun dan berbahaya, seperti : merkuri, arsen, amoniak, aluminium, besi, tembaga, minyak dll. Aadanya kandungan senyawa-senyawa tersebut dalam jumlah melebihi batas yang ditentukan, oleh karena itu dapat menimbulkan perubahan pada lingkungan tersebut seperti :

- a. Ekosistem kehidupan di dalam air yang terganggu.
- b. Menurunnya daya guna air di area yang terdampak.
- c. Meningkatnya beberapa tumbuhan air karena tercemar oleh senyawa organik.

Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan sebuah material yang didalamnya terdapat begitu banyak pori-pori yang sangat kecil, pori-pori tersebut berperan penting untuk membuat karbon aktif dapat menyerap zat yang ada di dekatnya. Karbon aktif sendiri mengandung zat karbon 87% hingga 97% dan kandungan lainnya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, serta kandungan-kandungan lainnya. Karbon aktif mempunyai porositas yang bisa berkembang dan luas permukaan antar partikulat yang besar, dalam kegunaanya karbon aktif membutuhkan proses sebelum dapat digunakan. Proses tersebut terbagi menjadi dua, pertama proses tersebut adalah proses *carbonization* (karbonisasi) pada bahan baku serta proses aktivasi hasil dari proses tersebut. Oleh karena itu seluruh bahan dapat dikonversi menjadi karbon, walaupun karbon aktif yang dihasilkan dapat memiliki sifat yang berbeda-beda bergantung pada bahan baku yang digunakan antara lain sifat dari agen pengaktif, keadaan saat karbonisasi serta proses saat aktivasi [1]

Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan senyawa-senyawa yang ada di dalam larutan dari dua permukaan, bahkan penyerapan juga dapat digunakan pada permukaan zat kental maupun padat. Pada proses adsorpsi terdapat penyebutan adsorban dan adsorben. Adsorban adalah media atau senyawa yang diserap sedangkan adsorben adalah media yang menyerap. Umumnya mekanisme adsorpsi suatu senyawa terlarut adalah zat yang diserap atau zat yang diadsorpsi bergerak dari larutan ke bagian terluar dari zat adsorben. Zat yang di adsorpsi akan menempel dan terserap ke dalam pori-pori adsorben sehingga dengan mekanisme tersebut dapat menyerap senyawa-senyawa dalam air limbah dan kadar COD dapat menurun. Adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 antara lain: [6]

1. Adsorpsi fisika

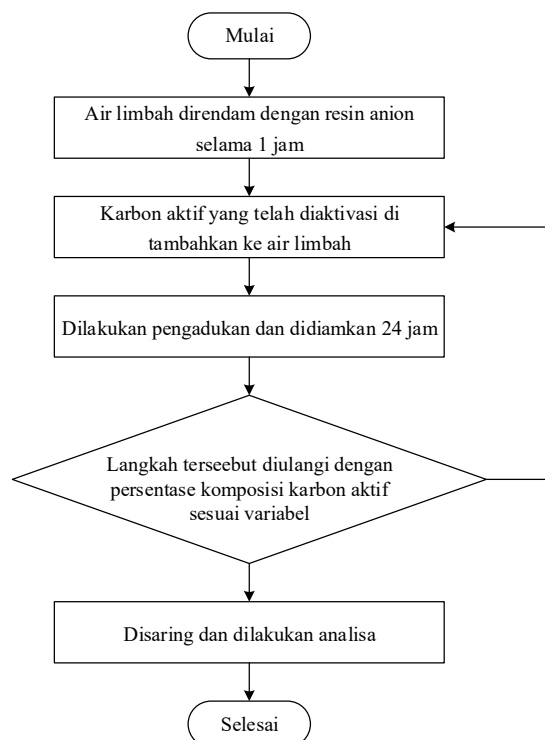
Adsorpsi fisika dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul zat terlarut dan pelarut lebih kecil daripada gaya tarik menarik antar molekul zat terlarut dan adsorben. Peristiwa tersebut dikenal dengan gaya Van der Waals. Hal tersebut menyebabkan zat yang terlarut pada adsorben akan menempel dan terserap pada permukaan adsorben. Adsorpsi fisika ini bersifat dapat kembali atau *reversible*.

2. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia merupakan suatu peristiwa dimana terjadinya reaksi kimia pada permukaan antara padatan dengan zat pelarut. Adsorpsi kimia ini bersifat tidak dapat kembali *irreversible*.

METODE

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Metode Penelitian

Variabel Penelitian

Variabel tetap: Volume limbah cair sebanyak 1000 ml, Resin anion Silitte MA-12 100 gram, *iodine number* 1062 mg/g 500 gram, Waktu kontak: 1 jam. Variabel bebas : Berat Komposisi karbon aktif 0,045 %, 0,051 %, 0,066 %, 0,081 %, 0,096 %.

Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif, natrium hidroksida (NaOH), resin anion Silitte MA-12, aquades oleh CV. Cahaya Kimia. Alat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, gelas ukur, neraca analitik, pH meter, kertas saring (*Whatman No. 42*), *magnetic stirrer*, dan oven.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan limbah awal terhadap baku mutu serta hasil adsorpsi

Tabel 1. Adalah karakteristik limbah awal terutama kandungan ammonia bebas ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD dan pH. Data menunjukkan bahwa kadar amniak bebas 752% dari baku mutu, COD 796% dari baku mutu dan PH sangat kecil yakni 1,05. Data ini menunjukkan bahwa limbah harus diproses agar memenuhi standar baku mutu [18]–[21]. Tabel 2 adalah hasil adsorpsi limbah oleh karbon katif pada berbagai % komposisi karbon aktif. Data menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif dengan % Komposisi karbon aktif 4.5-9.6 % menunjukkan hasil adsorpsi berhasil mereduksi dengan kadar yang lebih rendah dari baku mutu limbah yang diijinkan.

Tabel 1. Data Karakterisasi Limbah Awal berdasarkan PerGub Jatim No. 72 tahun 2013

No	Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu
1.	$\text{NH}_3\text{-N}$	mg/L	752	100
2.	COD	mg/L	1592	200
3.	pH	-	1,05	6-9

Tabel 2. Data Karakterisasi Limbah awal dan setelah diadsorpsi selama 24jam dengan berbagai komposisi karbon aktif yang digunakan

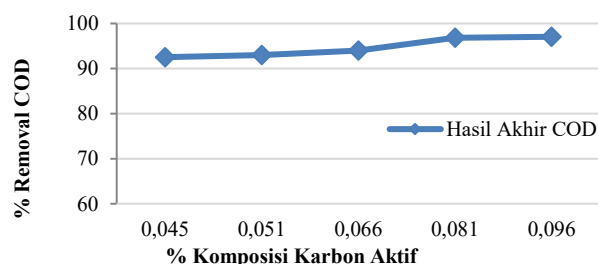
No	%Komposisi	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD	pH
1	bahan baku murni	752	1592	1,05
2	4,5 %	13,1	119	7,25
3	5,1 %	11	111	6,49
4	6,6 %	9,5	95,5	6,37
5	8,1 %	9,4	51	6,76
6	9,6 %	8,9	47	6,94

pH Limbah Hasil Olahan

Pada Tabel 1. menunjukkan bahwa limbah awal dengan pH 1.05 tidak layak untuk dibuang. pH limbah hasil pengolahan menunjukkan berada pada rentang 6.37-7.25. pH limbah ini sudah layak dan memenuhi standar baku mutu. Hasil yang tertera pada **Gambar 2.a** telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi (2016), dimana *anion exchange* resin mempunyai kemampuan untuk menyerap atau menukar anion-anion yang ada di dalam air sehingga pH limbah sisa analisa laboratorium meningkat dari 1 menjadi 6-7.

