

TESIS
EFEKTIVITAS PENURUNAN KADAR AMONIAK
PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
MENGUNAKAN KOMBINASI BIOADSORBEN
AMPAS TEBU DAN MEMBRAN NANOFILTRASI



Laily Noor Fitri Lestari
03012682125003

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

TESIS
EFEKTIVITAS PENURUNAN KADAR AMONIAK
PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
MENGUNAKAN KOMBINASI BIOADSORBEN
AMPAS TEBU DAN MEMBRAN NANOFILTRASI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Laily Noor Fitri Lestari
03012682125003

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

EFEKTIVITAS PENURUNAN KADAR AMONIAK PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT MENGUNAKAN KOMBINASI BIOADSORBEN AMPAS TEBU DAN MEMBRAN NANOFILTRASI

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

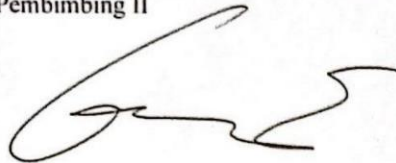
Palembang, Juli 2025

Menyetujui
Pembimbing I



Prof. Ir. Subriyeh Nasir, MS., Ph.D
NIP. 196009091987031004

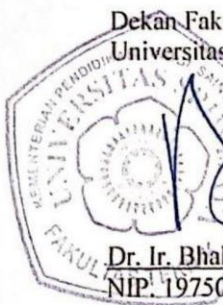
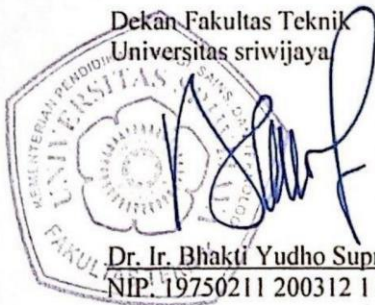
Pembimbing II



Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002

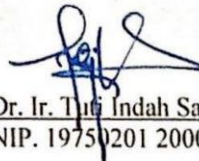
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750211 200312 1 002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tutik Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2 001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah dengan judul “Efektivitas Penurunan Kadar Amoniak pada Limbah Cair Rumah Sakit menggunakan Kombinasi Bioadsorben Ampas Tebu dan Membran Nanofiltrasi” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada

Palembang, 10 Juli 2025

Tim Penguji karya ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua

Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

NIP. 196010111985032002

()

Anggota

Prof. Ir. Hj. Tuty Emilia Agustina, Ph.D

NIP. 19720809 200003 2 001

()

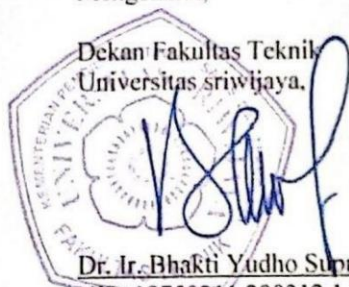
Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T

NIP. 19801031 200501 1 003

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750211 200312 1 002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2 001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Laily Noor Fitri Lestari

NIM : 03012682125003

Judul : Efektivitas Penurunan Kadar Amoniak pada Limbah Cair Rumah Sakit menggunakan Kombinasi Bioadsorben Ampas Tebu dan Membran Nanofiltrasi

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Laily Noor Fitri Lestari

NIM. 03012682125003

RINGKASAN

EFEKTIVITAS PENURUNAN KADAR AMONIAK PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT MENGGUNAKAN KOMBINASI BIOADSORBEN AMPAS TEBU DAN MEMBRAN NANOFILTRASI

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Juli 2025

Laily Noor Fitri Lestari, Dibimbing oleh Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D., dan Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

Effectiveness of Reducing Ammonia Levels in Hospital Wastewater Using A Combination of Bagasse Bio Adsorbent and Nanofiltration Membrane

xii + 62 halaman, 9 Tabel, 28 Gambar, 3 Lampiran

RINGKASAN

Dampak lingkungan yang semakin meningkat akibat limbah cair rumah sakit, terutama karena kandungan amoniak di dalamnya, mengharuskan penerapan metode pengolahan inovatif. Studi ini meneliti efektivitas kombinasi bioadsorben berbasis ampas tebu dan teknologi membran nanofiltrasi dalam mengurangi konsentrasi amoniak pada limbah cair rumah sakit. Karbon aktif diproduksi melalui karbonisasi pada suhu 550°C dan aktivasi kimia menggunakan H₂SO₄ 10%. Eksperimen adsorpsi dilakukan dengan variasi ketinggian unggun (5; 7,5; dan 10 cm) dan laju alir (2; 3; dan 4 L/menit), diikuti dengan nanofiltrasi pada tekanan 25, 30, dan 35 Psi. Hasil studi menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi proses mampu menurunkan pH limbah cair dari 9,08 menjadi 6,53 dan konsentrasi amoniak dari 4,61 mg/L menjadi 0,02 mg/L, berhasil memenuhi standar baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa metode kombinasi secara efektif mampu mengurangi kadar amoniak dan meningkatkan kualitas limbah cair sebelum pembuangan.

Kata Kunci: Adsorpsi; Ampas tebu; Limbah cair rumah sakit; Membran nanofiltrasi; Penghilangan amonia

Kepustakaan : 61 (2015-2024)

SUMMARY

EFFECTIVENESS OF REDUCING AMMONIA LEVELS IN HOSPITAL WASTEWATER USING A COMBINATION OF BAGASSE BIO ADSORBENT AND NANOFILTRATION MEMBRANE

Scientific paper in the form of Tesis, July 2025

Laily Noor Fitri Lestari, Supervised by. Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D., dan Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T.,M.T.

xii + 62 pages, 9 Tables, 28 Figures, 3 Appendices

SUMMARY

The increasing environmental impact caused by hospital wastewater, particularly due to its ammonia content, necessitates innovative treatment methods. This study investigates the effectiveness of a combination of sugarcane bagasse-based activated carbon bio-adsorbent and nanofiltration membrane technology to reduce ammonia concentrations in hospital wastewater. The activated carbon was produced through carbonization at 550°C and chemical activation using 10% H₂SO₄. Adsorption experiments were conducted by varying bed heights (5, 7.5, and 10 cm) and flow rates (2, 3, and 4 L/min), followed by nanofiltration at 25, 30, and 35 Psi pressures. Results showed that the combined treatment reduced the wastewater pH from 9.08 to 6.53 and ammonia concentration from 4.61 mg/L to 0.02 mg/L, successfully meeting regulatory standards. This indicates that the integrated method effectively decreases ammonia levels and improves wastewater quality before discharge.

Keywords: Adsorption; Ammonia removal; Hospital wastewater; Nanofiltration membrane; Sugarcane bagasse

Citations: 61 (2015-2024)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Hasil Penelitian yang berjudul **“Efektivitas Penurunan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Rumah Sakit Menggunakan Kombinasi Bioadsorben Ampas Tebu dan Membran Nanofiltrasi”** dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Magister Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Keseluruhan rangkaian penyusunan laporan ini dapat terlaksana dengan baik oleh bantuan berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Selpiana, S.T., M.T. selaku Koordinator Prodi Magister Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D. selaku dosen pembimbing I.
5. Ibu Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II.
6. Orang tua, Suami, dan kedua anakku yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi sehingga penyusunan laporan tesis ini dapat terselesaikan.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar laporan hasil penelitian tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, 2025

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesa.....	4
1.5. Ruang Lingkup.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Air Limbah	5
2.1.1. Definisi Air Limbah	5
2.1.2. Karakteristik Air Limbah	5
2.1.3. Limbah Cair Rumah Sakit.....	7
2.1.4. Kandungan Amoniak Limbah Rumah Sakit	12
2.2. Adsorben Ampas Tebu.....	13
2.3. Karbon Aktif	14
2.3.1. Proses Aktivasi Arang Aktif	15
2.3.2. Karakteristik Arang Aktif.....	16

2.4. Metode Uji.....	17
2.4.1. Uji Kandungan Amoniak	17
2.5. Membran Nanofiltrasi	17
2.6. Prinsip Kerja Membran Nanofiltrasi	20
2.7. Isoterm Adsorpsi	21
2.7.1. Isoterm Adsorpsi Langmuir	22
2.7.2. Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	22
2.8. Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	25
3.2.1. Bahan Penelitian	25
3.2.2. Peralatan Penelitian.....	25
3.3. Prosedur Penelitian.....	26
3.4. Skema Proses Penelitian.....	28
3.5. Alat Penelitian	29
3.6. Metode Analisa	29
3.7. Analisa Data	30
3.7.1. Analisa Derajat Keasaman (pH).....	30
3.7.2. Analisa Kadar Amoniak	30
3.7.3. Analisa SEM-EDS.....	31
3.8. Metode Pengolahan Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Karbonisasi Ampas Tebu	33
4.2. Analisa Karbon Aktif	33
4.3. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Laju Alir terhadap pH Effluent Adsorpsi	35
4.4. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Tekanan terhadap pH Permeat	38
4.5. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Laju Alir terhadap Kadar Amoniak Effluent Adsorpsi	39
4.6. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Tekanan terhadap Kadar Amoniak Permeat.....	42
4.7. Pengaruh Laju Alir terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Amoniak	44
4.8. Pengaruh Tekanan terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Amoniak.....	45
4.9. Kapasitas Adsorpsi	47

4.10.Morfologi Adsorben Ampas Tebu menggunakan SEM - EDS.....	48
4.11.Penentuan Ukuran Adsorben.....	52
4.12.Penentuan Model Isoterm Adsorpsi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan.....	62
5.2. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Alat Penelitian

Lampiran B : Hasil Analisa SEM-EDS

Lampiran C : Perhitungan

Lampiran D : Hasil Pemeriksaan Air Limbah

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Standar Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit.....	11
Tabel 2. 2. Standar Kualitas Arang Aktif (SNI) 06-3730-1995.....	16
Tabel 2. 3. Potensi Membran Nanofiltrasi terhadap Pengolahan Air	19
Tabel 4. 1. Hasil pengukuran kadar air dan kadar abu.....	34
Tabel 4. 2. Kandungan atom dalam adsorben teraktivasi H ₂ SO ₄ 10%.....	37
Tabel 4. 3. Distribusi unsur hasil analisa EDS.....	52
Tabel 4. 4. Ukuran diameter partikel rata-rata karbon aktif.....	54
Tabel 4. 5. Parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Langmuir	57
Tabel 4. 6. Parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Freundlich.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ampas Tebu	13
Gambar 2. 2. Skema proses pembuatan karbon aktif.....	16
Gambar 2. 3. Skema pembagian filtrasi membran berdasarkan ukuran partikel ..	18
Gambar 2. 4. Karakteristik Proses Membran	21
Gambar 3. 1. Skema Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tebu	27
Gambar 3. 2. Skema Proses Adsorpsi dan Membran Nanofiltrasi.....	28
Gambar 3. 3. Rangkaian Alat Penelitian.....	29
Gambar 4. 1. (a) Ampas tebu kering; (b) Karbonisasi ampas tebu	33
Gambar 4. 2. Prosentase kadar air dan kadar abu karbon aktif.....	34
Gambar 4. 3. Pengaruh waktu dan laju alir terhadap pH effluent;.....	35
Gambar 4. 4. Pengaruh waktu dan tekanan terhadap pH permeat membran;	38
Gambar 4. 5. Pengaruh waktu dan laju alir terhadap kadar amoniak effluent;	40
Gambar 4. 6. Pengaruh waktu dan tekanan terhadap kadar amoniak permeat;	42
Gambar 4. 7. Efisiensi penurunan kadar amoniak proses adsorpsi.....	44
Gambar 4. 8. Efisiensi penurunan kadar amoniak membran nanofiltrasi;	46
Gambar 4. 9. Kapasitas adsorpsi	47
Gambar 4. 10. Hasil analisa SEM-EDS adsorben sebelum aktivasi	49
Gambar 4. 11. Hasil analisa SEM-EDS adsorben setelah aktivasi H ₂ SO ₄	50
Gambar 4. 12. Hasil analisa SEM-EDS adsorben setelah proses adsorpsi	51
Gambar 4. 13. Potongan sebelum aktivasi	53
Gambar 4. 14. Potongan setelah aktivasi	53
Gambar 4. 15. Potongan setelah adsorpsi	54
Gambar 4. 16. Model isoterm langmuir laju alir 2 L/menit	55
Gambar 4. 17. Gambar 4 17. Model isoterm langmuir laju alir 3 L/menit	56
Gambar 4. 18. Model isoterm langmuir laju alir 4 L/menit.....	56
Gambar 4. 19. Model isoterm freundlich laju alir 2 L/menit	58
Gambar 4. 20. Model isoterm freundlich laju alir 3 L/menit	59
Gambar 4. 21. Model isoterm freundlich laju alir 4 L/menit	60

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
RO	<i>Reverse Osmosis</i>
NF	Nanofiltrasi
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
EDS	<i>Energy Dispersive x-ray Spectroscopy</i>
RSUD	Rumah Sakit Umum Daerah
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah

DAFTAR SIMBOL

V	<i>Volume</i>	L
A	<i>Luas Permukaan</i>	Cm2
t	<i>Waktu</i>	min
Ef	<i>Efektivitas</i>	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Rumah sakit merupakan fasilitas umum yang melayani Kesehatan masyarakat dengan jam operasional yang cukup padat. Salah satu sumber pencemaran lingkungan yang berbahaya berasal dari limbah cair rumah sakit. Kandungan senyawa organik dan senyawa kimia seperti amoniak menyebabkan sifat limbah cair rumah sakit dapat mencemari lingkungan. Selain itu juga mengandung senyawa pathogen seperti *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumonia* (Tarigan & Ukur, 2019).

Air limbah yang berasal dari aktifitas rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan karena kandungan senyawa organik yang cukup tinggi dan mikroorganisme pathogen yang dapat membahayakan Kesehatan masyarakat. Salah satu pencemar dalam air limbah adalah amoniak terlarut, yang memiliki konsentrasi rendah dan jumlah buang yang rendah. Jika amoniak terlarut dalam air limbah tidak dapat dikurangi, akan menimbulkan masalah yang cukup serius (Riyanto & Hayati, 2017).

Urin turut menyumbang kadar amoniak yang tinggi dalam perairan. Dampak bagi lingkungan adalah jika keberadaan amoniak yang cukup tinggi di lingkungan perairan, dapat menyebabkan biota dalam perairan tersebut mati. Selain berdampak pada biota perairan, tingginya kadar amoniak juga memberikan dampak terhadap manusia, diantaranya dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan dan mata, bahkan dapat menjadi penyebab kematian. Pencemaran air karena kandungan amoniak dikarenakan sifat amoniak yang mudah larut dalam air, sehingga menyebabkan pH air menjadi basa (Ruhmawati et al., 2020). Berdasarkan hal tersebut, maka rumah sakit memiliki kewajiban dalam mengolah limbahnya berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, hotel, rumah sakit, domestik dan pertambangan batubara bahwa parameter NH_3 bebas kadar maksimum yang diperbolehkan dalam limbah cair rumah sakit adalah sebesar 0,1 mg/l.

Menjadi kewajiban bagi rumah sakit dalam menekan angka pencemaran lingkungan salah satunya yaitu dengan mengolah limbah cair yang dihasilkan agar memenuhi standar baku mutu dan aman bagi lingkungan. Untuk itu diperlukan teknologi alternatif dalam menurunkan kadar amoniak limbah cair rumah sakit, yaitu salah satunya dengan menggunakan metode kombinasi proses adsorpsi karbon aktif berbahan ampas tebu yang dikombinasikan dengan teknologi membran nanofiltrasi.

Salah satu proses pengolahan air limbah yaitu adsorpsi yang merupakan suatu proses yang bekerja dengan cara molekul-molekul zat terlarut berkumpul dan melekat pada permukaan adsorben (biasanya padatan). Proses adsorpsi dapat terjadi ketika gaya tarik pada permukaan adsorben mengalahkan gaya tarik zat terlarut dalam cairan. Teknik ini merupakan teknik ramah lingkungan yang melibatkan penggunaan berbagai adsorben sistesis dan alami seperti kitosan, karbon aktif, dan zeolite (Saheed et al., 2022)

Karbon aktif merupakan adsorben yang sangat serbaguna karena ukuran dan distribusi pori-pori dalam matriks karbon dapat dikendalikan (Ruhmawati et al., 2020). Salah satu bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat karbon aktif yaitu ampas tebu yang merupakan sisa dari proses penggilingan tebu pada proses produksi gula. Ampas tebu merupakan bahan alam yang dapat digunakan untuk membuat karbon aktif karena lebih ramah lingkungan sehingga tidak menghasilkan polutan baru dan biaya pembuatan yang tergolong murah.

Limbah cair yang mengandung konsentrasi NH_4^+ yang tinggi biasanya diolah menggunakan sistem pengolahan biologis, yang merupakan sistem paling populer dalam hal tingkat pengolahan. Dibandingkan dengan menggunakan biofilter yang membutuhkan banyak energi dan memiliki persyaratan teknik yang tinggi, absorpsi adalah proses yang sangat efisien dan mapan (Peng et al., 2020).

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, metode yang diharapkan mampu menurunkan kadar amoniak pada limbah cair rumah sakit yaitu dengan kombinasi metode adsorpsi karbon aktif berbahan ampas tebu dan penggunaan membran nanofiltrasi sehingga dapat diketahui efektivitas dari metode tersebut. Faktor yang berpengaruh terhadap efektivitas adsorben yaitu sifat adsorben (luas permukaan, prositas, kemampuan adsorpsi), sifat molekul yang diserap (ukuran

molekul, polaritas), kondisi lingkungan (konsentrasi larutan, suhu, pH), waktu kontak, kondisi operasional (kecepatan aliran, konsentrasi adsorben), regenerasi adsorben, kontaminan lain, serta bentuk, dan ukuran adsorben. Sedangkan efektifitas membran dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya ukuran poros membran, muatan permukaan membran, tekanan operasi, konsentrasi larutan, suhu, pretreatment, kondisi kimia, regenerasi membran, dan juga ketebalan membran.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana karakteristik arang aktif berbahan ampas tebu yang digunakan sebagai adsorben?
2. Bagaimana efektivitas arang aktif berbahan ampas tebu sebagai adsorben untuk mereduksi kadar amoniak dari limbah cair rumah sakit?
3. Bagaimana efektivitas kombinasi adsorben ampas tebu dan membran nanofiltrasi dalam mereduksi kadar amoniak pada limbah cair rumah sakit?
4. Bagaimana model isoterm yang sesuai untuk proses adsorpsi limbah cair rumah sakit menggunakan adsorben ampas tebu?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini:

1. Mengetahui karakteristik karbon aktif berbahan ampas tebu sebagai adsorben amoniak pada limbah cair rumah sakit berdasarkan SNI 06-3730-1995.
2. Menentukan efektivitas adsorben dari ampas tebu dalam menurunkan kadar amoniak dalam limbah cair rumah sakit.
3. Menentukan efektivitas/kinerja kombinasi adsorben ampas tebu dan membran nanofiltrasi.
4. Mengetahui model isoterm yang sesuai untuk proses adsorpsi limbah cair rumah sakit menggunakan adsorben ampas tebu.

1.4. Hipotesa

Adapun hipotesa dari penelitian ini adalah:

1. Pengolahan limbah cair rumah sakit menggunakan adsorben ampas tebu yang diaktivasi menggunakan H_2SO_4 10% mampu menurunkan kandungan amoniak.
2. Penggunaan kombinasi proses adsorpsi dan proses filtrasi membran lebih efektif dalam menurunkan kandungan amoniak dalam limbah cair rumah sakit.

1.5. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian berskala laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan DLH Kabupaten Ogan Ilir dan kolam IPAL RSUD Ogan Ilir.
2. Limbah cair medis diperoleh dari limbah cair RSUD Ogan Ilir pada bulan Mei 2024.
3. Aktivasi ampas tebu menggunakan H_2SO_4 10% teknis.
4. Variabel bebas terdiri dari tinggi unggun kolom adsorpsi (5 cm; 7,5 cm; dan 10 cm), waktu operasi (30 menit, 60 menit, dan 90 menit), Laju alir (2 L/menit, 3 L/menit, dan 4 L/menit), tekanan membran (25 Psi, 30 Psi, dan 35 Psi).
5. Proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu merupakan proses *pretreatment* sebelum dilakukan proses lanjutan menggunakan membran nanofiltrasi.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini:

- a. Menyediakan data berbasis riset tentang proses adsorpsi dan karakteristik karbon aktif ampas tebu sebagai adsorben untuk penurunan kadar amoniak pada limbah cair rumah sakit.
- b. Memberi rekomendasi dan alternatif teknologi proses pengolahan limbah yang mengandung kadar amoniak sehingga dapat mengurangi pencemaran dan lingkungan terjaga dari bahaya limbah cair beracun.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

2.1.1. Definisi Air Limbah

Air yang kualitasnya menurun karena Tindakan manusia disebut sebagai air limbah. Beberapa sumber air limbah rumah tangga, limbah manusia, aktivitas industri, pertanian, *run off*, peternakan dll. 99,941 % air limbah berasal dari sisa aktivitas manusia, dan 0,06 % berasal dari proses alam yang menghasilkan bahan material terlarut (Al-Ghouti et al., 2019).

2.1.2. Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah perlu diketahui untuk menentukan cara pengolahan yang tepat sehingga air limbah hasil suatu proses tidak mencemari lingkungan. Prinsip utama pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi bahkan menghilangkan kontaminan yang terkandung dalam air limbah. Air limbah dapat dikategorikan berdasarkan tiga ciri, antara lain:

2.1.2.1. Karakteristik Fisik

a. Temperatur

Jika suhu air limbah lebih tinggi daripada suhu ruangan, dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut. Jika tidak ada oksigen dalam air, maka organisme akan mati.

b. Padatan

Seluruh bahan terlarut atau tidak terlarut yang ada dalam air disebut padatan, salah satu contoh adalah air yang dipanaskan selama sekitar satu jam pada suhu 103⁰C hingga 105⁰C.

c. Warna

Air limbah biasanya bening atau tidak berwarna. Jenis limbahnya dapat memberi berbagai warna, seperti kemerahan, coklat, kehitaman, dll.

d. Turbiditas atau Kekeruhan

Penyebab air limbah keruh antara lain karena air limbah mengandung koloid, zat terlarut, dan juga mikroba yang ada didalamnya (Notoatmodjo, 2018).

2.1.2.2. Karakteristik Kimia

a. Derajat Keasaman / pH

Jumlah ion H^+ yang terkandung dalam air limbah menunjukkan tingkat keasaman air. Untuk perkembangan organisme, pH netral yang bernilai 7 sangat diperlukan. Kondisi asam menggambarkan nilai pH rendah, sedangkan kondisi basa menunjukkan nilai pH yang lebih tinggi.

b. Sulfat

Bakteri dapat mengubah sulfat menjadi sulfid dan hidrogen sulfida (H_2S) dalam kondisi arob, bakteriologi dioksidasi menjadi asam sulfat. H_2S berbau busuk dan beracun, serta bersifat korosif ketika bercampur dengan gas air limbah, dan bakteriologis dioksidasi menjadi asam sulfat selama proses aerobik.

c. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Unsur C, H, dan O merupakan unsur yang terkandung dalam air limbah. Parameter pencemar yang dapat menunjukkan tingkat pencemaran air limbah diantaranya adanya unsur tambahan berupa Nitrogen, Sulfur, dll.

d. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Metode untuk menghitung jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi kimia anorganik disebut *Chemical Oxygen Demand*. Nilai COD dan BOD dihitung untuk senyawa organik yang dapat terurai dan senyawa anorganik yang tidak dapat terurai. Adanya zat toksik yang mengganggu fungsi bakteri menentukan rasio COD versus BOD. Jumlah oksigen terlarut yang ditemukan dalam air disebut oksigen terlarut.

e. Nitrogen

Karakteristik kimia berupa nitrogen berada dalam air limbah dalam bentuk organik yang diubah menjadi amoniak kemudian pada kondisi aerobik amoniak diubah menjadi nitrat dan nitrit oleh bakteri.

f. Minyak dan Lemak

Minyak adalah turunan alkohol dari senyawa ester dan mengapung di atas air karena densitasnya yang lebih rendah daripada air. Karena sifatnya yang stabil, sifat lemak dan minyak sulit terurai oleh bakteri dalam air, meskipun alkali dapat menghidrolisisnya. Agar pengolahan air limbah

tidak mengganggu makhluk hidup dan ekosistem air, minyak dan lemak harus dipisahkan.

2.1.2.3. Karakteristik Biologi

Bakteri dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit, namun bakteri juga diperlukan untuk pembusukan bahan organik. Standar kualitas air minum dan tingkat kekotoran air limbah biasanya diukur menggunakan karakteristik biologi. Evaluasi hasil olahan limbah cair dapat dibuang ke perairan atau tidak, digunakan analisa senyawa kandungan kloroform.

2.1.3. Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah cair rumah sakit adalah seluruh hasil buangan dari proses kegiatan pelayanan rumah sakit yang meliputi limbah cair domestik (air buangan dapur, kamar mandi, dan air bekas cucian pakaian), air limbah klinis (air bekas cucian luka, darah, dan lain-lain), air limbah laboratorium dan lain-lain. Limbah cair tersebut umumnya banyak mengandung senyawa pencemar organik dan dapat diolah menggunakan proses pengolahan biologi (Suwerda, 2019).

Air limbah yang berasal dari kegiatan rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemar air yang sangat potensial. Hal ini disebabkan karena air limbah rumah sakit mengandung senyawa organik dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Oleh karena itu diperlukan adanya upaya pengolahan limbah sesuai dengan karakter limbah itu sendiri sehingga tidak mengganggu struktur lingkungan dan memenuhi standar baku mutu sesuai dengan peruntukannya (Dewi et al., 2019).