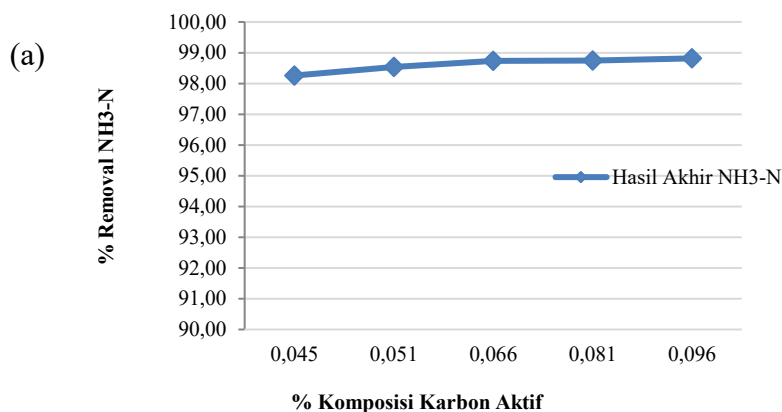
Pengaruh % Komposisi Karbon Aktif Terhadap pH Limbah Cair

Gambar 2 adalah pengaruh komposisi karbon aktif terhadap % removal COD limbah. **Gambar 2.** menunjukkan bahwa peningkatan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dapat meningkatkan % removal. Kenaikan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dari 45%-9.6 % meningkatkan % removal COD dari 92.52 menjadi 97,055%. % Removal COD. Hal ini terjadi karena peningkatan komposisi karbon aktif meningkatkan jumlah luas permukaan aktif, peningkatan luas permukaan aktif akan memberikan ruang yang lebih banyak untuk tempat teradsorpsinya zat yang kita inginkan. Tren penurunan % removal pada proses adsorpsi memperkuat hasil penelitian oleh penelitian sebelumnya menggunakan karbon aktif [3], [6], [22] % Removal COD penelitian ini lebih baik dari % removal COD hasil penelitian lain menggunakan proses koagulasi dengan FeCl_3 yakni 80,63% saja [23]. Hasil penelitian ini juga lebih baik kadar COD akhir dibandingkan hasil penelitian menggunakan ampas kopi dan fly ash [24].



Gambar 2. Removal COD limbah laboratorium oleh karbon aktif dengan proses adsorpsi pada berbagai %komposisi.

Gambar 3 adalah pengaruh komposisi karbon aktif terhadap % removal $\text{NH}_3\text{-N}$ limbah laboratorium yang diolah dengan proses adsorpsi. **Gambar 3.** menunjukkan bahwa peningkatan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dapat meningkatkan % removal $\text{NH}_3\text{-N}$. Kenaikan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dari 45%-9.6 % meningkatkan % removal COD tidak samapi 1% dari 98,258 %. Hasil removal karbon aktif terhadap $\text{NH}_3\text{-N}$ lebih baik dibandingkan penelitian yang dilakukan kosim dkk tahun 2015 menggunakan adsorbent bentonit [15].



Gambar 3. Removal $\text{NH}_3\text{-N}$ limbah laboratorium oleh karbon aktif dengan proses adsorpsi pada berbagai % komposisi.

Perlakuan terhadap hasil pH limbah sisa Analisa laboratorium adalah berbanding lurus dimana seiring dengan penambahan % komposisi karbon aktif maka hasil pH rata-rata cenderung naik. Standar baku mutu pH sebesar 9 dan apabila hasil pH melebihi standar baku mutu maka limbah tidak layak.