Limbah cair rumah sakit cenderung bersifat infeksius dan kimia beracun dapat mempengaruhi kesehatan manusia, serta memperburuk kelestarian lingkungan hidup apabila tidak dikelola dengan baik. Semakin tinggi tipe rumah sakit, semakin tinggi jumlah dan jenis limbah yang dihasilkan, karena kompleksitasnya melebihi beberapa jenis industri pada umumnya. Jenis limbah rumah sakit memiliki rentang berbagai bahan organik, bahan berbahaya, radioaktif bahkan bakteri atau mikroba patogenik. Salah satu Penyakit yang ditimbulkan akibat limbah cair rumah sakit adalah infeksi nosocomial (Rachmawati, 2020).

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1204/MENKES/SK/X/2004, dijelaskan bahwa Rumah Sakit harus memiliki

fasilitas pembuangan sampah (padat medis dan domestik), limbah cair dan gas. Sebagian besar rumah sakit yang beroperasi di Indonesia telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terdiri dari beberapa sistem seperti sistem pengumpulan air limbah (bak penampung dan bak stabilisasi), sistem pengolahan air limbah dan sistem pembuangan air limbah. Pengolahan secara biologis merupakan metode pengolahan air limbah yang biasa digunakan di rumah sakit, yaitu metode yang mengkombinasikan pengolahan secara anaerob dan aerob. Kemudian pada akhir proses dilakukan metode desinfeksi yang berfungsi membunuh kuman penyakit yang masih ada dalam air limbah (Utami & Mahmudah, 2018).

Karakteristik limbah cair rumah sakit dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu:

a. Sifat Fisik

Karakteristik fisik limbah cair rumah sakit dapat berupa kejernihan, bau, warna dan suhu. 99,9% kandungan limbah cair rumah sakit berupa air, dan sisanya 0,1% merupakan partikel tidak terlarut. Sedangkan partikel padat yang terkandung berupa zat organik sebesar 70% dan zat anorganik sebesar 30%. Dari 70% zat organik tersebut terbagi lagi menjadi 65% protein, 25% karbohidrat, dan 10% lemak. Sebagian besar zat organik bersifat mudah terurai (*degradable*) dimana zat organik ini dapat berfungsi sebagai sumber makanan dan media baik bagi pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme lainnya.

b. Sifat Kimia

Sifat kimia dalam air limbah dapat diketahui dengan adanya zat kimia air buangan. Zat kimia air limbah dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Bahan Organik

Komposisi air limbah dengan pengotoran sedang terdiri dari 75% benda-benda tercampur dan sekitar 40% berupa bahan organik yang dapat disaring. Komposisi air limbah berisi protein sekitar 40-60%, karbohidrat sekitar 25-50%, serta lemak sekitar 10%.

2. Bahan Anorganik

Kandungan yang digunakan untuk mengontrol kualitas air limbah antara lain pH, khlor, alkalinitas, kadar sulfur, zat beracun, logam berat, dan gas.

Logam berat dalam air limbah termasuk nikel, magnesium, plumbum, cr, cd, zink, nikel, besi, dan hydrogen, serta phosphor dan gas seperti NH_3 , CH_4 , O_3 , dan CH_4

c. Sifat Bakteriologis

Sifat bakteriologis air limbah harus diketahui sebelum dibuang ke lingkungan. Protozoa dan algae merupakan mikroorganisme penting dalam proses dekomposisi atau stabilitas bahan organik.

Limbah cair rumah sakit merupakan salah satu sumber utama amoniak karena mengandung berbagai material organik dan anorganik. Berikut adalah karakteristik limbah cair rumah sakit sebagai sumber amoniak:

1. Kandungan amoniak yang tinggi

Sumber utama limbah cair rumah sakit, terutama yang berasal dari limbah domestik (urin, feses pasien dan karyawan) dan limbah klinis (darah, cairan tubuh, sisa obat-obatan tertentu), memiliki kandungan nitrogen organik dan anorganik yang tinggi. Nitrogen ini kemudian dapat terurai menjadi amoniak (NH_3) atau amonium (NH_4^+).

2. Sifat kimia yang mendukung pembentukan amoniak

- pH limbah cair rumah sakit cenderung bervariasi, namun dalam kondisi basa, amonium (NH_4^+) akan lebih banyak berubah menjadi amoniak (NH_3) yang bersifat gas dan mudah menguap, menyebabkan bau tak sedap.
- Bahan organik (protein, urea) dan anorganik (seperti garam amonium) yang merupakan prekursor amonia. Proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan amoniak.

3. Dampak dari amoniak tinggi

- Bau: kandungan amoniak yang tinggi menyebabkan bau yang menyengat dan tidak sedap, mengganggu estetika lingkungan sekitar rumah sakit.
- Korosif dan iritasi: amoniak bersifat korosif dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, dan saluran pernapasan.
- Toksisitas: dalam jumlah besar, amoniak bersifat toksik bagi organisme air, terutama ikan.

- Eutrofikasi: pembuangan limbah dengan amoniak tinggi ke badan air dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga dan mikroalga yang berlebihan. Hal ini akan menyebabkan air menjadi keruh, kadar oksigen terlarut menurun drastis karena pembusukan alga yang mati, dan menimbulkan bau busuk.

Apabila konsentrasi limbah cukup tinggi atau terdapat retakan pada tanah, limbah cair dapat masuk ke dalam air tanah dengan kecepatan yang lebih rendah. Banyak orang menggunakan air untuk minum, minum, industri, irigasi, dan rekreasi. Oleh karena itu, air tidak boleh menjadi sumber penyakit karena kontaminasi fekal atau karena perubahan suhu, salinitas, atau pH. Untuk memastikan bahwa badan air tidak kelebihan bahan organik atau anorganik satu suatu penanganan limbah agar badan air tidak kelebihan bahan organik atau anorganik, bahan beracun lain yang secara estetika tidak sesuai, maka dibutuhkan penanganan terhadap air limbah secara tepat (Tangahu et al., 2017).

Masyarakat yang memanfaatkan sungai atau badan air dalam aktifitas sehari-hari akan mendapatkan dampak dari limbah cair yang tidak memenuhi baku mutu. Salah satu dampak yang terjadi adalah terjadinya perubahan lingkungan berupa perubahan kualitas air yang dilalui seperti:

1. Meningkatnya limbah padatan, baik terlarut atau tersuspensi sebagai akibat dari meningkatnya zat padat organik berupa bahan organik.
2. Adanya aktivitas mikroba pembusuk bahan organik, mengakibatkan TSS (*Total Suspended Solid*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) meningkat serta DO (*Dissolved Oxygen*) menurun, sehingga terjadi peningkatan kebutuhan oksigen terlarut.
3. Peningkatan senyawa zat-zat racun dalam air yang menghasilkan bau busuk yang menebar keluar dari ekosistem akuatik.

Masalah lingkungan dan makhluk hidup di Indonesia timbul karena beban pencemar yang dihasilkan oleh rumah sakit cukup tinggi. Sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat mengurangi tingkat konsentrasi air limbah yang akan dibuang ke lingkungan. Sebagian besar teknologi yang dapat mengurangi konsentrasi air

limbah tersebut membutuhkan biaya pembangunan dan pemeliharaan yang cukup tinggi. Karena alasan tersebut, maka banyak rumah sakit yang belum melaksanakan pembangunan IPAL dan mengolah limbah cair yang dihasilkan (Masyruroh & Ramadhan, 2024). Beberapa rumah sakit telah mengoperasikan instalasi pengolahan limbah cair (IPAL), namun banyak juga yang belum memiliki IPAL. Rumah sakit yang belum memiliki IPAL membuang limbah cairnya ke sistem perairan umum dengan perlakuan minimal atau tanpa perlakuan.

Standar baku mutu dalam pengolahan limbah cair rumah sakit pada limbah cair rumah sakit berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Standar Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit

PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/l)
FISIKA	
Suhu	$\leq 30^0$ C
KIMIA	
pH	6 – 9
BOD ₅	30 mg/l
COD	80 mg/l
Residu Tersuspensi	30 mg/l
NH ₃ bebas	0,1 mg/l
PO ₄	2
Mikrobiologi	Mg/l
MPN Kuman golongan koli/100 ml	10.000
RADIOAKTIVITAS	
³² SP	7 x 10 ² Bq/l
³² S	2 x 10 ³ Bq/l
⁴⁵ Ca	3 x 10 ² Bq/l
⁵¹ Cr	7 x 10 ⁴ Bq/l
⁶⁷ Ga	1 x 10 ³ Bq/l
⁸⁵ Sr	4 x 10 ³ Bq/l
⁹⁹ Mo	7 x 10 ³ Bq/l
¹¹³ Sn	3 x 10 ³ Bq/l
¹²⁵ I	1 x 10 ¹ Bq/l
¹³¹ I	7 x 10 ¹ Bq/l
¹⁹² Ir	1 x 10 ⁴ Bq/l
²⁰¹ TI	1 x 10 ⁵ Bq/l

Sumber: Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012

Berdasarkan alasan tersebut, maka diperlukan upaya untuk menurunkan kadar NH_3 bebas agar tidak mencemari lingkungan dan memberi dampak buruk terhadap kesehatan masyarakat.

2.1.4. Kandungan Amoniak Limbah Rumah Sakit

Amoniak merupakan gas tidak berwarna yang larut dalam air pada suhu 20°C dalam bentuk NH_4OH . Amoniak merupakan zat yang sangat beracun bagi makhluk air. Pada umumnya limbah cair rumah sakit, mempunyai konsentrasi amoniak hingga 0.8 mg/L . Nilai ini sangat melebihi nilai baku mutu amoniak dalam perairan, yaitu sebesar $0,1 \text{ mg/L}$. Sumber utama ammonia dalam limbah cair rumah sakit dapat berasal dari urin, sisa makanan, deterjen, dan bahan kimia lain yang berasal dari limbah medis (Karmanto, 2017).

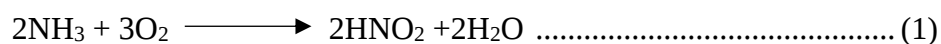
Rumah sakit mempunyai kewajiban untuk mengolah limbah yang dihasilkan baik limbah padat maupun limbah cair, karena limbah cair pada rumah sakit tersebut banyak mengandung berbagai bahan kimia seperti bahan anorganik, organik serta bakteri. Karakteristik pada limbah cair terdiri dari fisika, kimia dan mikrobiologi yang masing-masing mempunyai kadar maksimum. Diantara unsur-unsur yang menjadi parameter kimia kualitas air limbah adalah amoniak (Pramaningsih et al., 2020).

Masuknya bahan-bahan anorganik maupun organik secara terus menerus ke dalam perairan menyebabkan kualitas perairan melampaui baku mutu yang telah ditetapkan. Salah satu bahan anorganik yang terdapat dalam air adalah amoniak. Amoniak yang bersifat toksik pada hewan perairan dapat mengganggu peredaran darah, kerusakan pada kulit, serta insang.

Kadar amoniak dalam air sangat dipengaruhi oleh suhu dan pH. Kadar amoniak dalam perairan terdiri dari amoniak terionisasi (NH_4OH) dan amoniak tidak terionisasi (NH_3) yang disebut Total Amoniak Nitrogen (TAN). Toksisitas amoniak tidak terionisasi lebih tinggi dari pada amoniak terionisasi (Imaniar et al., 2022).

Degradasi amoniak secara biologi, melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi diyakini sebagai yang paling ekonomis ditinjau dari segi efisiensi degradasi. Bakteri nitrifikasi autotrofik sangat rentang terhadap perubahan lingkungan dan

berkembang biak lebih cepat, sehingga populasi bakteri dalam lumpur aktif akan kalah karena keberadaan mikroorganisme heterotrofik. Mikroba nitrifikasi umumnya bersifat autotrofik atau miksotrofik. Tahapan proses nitrifikasi terbagi atas 2 proses, mikroba pengoksidasi amonium (*Nitrosomonas sp.*) mengoksidasi amonium menjadi nitrit, kemudian mikroba pengoksidasi nitrit (*Nitrobacter sp.*) mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Konsentrasi amoniak sebesar 1 mg/liter pada air limbah memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Pengolahan secara fisik/kimiawi, biologi, atau gabungan keduanya dapat dilakukan untuk proses pengolahan air limbah (Sedlak, 2018).

2.2. Adsorben Ampas Tebu

Tebu adalah bahan utama produksi gula yang hanya tumbuh di wilayah tropis. Saat ini sebagian besar ampas tebu (*sugarcane bagasse*) dimanfaatkan oleh perusahaan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan energi yang diperlukan pada proses pembuatan gula yang menghasilkan ampas. Komponen kimia ampas tebu terdiri dari selulosa (37,65%), lignin (22,09%), pentosan (27,97%), SiO₂ (3,01%), abu (3,82%), dan sari (1,81%). Kandungan lignin dan selulosa yang terdapat dalam ampas tebu dapat berfungsi sebagai karbon dalam proses adsorpsi (Setiati et al., 2020).



Gambar 2. 1. Ampas Tebu

Berdasarkan data Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. 60% dari berat tersebut digunakan oleh industri pengolahan gula untuk bahan bakar ketel (Pane et al., 2023). Ampas tebu mengandung selulosa yang memungkinkan digunakan sebagai karbon aktif untuk mengurangi mangan dan besi dalam air limbah asam tambang (Imani et al., 2021). Kandungan besi dalam air sumur juga dapat diserap menggunakan adsorben berbahan ampas tebu (Imani et al., 2021).

Menurut (Imani et al., 2021), Ampas tebu merupakan residu atau limbah padat sisa hasil proses penggilingan dan ekstraksi cairan tebu (*Saccharum officinarum*). Ampas tebu banyak mengandung serat dan gabus, memiliki bau yang segar dan mudah dikeringkan sehingga tidak berbau. Sisa produksi berupa ampas tebu menjadi salah satu sumber daya alam yang melimpah, dimana penimbunan ampas tebu (*bagasse*) semakin lama semakin banyak dapat menyebabkan masalah baru bagi pabrik, seperti potensi kebakaran, membutuhkan ruang yang cukup besar untuk menimbun, serta dapat mengotori lingkungan sekitar.

Untuk mendapatkan bioadsorben karbon aktif maka perlu dilakukan proses karbonisasi dan dilanjutkan dengan proses aktivasi. Proses aktivasi karbonisasi dilakukan untuk memperoleh karbon aktif. Salah satu fungsi dilakukan aktivasi terhadap arang karbon adalah untuk memperluas pori-pori permukaan karbon supaya kapasitas adsorpsinya menjadi lebih tinggi dan meningkat. Proses aktivasi dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan fisika kimia. Proses secara kimia dengan cara karbon dipanaskan dalam suhu tinggi dan direndam dalam bahan aktivator berupa asam, basa, atau garam. Proses secara fisika dan kimia, karbon dipanaskan dan direndam dalam larutan pengaktif asam, basa, atau garam. Untuk mendapatkan bioadsorben karbon aktif maka perlu dilakukan proses (Natalia et al., 2024).

2.3. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material arang amorf, memiliki luas permukaan besar, dibangun oleh struktur pori internal melalui proses karbonasi dan aktivasi. Proses aktivasi dapat membuka pori arang sehingga dapat meningkatkan daya serap mencapai 3-7 kali daya serap arang biasa (Teke et al., 2021).

Karbon aktif dapat digunakan sebagai pemucat, penyerap gas, penyerap

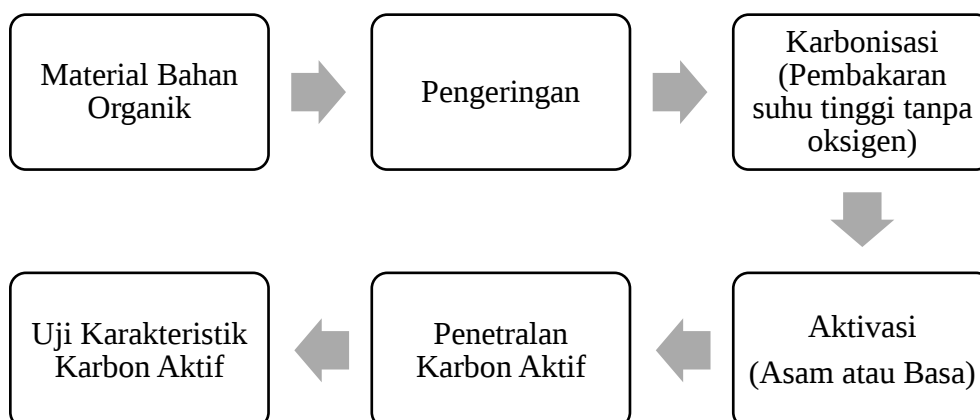
logam dan sebagainya. Secara garis besar karbon aktif dapat digunakan dalam industri pangan dan non pangan. Dalam industri pangan arang aktif digunakan sebagai adsorben pada proses pemurnian minyak, pemurnian gula, penjernihan air dan bahan makanan lainnya. Pada industri non pangan untuk memurnikan bahan kimia seperti asam sitrat, asam galat, asam glutamat dan sebagainya (Polii, 2017).

Karbon aktif adalah bahan yang di preparasi sehingga memiliki porositas tinggi dan luas permukaan besar. Partikel karbon memiliki banyak pori yang memberikan luas permukaan lebih besar untuk adsorpsi. Karbon aktif biasanya dibuat dari tongkol jagung, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, tempurung kelapa, sabut kelapa, sekam padi, dan serbuk gergaji. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/gram. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada ukuran volume pori dan luas permukaan. Selama penyaringan air melalui karbon aktif, kontaminan menempel pada permukaan butiran karbon atau terperangkap dalam pori kecil karbon aktif (Sarifudin, 2022).

2.3.1. Proses Aktivasi Arang Aktif

Pada proses pembuatan karbon aktif terdapat proses aktivasi yang bertujuan untuk memperbesar luas permukaan karbon yaitu memiliki jumlah pori yang besar. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Winata et al., 2021).

Produk dari karbonisasi tidak dapat diaplikasikan sebagai adsorben (karena struktur porosnya tidak berkembang) tanpa adanya proses aktivasi. Dasar metode aktivasi terdiri dari perawatan dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Proses aktivasi menghasilkan karbon oksida yang tersebar dalam permukaan karbon karena adanya reaksi antara karbon dengan zat (Teke et al., 2021).



Gambar 2. 2. Skema proses pembuatan karbon aktif

2.3.2. Karakteristik Arang Aktif

Pembuatan arang aktif bisa disesuaikan dengan model yang diinginkan oleh produsen pembuat arang aktif, mulai dari bahan pembuatan, cara karbonisasi, cara aktivasi, zat aktivasi, konsentrasi aktivator dan tujuan dibuatnya arang aktif tersebut. Untuk menyeragamkan mutu dari karbon aktif dan membuat performanya maksimal, telah dibuat standar mutu dari karbon aktif tersebut. Kualitas arang aktif dapat dinilai berdasarkan persyaratan Standar Nasional Indonesia 06–3730-1995 pada tabel di bawah ini:

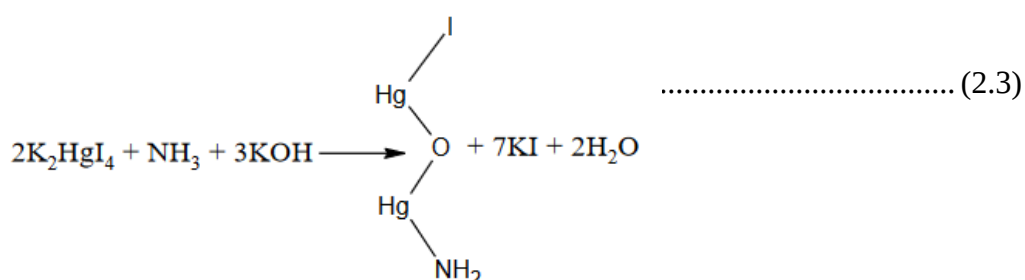
Tabel 2. 2. Standar Kualitas Arang Aktif (SNI) 06-3730-1995

Uraian	Syarat Kualitas	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 ⁰ C	Maks. 15	Maks. 25
Kadar Air (%)	Maks. 4,4	Maks. 15
Kadar Abu (%)	Maks. 2,5	Maks. 10
Bagian tidak mengarangng	0	0
Daya serap terhadap I ₂ (mg/g)	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni (%)	Min. 80	Min. 65
Daya serap terhadap benzene (%)	Min. 25	-
Daya serap terhadap biru metilen (mg/g)	Min. 60	Min. 120
Kerapatan jenis curah (g/mg)	0,45 – 0,55	0,30 – 0,35
Lolos ukuran mesh 325 (%)	-	Min. 90
Jarak mesh (%)	90	-
Kekerasan (%)	80	-

2.4. Metode Uji

2.4.1. Uji Kandungan Amoniak

Metode untuk mengukur kandungan amoniak dalam air limbah dapat digunakan metode Nessler. Metode Nessler dilakukan dengan cara sampel direaksikan dengan reagen Nessler, yang menghasilkan larutan berwarna kuning coklat. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi antara gugus merkuri pada reagen Nessler dan NH_2 pada amoniak. Persamaan reaksi Nessler adalah sebagai berikut:



Metode Nessler ditemukan oleh J. Nessler pada tahun 1856. Menurut G. Alaerts dalam buku Metode Penelitian Air bahwa Metode essler bergantung pada pereaksi Nessler (K_2HgI_4), yang bereaksi dengan amoniak dalam larutan basa dan membentuk dispersi koloid berwarna kuning coklat. Intensitas warna yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi amoniak dalam larutan.

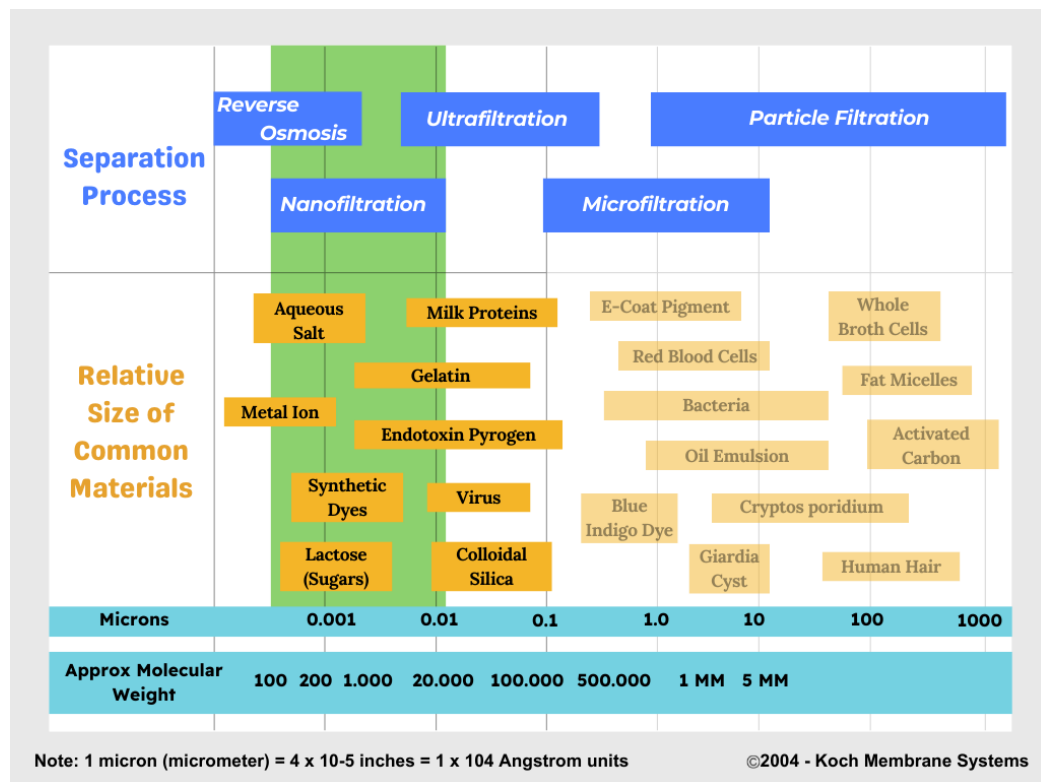
2.5. Membran Nanofiltrasi

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya gaya dorong (ΔP) yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran. Berdasarkan fungsinya membran dibagi menjadi tujuh macam, yaitu membran yang digunakan pada proses reverse osmosis, nanofiltrasi, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dialisa, elektrodialisa dan pervaporasi (Zaya Aisyahlika et al., 2018)

Membran nanofiltrasi terjadi akibat proses perbedaan tekanan untuk memisahkan solut berukuran lebih besar dari larutan. Membran ini digunakan pada proses pemurnian air, seperti pelunakan air, penghilangan zat warna, dan penghilangan mikropolutan. Membran memiliki beberapa kriteria yang penting untuk menentukan kinerja membran sebagai filtrasi yakni parameter fluks (permeabilitas), rejeksi (permselektivitas), ketebalan, morfologi dan sifat mekanik membran (Kedang, 2018).

Nanofiltrasi adalah proses pemisahan yang digerakkan oleh tekanan antara reverse osmosis dan ultrafiltrasi. Ukuran pori membran nanofiltrasi sekitar 0,001 μm . Membran nanofiltrasi dapat menjebak ion bivalen dan hipervalen dalam air limbah, dan memungkinkan ion monovalen untuk melewatinya (Shi et al., 2020). Ketika penggunaan membran reverse osmosis dan membran ultrafiltrasi tidak cocok digunakan pada operasi separasi, maka digunakan membran nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi dapat diaplikasikan pada pemisahan demineralisasi, desalinasi, dan penghilangan zat warna. Permeat yang dihasilkan terdiri dari ion monovalen dan berasal dari larutan organik dengan BM rendah, dalam larutan yang terdiri dari solute organik, suspensi solid, dan ion polyvalent (Baker, 2023).