KESIMPULAN

Penggunaan resin anion exchanger dapat menaikkan pH dari pH awal 1.05 menjadi range pH 6.37-7.24. Penggunaan karbon aktif sebagai adsorbent terbukti dapat menurunkan COD dan kadar $\text{NH}_3\text{-N}$ limbah tersebut. Kenaikan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dari 4.5%-9.6 % meningkatkan % removal COD tidak samapi 1% dari 98,258 %. peningkatan % komposisi karbon aktif terhadap limbah dari 4.5%-9.6 % meningkatkan % removal COD dari 92.52 menjadi 97,055%. % Removal COD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa penelitian ini berjalan dengan baik dan berhasil menyelesaikan masalah yang terjadi di perusahaan. Terimakasih kami sampaikan pada Pimpinan YPTS-ITATS yang merupakan Lembaga Pendidikan terpercaya di LLDIKTI 7. Terimakasih juga disampaikan pada pimpinan dan rekan kerja di Departemen Teknik Kimia ITATS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Kusdarini, A. Budianto, and D. Ghafarunnisa, "Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H_3PO_4 , Kombinasi $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-NH}_4\text{HCO}_3$, dan Termal," *Reaktor*, vol. 17, no. 2, pp. 74–80, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>.
- [2] E. Kusdarini and A. Purwaningsih, Dian Yanuarita Budianto, "ADSORPTION OF Pb^{2+} ION IN WATER WELL WITH AMBERLITE IR 120 NA RESIN," *Pollut. Res.*, vol. 37, no. 4, pp. 307–312, 2018.
- [3] A. Budianto, Romiarto, and Fitrianingtyas, "Pemanfaatan limbah kakao (*Theobroma cacao* L) sebagai karbon aktif dengan aktifator termal dan kimia," in *Research Gate*, 2017, no. August, pp. 207–212.
- [4] E. Kusdarini and A. Budianto, "Removal of Manganese from Well-Water on Pasuruan, East Java, Indonesia Using Fixed Bed Cation Exchanger and Prediction of Kinetics Adsorption," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 23, pp. 1–7, 2018.
- [5] E. Kusdarini, D. Y. Purwaningsih, and A. Budianto, "Removal Pb^{2+} of Well Water using Purolite C-100 Resin and Adsorption Kinetic," *Pollut. Res.*, vol. 40, no. 2, 2021.
- [6] A. Budianto, E. Kusdarini, W. Mangkurat, E. Nurdiana, and N. Asri, "Activated Carbon Producing from Young Coconut Coir and Shells to Meet Activated Carbon Needs in Water Purification Process," 2021.
- [7] W. Mangkurat *et al.*, "Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat pada Air Sungai Menggunakan Karbon Aktif sebagai Solusi Efisiensi Chlorine," pp. 279–284.