Menurut (Antonio Bolinches et al., 2021) skema pembagian proses filtrasi membran berdasarkan ukuran partikel ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Skema pembagian filtrasi membran berdasarkan ukuran partikel

Penelitian di bidang nanofiltrasi berfokus pada dua area utama. Pertama, pada proses pengolahan air, membran nanofiltrasi digunakan untuk meningkatkan kualitas air minum, mengolah air limbah, atau menghilangkan kontaminan seperti ion bervalensi dua, zat organik terlarut, hingga mikroplastik. Kedua, pada

pemisahan suatu zat dalam air, bertujuan untuk mengisolasi atau memekatkan komponen tertentu, seperti pewarna, antibiotik, atau bahan kimia tertentu, yang terlarut dalam larutan. Aplikasi membran nanofiltrasi telah banyak diteliti, baik untuk tujuan pengolahan air maupun pemisahan zat-zat tertentu. Beberapa pengaplikasian membran nanofiltrasi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Potensi Membran Nanofiltrasi terhadap Pengolahan Air

No	Jenis Membran	Potensi	Variasi	Hasil
1.	Membran Nanofiltrasi	pengolahan air limbah industri tekstil	beroperasi pada relatif tekanan rendah, yang berkisar 500-1000 kPa	menghasilkan air hasil pengolahan limbah yang dapat digunakan kembali untuk proses primer pembuatan tekstil
2.	Membran Nanofiltrasi	pengolahan air limbah menjadi air minum	KFS-MF-UF	pengolahan air dengan teknologi membran telah menghasilkan air olahan dengan kualitas air minum yang disyaratkan
3.	Membran Nanofiltrasi NF270	pengolahan limbah cair batik	ukuran pori 180kDa pada tekanan 4,5, dan 6 bar	Penyisihan warna, COD, BOD, TSS dan logam Pb sudah memenuhi baku mutu untuk tekanan optimum 6 bar
5.	Membran Nanofiltrasi NF270	pengolahan limbah lindi	lindi sintetis dan lindi TPA Blondo	membran nanofiltrasi NF270 mampu menyisihkan TSS dan Fe dengan tingkat rejeksi 100%
6.	Membran Nanofiltrasi	pengujian air limbah batik	membran 3 gram dan 5 gram	- nilai fluks tertinggi (3 gram) yaitu 26,4 m ³ /M - nilai fluks tertinggi (5 gram) yaitu 24 m ³ /M
7.	Membran Nanofiltrasi	pengolahan air tanah untuk sumber daya air minum	pH 9,4 dengan tekanan rendah 2 bar	tercapainya penghapusan hingga 99% untuk 10 mg/L larutan besi

Sumber : (Sari et al., 2022)

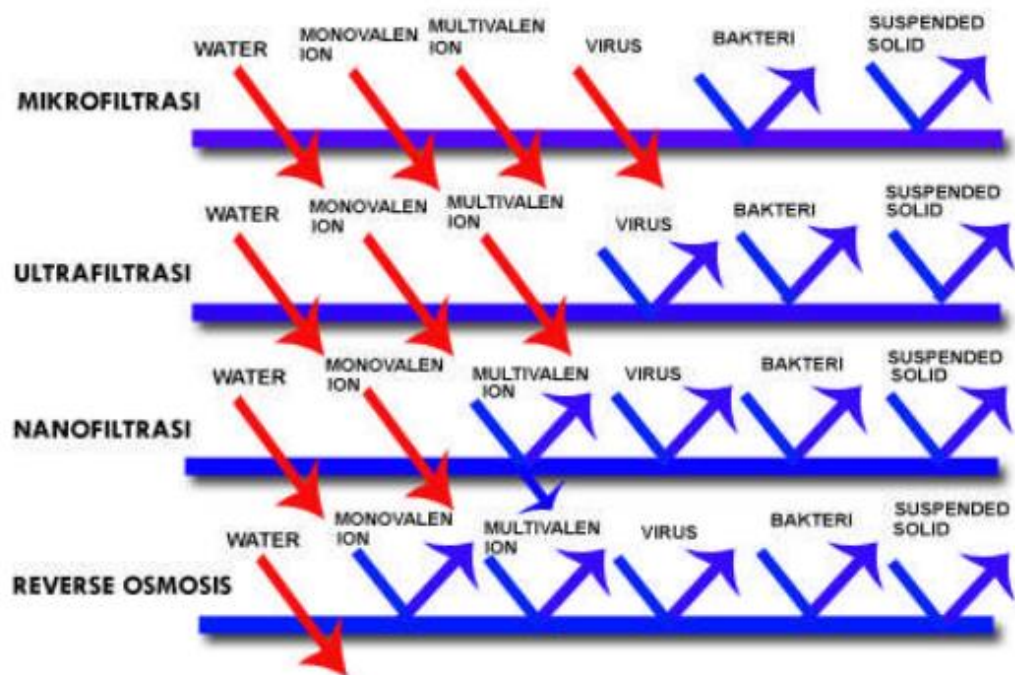
2.6. Prinsip Kerja Membran Nanofiltrasi

Prinsip kerja membran nanofiltrasi termasuk jenis membran semipermeable. Pada prosesnya dilakukan pemisahan komponen terlarut yang melewati daerah membran. Kemudian terbentuk permeat atau filtrat dan membentuk konsentrat. Membran nanofiltrasi pada dasarnya bermuatan negatif, sehingga dapat digunakan dalam penolakan anion untuk menentukan rejeksi agar dapat memberikan selektifitas pemisahan yang maksimal. Karakteristik tersebut telah dimanfaatkan dalam pengolahan air limbah. Selain itu, penggunaan membran nanofiltrasi dapat digunakan dalam pemisahan suatu zat yang terkandung di dalam air (Sari et al., 2022).

Dengan menggunakan perbedaan tekanan sepanjang permukaan membran semipermeable, proses nanofiltrasi dilakukan untuk memisahkan solut berukuran lebih besar dari larutan. Filtrasi membran aliran crossflow menggunakan laju alir yang tinggi untuk meningkatkan laju permeate dan mengurangi kemungkinan fouling. Partikel solut, seperti garam terlarut, yang terejeksi lepas dari arus aliran dan tidak terakumulasi di permukaan membran (Fleming et al., 2019).

Pori pada membran nanofiltrasi tidak bisa diamati dengan menggunakan mikroskop, walaupun begitu air masih bisa melewati membran sedangkan garam multivalent dan bahan organik dengan BM rendah akan terejeksi. Sulit untuk memprediksi performansi dari membran nanofiltrasi, terutama bila terdapat lebih dari tiga macam solut dalam larutan tersebut karena rejeksi membran dipengaruhi oleh ukuran, struktur, dan muatan dari komponen dalam larutan. Akibatnya, proses piloting sangat direkomendasikan pada aplikasi nanofiltrasi, apalagi bila hasil analisa air umpan tersedia secara lengkap (Nugroho, 2015).

Menurut (Wenten, 2019) jenis partikel yang lolos dan juga yang terejeksi oleh membran nanofiltrasi dijelaskan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Karakteristik Proses Membran

2.7. Isoterm Adsorpsi

Representasi kemampuan arang aktif dalam memperbaiki kualitas air limbah dilakukan menggunakan metode Isoterm Adsorpsi. Perhitungan konsentrasi kesetimbangan menggunakan persamaan:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C)}{M} V \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Q_e = konsentrasi kesetimbangan yang terserap arang aktif (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal (mg/L)

C = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

M = massa arang aktif di dalam reaktor (g)

V = volume sampel (L)

Data kesetimbangan yang didapatkan kemudian diformulasikan ke dalam model adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Isoterm adsorpsi mengacu pada kurva hubungan antara konsentrasi molekul zat terlarut dalam dua fase ketika proses adsorpsi, keadaan adsorpsi dan sebagainya, dan ringkasan makroskopis dari karakteristik ini adalah isoterm adsorpsi. Dengan membandingkan koefisien korelasi linier atau tingkat kedekatan antara titik

eksperimen dan model, kita dapat menilai model mana yang diikuti oleh isoterm adsorpsi yang sebenarnya. Oleh karena itu, deskripsi matematis yang akurat dari isoterm adsorpsi dapat membantu kita untuk mengetahui sifat-sifat adsorben dan kapasitas adsorpsi (Xing et al., 2022).

Analisis isoterm adsorpsi sangat penting untuk membuat sistem adsorpsi yang tepat. Cara molekul adsorbat berinteraksi dengan permukaan adsorben pada kondisi kesetimbangan disebut sebagai isoterm adsorpsi. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang proses adsorpsi, perlu dilakukan penelitian tentang termodinamika adsorpsi. Namun, nilai termodinamika adsorpsi dapat dihitung melalui kesetimbangan adsorpsi, bukan langsung dari percobaan. Isoterm adsorpsi adalah rasio kesetimbangan adsorpsi pada suhu tertentu (Ismadji et al., 2021).

Menurut (Novita & Wahyuningsih, 2021) adapun kapasitas optimum kinerja adsorben didekati dengan pola penyerapan polutan pada air limbah yang didefinisikan dalam model adsorpsi. Model adsorpsi isoterm yang biasa digunakan yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich.

2.7.1. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Kondisi kesetimbangan biasanya diwakili oleh persamaan isotherm Langmuir untuk adsorpsi fase cair (Ismadji et al., 2021). Formula Isoterm Langmuir dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$Q_e = \frac{Q_0 KC}{KC+1} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- Q_e = konsentrasi kesetimbangan yang terserap arang aktif (mg/g)
- Q_0 = jumlah maksimum zat terlarut yang dapat teradsorpsi (mg/g)
- K = konstanta Langmuir
- C = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

2.7.2. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich adalah persamaan empiris yang banyak digunakan untuk mewakili isoterm adsorpsi dari berbagai macam sistem adsorpsi pada fase cair (Ismadji et al., 2021).

Formula Isoterm Freundlich dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$Q_e = K_f C^{1/n} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan : K_f dan n adalah konstan

2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai proses pengolahan limbah cair RSUD Al Ihsan Kabupaten Bandung tentang proses adsorpsi untuk mengurangi kadar amoniak menggunakan adsorben bijih plastik menunjukkan bahwa waktu kontak adsorben yang lama akan menaikkan persentase penurunan kadar amoniak dengan nilai tertinggi pada waktu 120 menit sebesar 48,77% dan terendah pada 60 menit sebesar 18,40%. Kadar amoniak terendah yakni sebesar 19,67 mg/L pada waktu kontak 120 menit (Ruhmawati et al., 2020).

Hasil penelitian pengolahan limbah cair rumah sakit menggunakan adsorben zeolite menunjukkan adanya penurunan COD, BOD dan amoniak sebesar 94.76%, 98.29% dan 99.92%, sedangkan untuk zeolit aktif sebesar 95.93%, 98.59%, dan 99.96% sehingga memenuhi baku mutu limbah cair rumah sakit. Penggunaan zeolite alam belum memenuhi baku mutu limbah cair rumah sakit dilihat dari kandungan COD yang tergolong masih tinggi (Mustafa et al., 2023).

Salah satu metode yang digunakan untuk menurunkan kandungan amoniak pada limbah cair rumah sakit yaitu menggunakan metode elektrolisis aliran yang merupakan metode aliran efisien, murah, mudah dalam pengolahannya, dan tidak memerlukan metode yang rumit. Penelitian penurunan konsentrasi amoniak dengan metode elektrolisis ini menggunakan elektroda karbon ini efektif menurunkan degradasi amoniak sebesar 87,50% (Yeganeh et al., 2019).

Pengolahan air limbah sintetis menggunakan karbon teraktivasi dari *Ziziphus spina-christi* menunjukkan bahwa adsorpsi amoniak tertinggi diperoleh 97,9% dan 96,2% pada waktu kontak 80 menit, pada suhu 25°C, pH 8, dan dosis adsorben 5 g/L dengan efisien penghilangan sekitar 90%. Studi kesetimbangan menunjukkan bahwa proses adsorpsi ammonia menggunakan adsorben mengikuti model *Freundlich* dan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan *Isoterm Langmuir* sebesar 25,77 mg/g dan 7,46 mg/g (Yeganeh et al., 2019).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Ogan Ilir selama $\pm$ 5 bulan mulai bulan Januari sampai dengan bulan Mei 2024. Analisa SEM – EDS dilakukan di Laboratorium Pusat Pengujian Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| 1. Ampas Tebu | 4. Aquadest |
| 2. Air Limbah Rumah Sakit | 5. Reagen Nessler |
| 3. H ₂ SO ₄ 10% | 6. Pati Gadung |

3.2.2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Membran Nanofiltrasi | 13. Erlenmeyer |
| 2. Kolom Adsorpsi | 14. Pengaduk |
| 3. <i>Flowmeter</i> | 15. Mortar dan pestle |
| 4. <i>Stopwatch</i> | 16. Cawan Porselin |
| 5. <i>Valve</i> | 17. Pipet Ukur |
| 6. Pompa | 18. <i>Beaker Glass</i> |
| 7. <i>Pressure Gauge</i> | 19. Ayakan 100 mesh |
| 8. Milwaukee Instrumens MI407
Professional Ammonia Meter | 20. Oven |
| 9. pH Meter | 21. Furnace |
| 10. Tangki penampung | 22. Desikator |
| 11. Labu Takar | 23. Lemari Pendingin |
| 12. Neraca Analitik | 24. Botol Sampel |

3.3. Prosedur Penelitian

a. Pembuatan Arang Aktif Ampas Tebu

1. Menjemur ampas tebu dengan matahari langsung selama 2 hari hingga kering dan kandungan airnya rendah. Dilanjutkan dengan mengeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit.
2. Proses berikutnya karbonasi ampas tebu dilakukan dengan cara membakar ampas tebu dalam furnace pada suhu 550°C selama 30 menit.
3. Menghaluskan karbon ampas tebu dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh.
4. Proses aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan larutan H₂SO₄ 10% selama 24 jam.
5. Mencuci karbon dengan aquades hingga pH mencapai 4-7. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam.
6. Dinginkan dalam desikator sampai suhu ruang.
7. Analisa kualitas karbon aktif (aktivasi) ampas tebu sesuai dengan SNI 06-3730-1995.

b. Aktivasi ampas tebu

1. Kadar air

Sebanyak 1 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dan disimpan selama 3 jam dalam oven suhu 1150 °C. Kemudian sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Volatile Matter} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

a = berat karbon aktif mula-mula (gram)

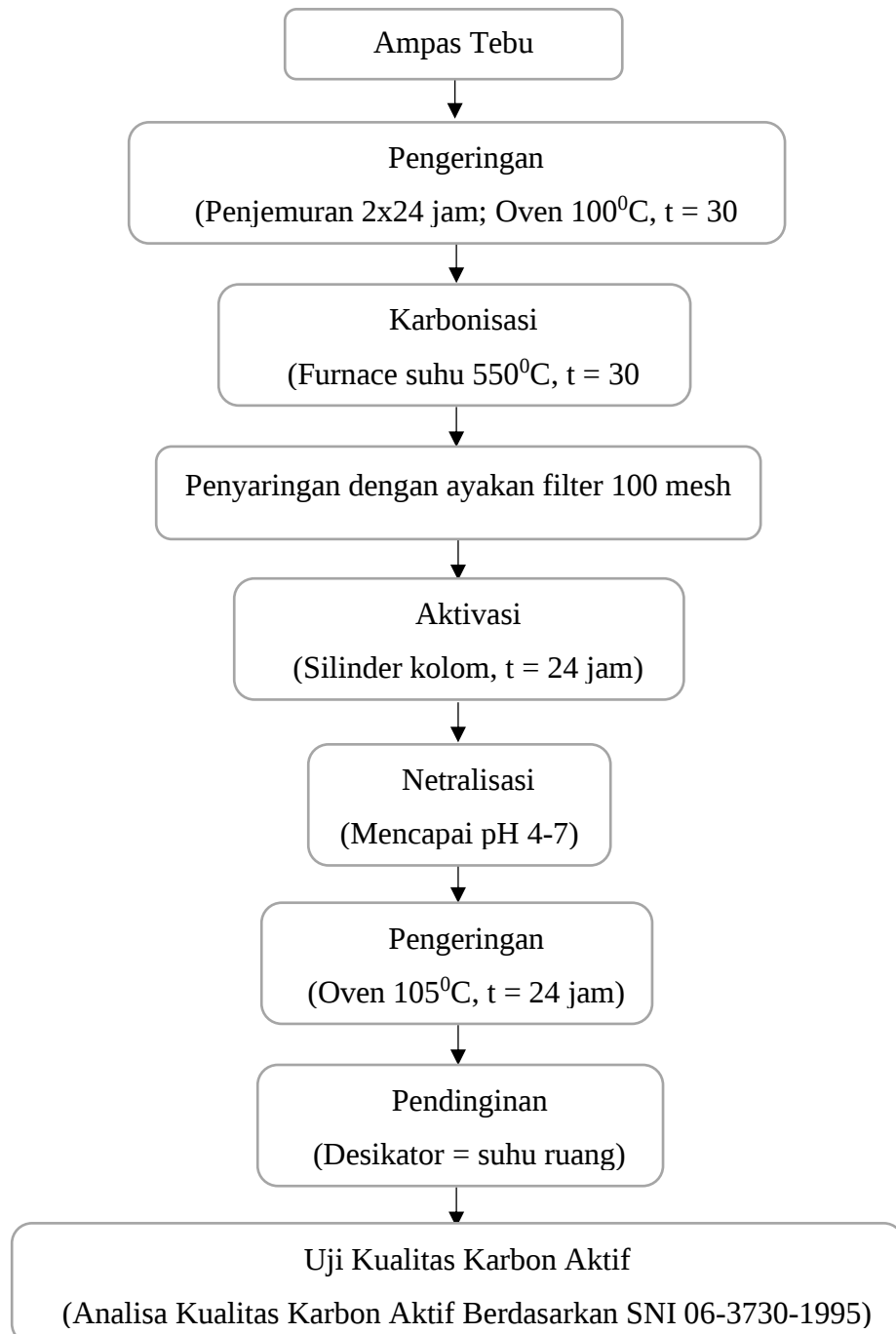
b = berat karbon akhir

2. Kadar abu

Karbon aktif seberat satu gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang beratnya sudah diketahui. Setelah semua karbon dihilangkan, diabukan secara perlahan dalam furnace. Selama dua jam, suhu dinaikkan hingga mencapai suhu 8000 derajat Celcius. Setelah seluruh karbon menjadi abu, dinginkan dalam desikator dan timbang hingga

bobot tetapnya diperoleh. Untuk menghitung konsentrasi abu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Kadar\ Abu = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

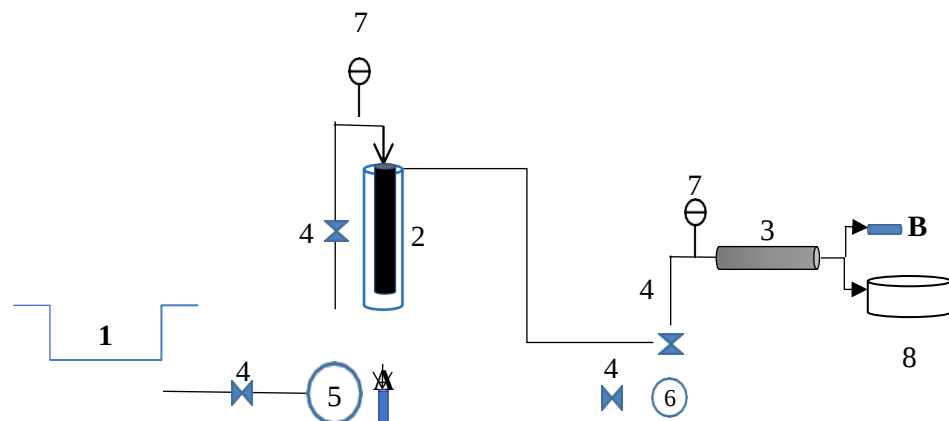


Gambar 3. 1. Skema Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tebu

c. Uji Efektivitas Pada Limbah Cair

1. Limbah cair rumah sakit dipompa masuk kedalam kolom adsorben dengan variasi ketinggian unggun 5; 7,5; 10 cm, dan laju alir umpan sebesar 2; 3; 4 L/menit.
2. Kolom adsorben terhubung dengan dua valve untuk mengontrol alir sampel umpan, pembuangan, dan sampel air yang telah disaring. Proses berlanjut menuju membran nanofiltrasi dengan tekanan berbeda antara 25 dan 35 psi.
3. Waktu operasi untuk kolom adsorben dan membran nanofiltrasi selama 90 menit yaitu setiap 30 menit akan diambil permeat yang dihasilkan untuk dianalisa pH dan kadar amoniak.

3.4. Skema Proses Penelitian



Gambar 3. 2. Skema Proses Adsorpsi dan Membran Nanofiltrasi

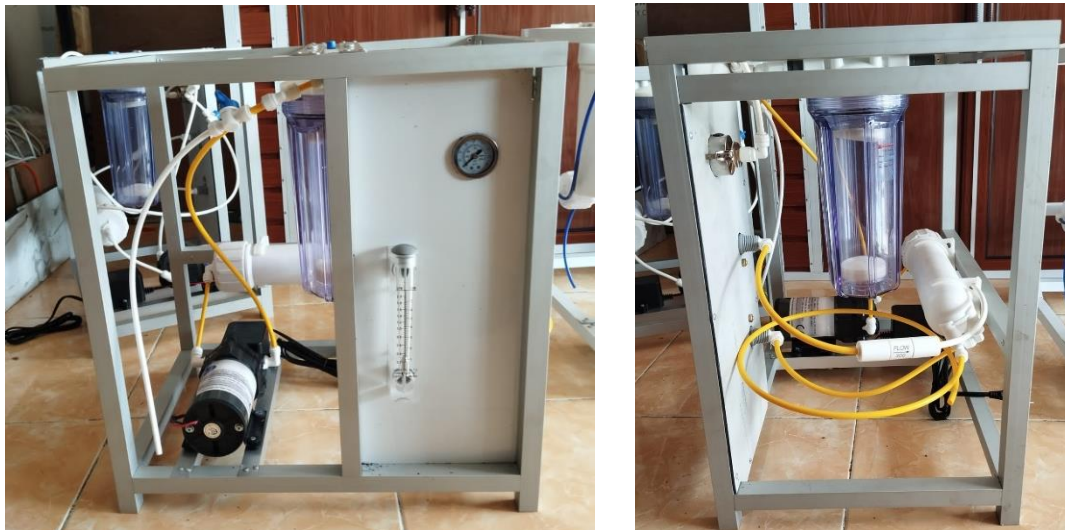
Keterangan:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 = Kolam penampungan air limbah | 6 = Pompa Kecil |
| 2 = Tangki Kolom Adsorben | 7 = Laju Alir dan Pressure Gage |
| 3 = Tangki Membran Nanofiltrasi | 8 = Penampung Retentat |
| 4 = Valve | A = Sample Point AB |
| 5 = Pompa Besar | B = Sampel Point MN |

3.5. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kombinasi dari proses adsorpsi dan proses filtrasi membran berbasis nanofiltrasi. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain pompa, kolom adsorpsi, flowrate instrument, membran nanofiltrasi, pressure gauge, dan rangka penyangga. Pompa berfungsi untuk mendorong air melewati kolom adsorpsi, dan mendorong air dengan tekanan tertentu melewati membran nanofiltrasi. Flowrate digunakan untuk memantau laju alir pada kolom adsorpsi, dan pressure gauge digunakan untuk memantau tekanan pada membran nanofiltrasi.

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian dalam mereduksi amoniak yang terkandung pada limbah cair rumah sakit dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Rangkaian Alat Penelitian

3.6. Metode Analisa

Metode analisa pada air limbah dilakukan dengan mengukur Derajat Keasaman (pH) yang diukur menggunakan pH meter, dan kadar amoniak diukur menggunakan amoniak checker (Milwaukee Instrumens MI407 Professional Ammonia Meter).

1. Analisa awal dilakukan untuk mengetahui pH dan kadar amoniak dalam limbah cair RSUD Kabupaten Ogan Ilir.
2. Air limbah dipompa ke dalam kolom adsorben dengan variasi tinggi unggun 5; 7,5; dan 10 cm. Variasi laju alir 2, 3, dan 4 L/menit. Variasi tekanan membran

25; 30; dan 35 Psi. Waktu operasi selama 90 menit dan diambil setiap 30 menit untuk dilakukan analisa pH dan kadar amoniak.

3. Air dari keluaran kolom adsorben ditampung dalam tangki untuk dianalisa pH dan kadar amoniak, dan pada pipa lainnya dipompa dialirkan menuju membran nanofiltrasi dengan diatur tekanan sebesar 25 Psi, 30 Psi, dan 35 Psi. Hasil keluaran membran nanofiltrasi ini ditampung dalam tangki untuk dianalisa pH dan kadar amoniak. Waktu operasi dalam membran naofiltrasi selama 90 menit dan sampel air diambil setiap 30 menit.

3.7. Analisa Data

3.7.1. Analisa Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman (pH) digolongkan sebagai salah satu parameter kualitas larutan paling penting. Pengukuran pH berkaitan dengan keasaman atau alkalinitas larutan. Suatu sampel air dianggap asam jika pH di bawah 7 sedangkan bersifat basa jika pH lebih tinggi dari 7. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran menggunakan pH meter. Prinsip kerja pH meter yaitu di dasarkan pada pertukaran ion antara sampel dan larutan dalam elektrode kaca, yang menghasilkan tegangan listrik. Hasil prinsip pH meter didasarkan pada konsentrasi ion hidrogen dan hubungan antara tegangan listrik dan pembacaan pH. Membran kaca dalam probe pH memiliki larutan buffer yang memungkinkan ion hidrogen memasuki membran, dan perbedaan yang dicatat menciptakan potensi tegangan. Elektrode di dalam probe mengukur potensial tegangan yang dihitung sebagai pH larutan. Cara penggunaan pH meter yaitu dengan cara mencelupkan elektrode ke dalam larutan sampel, tunggu hingga angka dilayar stabil, kemudian catat nilai yang tertera pada layar. Setelah digunakan bilas eletrode dengan aquadest dan di lap hingga kering.

3.7.2. Analisa Kadar Amoniak

Pengukuran kualitas limbah cair medis dilakukan dengan uji kandungan amoniak dengan alat ammonia medium-range photometer (Milwaukee Instruments, model Mi 405). Sampel limbah cair hasil uji dimasukkan ke dalam kuvet berukuran 10 ml sampai tanda dan ganti tutupnya. Tempatkan kuvet dalamudukan dan pastikan takik pada tutup diposisikan dengan aman ke dalam display. Tekan ZERO dan “SIP” akan berkedip pada layar. Setelah beberapa detik, layar akan

menampilkan “-0.0-“. Meteran menunjukkan nol dan siap untuk melakukan pengukuran. Tambahkan 4 tetes reagen nessler dalam kuvet dan aduk perlahan. Masukkan kuvet ke dalamudukan, tekan dan tahan tombol READ selama 3 detik. Instrumen akan menampilkan konsentrasi amoniak dalam mg/L.