- [8] F. F. Polii, "PENGARUH SUHU DAN LAMA AKTIFASI TERHADAP MUTU ARANG AKTIF DARI KAYU KELAPA. (Effects of Activation Temperature and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood).," *J. Ind. Has. Perkeb.*, vol. 12, no. 2, pp. 21–28, 2017, doi: 10.33104/jihp.v12i2.1672.
- [9] M. A. Tadda *et al.*, "A review on activated carbon: process, application and prospects," *J. Adv. Civ. Eng. Pract. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–13, 2016.
- [10] F. Wulandari, Umiatin, and E. Budi, "PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN NaOH PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA UNTUK ADSORPSI LOGAM Cu²⁺," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 16, no. 2, pp. 60–64, 2015.
- [11] S. Bhatia, A. N. Siyal, A. Ahmed, Q. K. Panhwar, A. M. Channa, and A. Mahar, "Activation of natural coal for selective preconcentration of Pb(II) ions prior to its trace determination in aqueous samples by flame atomic absorption spectrometer," *Environ. Chem. Ecotoxicol.*, vol. 2, pp. 39–43, 2020, doi: 10.1016/J.ENCECO.2020.02.001.
- [12] A. Budianto, E. Kusdarini, N. H. Amrullah, E. Ningsih, K. Udyani, and Aidawiyah, "Physics and chemical activation to produce activated carbon from empty palm oil bunches waste Physics and chemical activation to produce activated carbon from empty palm oil bunches waste," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1010, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1010/1/012016.
- [13] A. Budianto, E. Kusdarini, S. S. W. Effendi, and M. Aziz, "The Production of Activated Carbon from Indonesian Mangrove Charcoal," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 462, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/462/1/012006.
- [14] T. Garber, J. Goldenberg, B. Libai, and E. Muller, "Penurunan kadar amoniak, nitrit, dan nitrat limbah cair industri tahu," *Penurunan kadar amoniak, nitrit, dan nitrat limbah cair Ind. tahu*, vol. 23, no. 3, pp. 419–428, 2009.
- [15] H. Kosim, S. Arita, and H. Hermansyah, "Pengurangan Kadar Amonia dari Limbah Cair Pupuk Urea dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben Bentonit," *J. Penelit. Sains*, vol. 17, no. 2, pp. 66–71, 2015.
- [16] I. Irmanto and S. Suyata, "PENURUNAN KADAR AMONIA, NITRIT, DAN NITRAT LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN ARANG AKTIF DARI AMPAS KOP," *Molekul*, vol. 4, no. 2, pp. 105–114, 2009.
- [17] A. Amin, S. Sitorus, and B. Yusuf, "PEMANFAATAN LIMBAH TONGKOL JAGUNG (*Zea mays* L.) SEBAGAI ARANG AKTIF DALAM MENURUNKAN KADAR AMONIA, NITRIT DAN NITRAT PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN TEKNIK CELUP," *J. Kim. Mulawarman*, vol. 13, pp. 78–84, 2016.
- [18] E. KUSDARINI, L. HAKIM, B. YANUWIADI, and S. SUYADI, "Study in the Development of Fixed Bed Filter Adoption of Public Health of Lake Water Users," *Walailak J. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 8, pp. 1–10, 2021, doi: <https://doi.org/10.48048/wjst.2021.9131>.
- [19] K. Udyani, D. Y. Purwaningsih, R. Setiawan, and K. Yahya, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika Dengan Microwave," *J. IPTEK*, vol. 23, no. 1, pp. 39–46, 2019, doi: 10.31284/j.iptek.2019.v23i1.
- [20] D. Y. Purwaningsih, A. Budianto, A. A. Ningrum, and B. T. Kosagi, "Produksi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivasi Kimia Fisika Menggunakan Gelombang Mikro," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*, 2019, pp. 663–670, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/622/427>.
- [21] E. Kusdarini, D. Y. Purwaningsih, and M. Iqbal, "REMOVAL Pb (II) DARI AIR SUMUR DI KOTA PASURUAN MENGGUNAKAN PROSES CATION EXCHANGER," no. Ii.
- [22] A. Selan, "Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif," pp. 32–36, 2016.
- [23] L. N. Ayni and E. Ningsih, "Pengolahan Limbah Cair Tekstil dengan Menggunakan Koagulan," in *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 2021, pp. 370–377.
- [24] M. Septiani, Z. Darajat, I. Pasinda, and D. Kurniawan, "Kajian Perbandingan Efektivitas Adsorben Ampas Kopi Dan Fly Ash Pada Penurunan Konsentrasi Amonia (Nh₃) Dalam Limbah Cair Urea," *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 7, no. 2, pp. 52–59, 2021, doi: 10.32487/jst.v7i2.1171.
- [25] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated polyetherimide new blends membrane promising for direct methanol fuel cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(3), 659-668.
- [26] Muliawati, E. C., Ismail, A. F., Jaafar, J., Widiastuti, N., Santoso, M., Taufiq, M., ... & Atmaja, L. (2019). Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO₂ as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 555-560.
- [27] Muliawati, E. C., Widiastuti, N., Santoso, M., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated Polyetherimide-Titanium Dioxide (TiO₂) New Blends Membrane Promising For Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Proceedings Book*, 36.

[28] Muliawati, E. C., & Mirzayanti, Y. W. (2021). Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*, 7(2), 247-256.