3.7.3. Analisa SEM-EDS

Analisis struktur permukaan pori pada arang aktif berbahan ampas tebu dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) yang merupakan sebuah mikroskop elektron yang di desain guna mengamati permukaan suatu objek yang solid secara langsung. Pada dasar nya SEM memiliki pembesaran yaitu 10 – 3.000.000 kali, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm, kombinasi dari pembesaran yang sangat tinggi, depth of field yang sangat besar, resolusi yang sangat baik, kemampuan untuk mengetahui dari komposisi dan kristalografi (Nayan & Hafli, 2022). Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui bagaimana aktivasi 10 % arang ampas tebu dengan H₂SO₄ mempengaruhi morfologi adsorben, komposisi unsur karbon, dan kemanjurannya dalam adsorpsi amoniak pada limbah cair rumah sakit.

3.8. Metode Pengolahan Data

Pada penelitian ini metode pengolahan data yang diterapkan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah metode yang digunakan untuk mengolah data yang bersifat numerik atau angka. Data yang didapatkan dari penelitian ini berupa data hasil analis pengukuran pH dan kadar amoniak pada limbah cair medis, dan hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS. Pengukuran amoniak menggunakan formula % *efisiensi* untuk mendapatkan penyerapan kadar amoniak pada limbah cair medis. Efisiensi penyerapan kandungan amoniak dihitung dengan membandingkan hasil kandungan amoniak sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Perhitungan efisiensi adsorpsi menggunakan persamaan berikut:

$$\% Efisiensi = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan: C₀ = Konsentrasi awal amoniak (mg/L)

C_t = Konsentrasi amoniak setelah adsorpsi (mg/L)

Perhitungan selanjutnya yaitu mengetahui kapasitas adsorpsi oleh adsorben ampas tebu. Kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya adsorbat yang mampu

terakumulasi pada permukaan adsorben (Septiani et al., 2021). Kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times v \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan: Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
 C_0 = Konsentrasi awal amoniak (mg/L)
 C_e = Konsentrasi akhir amoniak (mg/L)
 w = massa adsorben (gr)
 v = volume adsorbat (L)

Selanjutnya digunakan persamaan isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich untuk mengetahui besarnya kapasitas adsorpsi adsorben ampas tebu. Adsorpsi model Isoterm Langmuir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot K_a \cdot C_e}{1 + K_a \cdot C_e} \text{ atau } \frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} C_e + \frac{1}{K_a \cdot Q_m} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan: Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
 Q_m = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
 K_L = Konstanta kesetimbangan Langmuir (mg/L)
 C_e = Konsentrasi pada saat setimbang (mg/L)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karbonisasi Ampas Tebu

Ampas tebu yang telah dijemur dibawah sinar matahari dan dipanaskan dalam oven, dilanjutkan dengan proses karbonisasi menggunakan furnace. Ampas tebu dikarbonisasi dalam furnace sampai menjadi arang untuk menghilangkan kandungan air sehingga bentuk fisik dari ampas tebu berubah. Hasil pembakaran ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. (a) Ampas tebu kering; (b) Karbonisasi ampas tebu

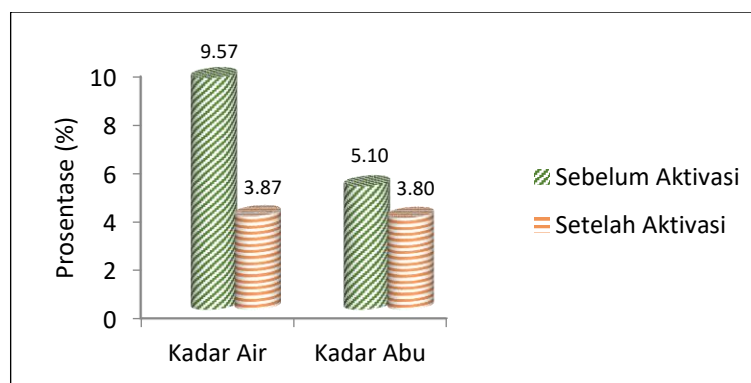
Prosedur karbonisasi yang efektif membutuhkan keberadaan porselin yang menutup kurs, sehingga tidak ada kemungkinan oksigen masuk ke dalamnya. Hal ini untuk memastikan kelancaran proses karbonisasi. Bahan-bahan alami selain karbon akan mengalami penguapan dan struktur kristal akan terbentuk kembali secara acak membentuk karbon. Proses karbonisasi menghasilkan arang ampas tebu yang berwarna hitam karena kandungan karbon yang meningkat. Tekstur arang yang dihasilkan menjadi lebih kering, rapuh, dan ringan, karena proses penghilangan kelembaban dan volatile selama proses karbonisasi berlangsung.

4.2. Analisa Karbon Aktif

Karbon aktif yang dihasilkan dari ampas tebu dilakukan uji kadar air dan kadar abu untuk melihat kualitas karbon aktif saat sebelum dan sesudah diaktivasi menggunakan H_2SO_4 10%. Hasil pengujian kadar air dan kadar abu karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Hasil pengukuran kadar air dan kadar abu

	Kadar Air (%)		Kadar Abu (%)	
	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
Sampel 1	10,28	3,92	5,4	4,1
Sampel 2	9,80	3,88	5,2	3,9
Sampel 3	8,62	3,81	4,7	3,4
Rata-rata	9,57	3,87	5,10	3,80



Gambar 4. 2. Prosentase kadar air dan kadar abu karbon aktif

Pengukuran kadar air dan kadar abu pada sampel dilakukan dengan 3 kali pengulangan dan diambil nilai rata-ratanya. Kadar air setelah diaktivasi menggunakan H_2SO_4 10% pada sampel 1, 2, dan 3 mengalami penurunan signifikan dimana kadar air sebelum aktivasi masing-masing sebesar 10,28%; 9,80% dan 8,62% menjadi 3,92%; 3,88% dan 3,81%. Nilai rata-rata kadar air sebelum dilakukan proses aktivasi sebesar 9,57% dan setelah dilakukan aktivasi sebesar 3,87%.

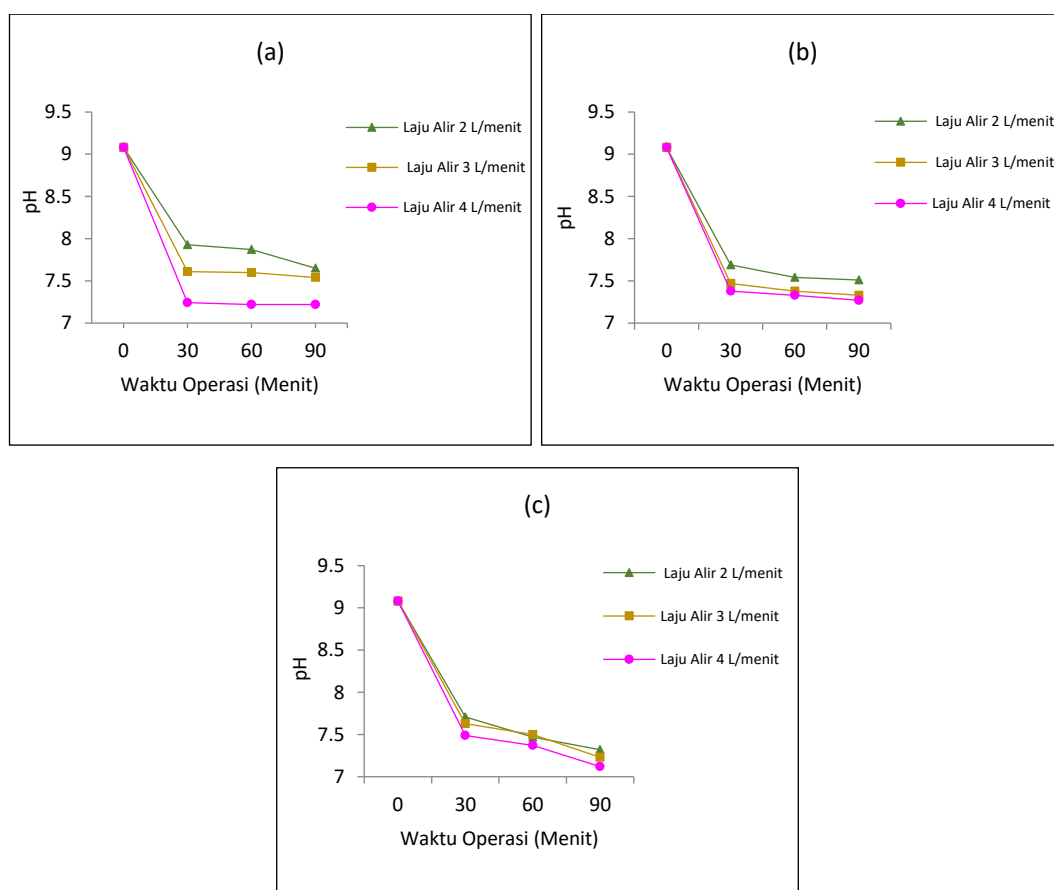
Hasil yang sama juga dicapai oleh kadar abu pada sampel 1, 2 dan 3 dimana sebelum aktivasi memiliki kadar abu sebesar 5,4%; 5,2% dan 4,7%. Setelah dilakukan aktivasi menggunakan H_2SO_4 10% menjadi 4,1%; 3,9% dan 3,4%. Nilai rata-rata kadar abu sebelum dilakukan proses aktivasi sebesar 5,1 % dan setelah dilakukan aktivasi sebesar 3,8%.

Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar air di dalam karbon aktif maksimal 15 % dan untuk kadar abu maksimal 10%.

4.3. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Laju Alir terhadap pH Effluent Adsorpsi

Derajat Keasaman (pH) digunakan untuk mengukur kadar relatif ion hidrogen bebas dan ion hidroksil dalam air. Level ion hidrogen bebas yang tinggi mengindikasikan air bersifat asam sedangkan kadar ion hidroksil bebas yang tinggi mengindikasikan air bersifat basa (Suryani et al., 2022). Skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Oktavia, 2018). Derajat keasaman menunjukkan perlu atau tidaknya pengolahan pendahuluan (*Pretreatment*) untuk mencegah terjadinya gangguan pada proses pengolahan limbah cair secara konvensional.

Pengaruh waktu, tinggi unggun, dan laju alir terhadap perubahan derajat keasaman (pH) limbah cair rumah sakit hasil proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Pengaruh waktu dan laju alir terhadap pH effluent; variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Berdasarkan Gambar 4.3. diketahui adanya pengaruh antara laju alir dan waktu operasi terhadap pH limbah cair setelah proses adsorpsi. pH awal limbah cair sebelum proses adsorpsi sebesar 9,08. Setelah proses adsorpsi pH menurun pada keseluruhan variasi laju alir dan waktu operasi. Laju alir 2 L/menit terjadi penurunan pH pada ketiga variasi tinggi unggun dan waktu operasi. Penurunan tertinggi pada tinggi unggun 10 cm saat proses berlangsung 90 menit, pH air limbah menurun dari 9,08 menjadi 7,32. Pada laju alir 3 L/menit dan 4 L/menit juga terjadi penurunan nilai pH. Penurunan nilai pH tersebut seiring dengan tinggi unggun yang meningkat dan waktu operasi yang semakin lama. Pada laju alir 3 L/menit semakin lama waktu operasi, pH air limbah yang dihasilkan semakin menurun. pH terendah berada pada tinggi unggun 10 cm sebesar 7,23 pada waktu operasi 90 menit. Hal tersebut juga berlaku pada laju alir 4 L/menit, dimana semakin lama waktu operasi, nilai pH akan semakin menurun. Nilai pH terendah 7,12 terjadi pada tinggi unggun 10 cm dan waktu operasi 90 menit.

Dari hasil tersebut diketahui bahwa penurunan pH tertinggi pada laju alir 4 L/menit selama 90 menit dimana pH limbah cair menurun dari 9,08 menjadi 7,12. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju alir dan waktu operasi berpengaruh terhadap penurunan pH pada proses adsorpsi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Latifah, 2021). menjelaskan bahwa karbon aktif berbahan kulit kayu yang diaktivasi menggunakan H_2SO_4 mampu menurunkan pH limbah air lindi (*Leachate*) sebesar 5,13 dari pH awal 12,45 menjadi 7,32.

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat juga bahwa penggunaan tinggi unggun pada proses adsorpsi menandakan bahwa massa adsorben memberikan pengaruh terhadap penurunan pH pada air limbah rumah sakit yang mengandung amoniak. Menurut (Wahyuningsih & Gitarama, 2020) hal ini dikarenakan amoniak memiliki sifat basa lemah terionisasi menjadi amonium dan ion hidroksida, menyebabkan ion hidroksida (OH^-) dalam limbah cair menurun. Penurunan pH pada air limbah setelah dilakukan proses adsorpsi menunjukkan adanya pelepasan ion H^+ selama proses adsorpsi yang mengakibatkan perubahan komposisi kimia air limbah (Febrianto, 2023).

Berdasarkan hasil uji SEM-EDS menyatakan bahwa unsur-unsur penyusun dalam adsorben antara lain C (Karbon), O (Oksigen), Al (Aluminium), Ca

(Kalsium), dan Ta (Tantalum). Besaran prosentase unsur penyusun adsorben dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Kandungan atom dalam adsorben teraktivasi H₂SO₄ 10%

Element	Wt. %	
	Setelah Aktivasi H ₂ SO ₄ 10%	Setelah Proses Adsorpsi
C	53.1	53.2
O	38.7	41.5
Al	1.0	0.7
Ca	0	0.4
Ta	7.2	4.2
Total	100	100

Sumber: Hasil uji SEM-EDS Labppft Universitas Sriwijaya

Gugus OH (hidroksil) yang berikatan dengan atom Al (aluminium) yang terkandung dalam adsorben dapat menurunkan pH. Ikatan antara OH dan Al membentuk senyawa Al(OH)₃. Dalam sebuah larutan Al(OH)₃ dapat melepaskan ion H⁺ (Proton) yang menyebabkan penurunan pH. Reaksi yang terjadi adalah:



Ion H⁺ yang dilepaskan dapat meningkatkan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan, sehingga menyebabkan penurunan pH dalam air limbah. Selain itu aluminium juga dapat bereaksi dengan air membentuk aluminium hidroksida dan melepaskan ion H⁺ yang menyebabkan penurunan pH seperti persamaan berikut:



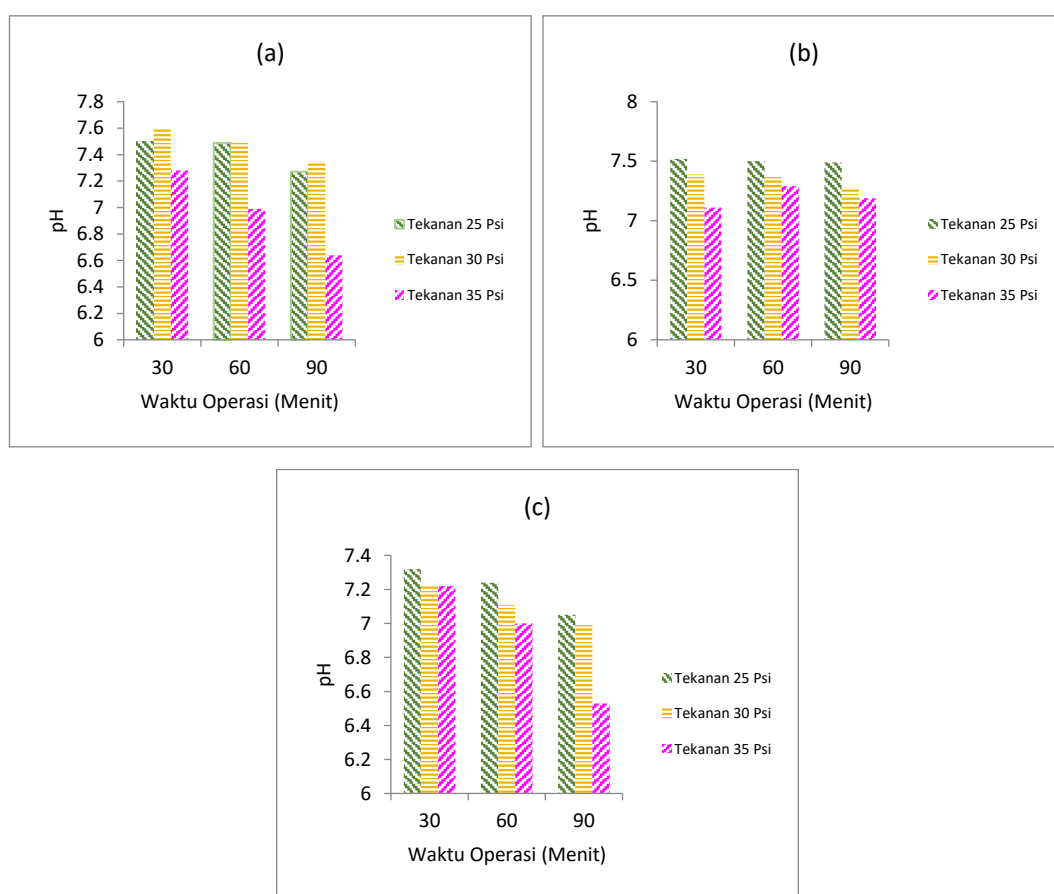
Unsur Al (Aluminium) dalam karbon aktif dapat mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam menurunkan pH limbah cair. Aluminium pada karbon membantu mengaktifkan karbon aktif sehingga meningkatkan kemampuan menyerap ion-ion yang terkait dengan unsur pH, dan juga mengubah struktur karbon aktif yang mampu meningkatkan luas permukaan dan kemampuan dalam menyerap ion-ion.

Pada kondisi pH tinggi, gugus aktif mengalami deprotonisasi dan cenderung bermuatan negatif dan diiringi dengan peningkatan konsentrasi ion OH⁻ dalam

larutan. Peningkatan konsentrasi ion OH^- menyebabkan terjadinya kompetisi antara situs aktif pada permukaan adsorben dengan ion OH^- untuk berikatan dengan ion Al. Penurunan pH air limbah menyebabkan jumlah ion Al juga menurun karena adanya pengendapan (Andamari, 2022).

4.4. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Tekanan terhadap pH Permeat

Pengaruh waktu, tinggi unggun, dan tekanan terhadap permeat membran infiltrasi dianalisa untuk mengetahui terjadinya perubahan derajat keasaman air limbah setelah melewati membran nanofiltrasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4. Pengaruh waktu dan tekanan terhadap pH permeat membran; variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Berdasarkan Gambar 4.4. terlihat bahwa variasi waktu dan tekanan mengalami penurunan nilai pH. Tekanan 25 Psi pH menurun seiring bertambahnya waktu operasi. Penurunan pH tertinggi terjadi pada tinggi unggun 5 cm selama 30 menit dengan nilai pH effluent adsorpsi sebesar 7,93 dan nilai pH permeat menjadi

7,5 dimana nilai tersebut terjadi penurunan sebesar 0,43. pH terendah pada tekanan 25 Psi sebesar 7,05 terdapat pada tinggi unggun 10 cm selama 90 menit.

Pada tekanan 30 Psi juga terjadi penurunan nilai pH permeat seiring semakin lama waktu operasi. pH terendah 6,99 pada tinggi unggun 10 cm dan waktu operasi 90 menit. Namun penurunan tertinggi terjadi pada tinggi unggun 10 cm dan waktu operasi 30 menit, nilai pH menurun dari 7,63 menjadi 7,22. Begitu pula pada tekanan 35 Psi. Dimana nilai pH terendah berada pada tinggi unggun 10 cm sebesar 6,53 pada saat proses selama 90 menit, nilai tersebut merupakan penurunan tertinggi sebesar 0,59 dari pH sebelumnya sebesar 7,12 yang merupakan nilai pH effluent absorpsi.

Proses pengolahan limbah cair rumah sakit dalam menurunkan nilai pH melalui pretreatment adsorpsi yang dilanjutkan dengan penggunaan membran nanofiltrasi menghasilkan penurunan pH tertinggi pada tinggi unggun 10 cm, tekanan 35 Psi selama 90 menit menunjukkan variasi proses tersebut mampu menurunkan nilai pH awal dari 9,08 menjadi 7,12 dan menurun menjadi 6,53 saat dilakukan proses menggunakan membran nanofiltrasi. Dari data tersebut terlihat bahwa semakin besar tekanan dan semakin lama waktu operasi, maka semakin tinggi penurunan pH.

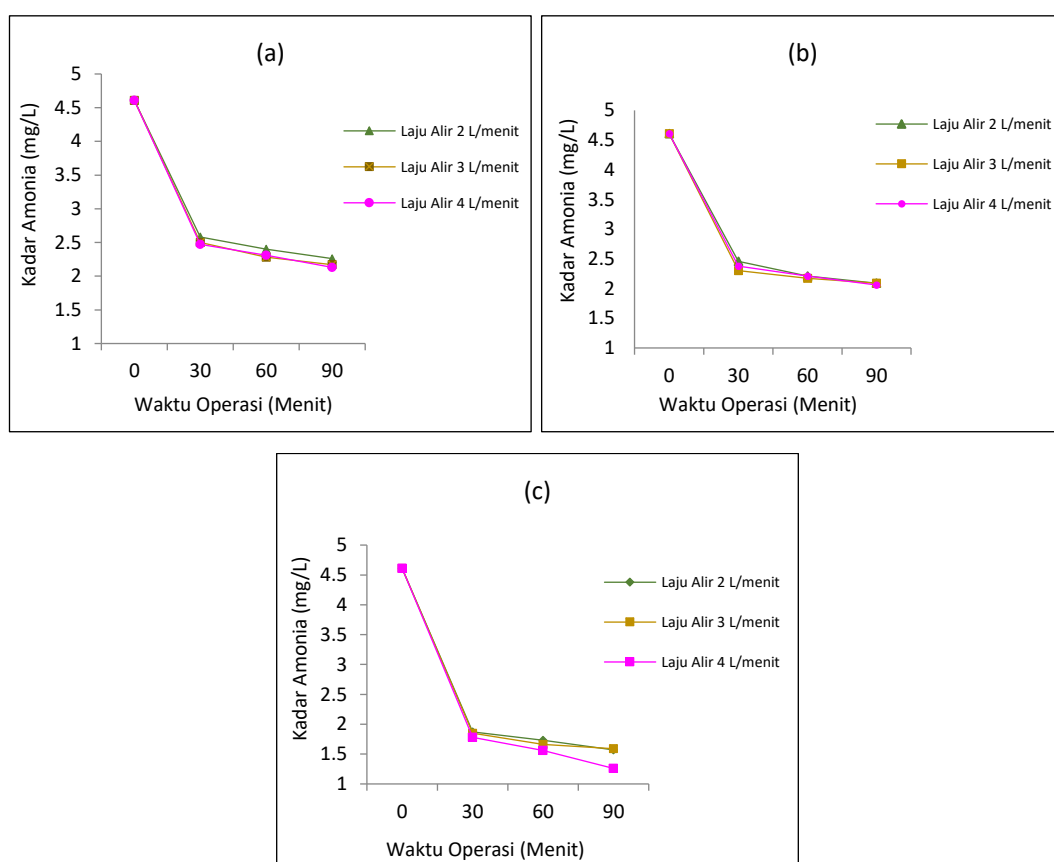
Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Bidari et al., 2022) yang menghasilkan penurunan pH pada air limbah terproduksi seiring dengan tekanan yang semakin meningkat dan waktu operasi yang semakin lama. Tekanan yang tinggi dapat meningkatkan selektivitas membran terhadap ion bermuatan, sehingga secara tidak langsung mengubah pH larutan akhir (Siew et al., 2020).

4.5. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Laju Alir terhadap Kadar Amoniak Effluent Adsorpsi

Analisa kadar amoniak yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit dilakukan analisa awal dan diperoleh nilai 4,61 mg/L. Berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 menyatakan bahwa kandungan amoniak yang diperbolehkan dalam limbah cair rumah sakit yaitu sebesar 0,1 mg/L. Sehingga kandungan amoniak pada limbah cair Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Ogan Ilir tidak memenuhi kandungan baku mutu yang diperbolehkan

dan harus dilakukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Hasil pengolahan limbah cair rumah sakit melalui proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu dalam menurunkan kadar amoniak dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Pada ketiga variasi laju alir terlihat bahwa penurunan kadar amoniak terjadi seiring dengan semakin lama waktu operasi proses adsorpsi. Pada laju alir 2 L/menit terlihat bahwa semakin lama waktu operasi maka kadar amoniak semakin menurun. Penurunan tertinggi terjadi pada tinggi unggun 10 cm selama waktu operasi 90 menit sebesar 3,04 dimana kadar amoniak turun menjadi 1,57 mg/L.



Gambar 4. 5. Pengaruh waktu dan laju alir terhadap kadar amoniak effluent; variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

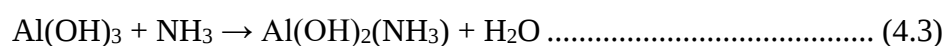
Pada laju alir 3 L/menit penurunan tertinggi terjadi pada tinggi unggun 10 cm dengan waktu operasi selama 90 menit sebesar 3,02 dari kadar awal amoniak 4,61 mg/L menjadi 1,59 mg/L. Hal tersebut juga terjadi pada laju alir 4 L/menit dengan penurunan kadar amoniak tertinggi pada waktu operasi 90 menit dan pada tinggi unggun 10 cm dimana kadar amoniak menurun mencapai nilai 1,26 mg/L.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Prasetia et al., 2024) menyebutkan bahwa penurunan kadar amoniak dapat dipengaruhi oleh variasi massa adsorben. Dalam penelitian yang telah dilakukan dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi unggun dalam kolom adsorben, maka massa adsorben yang digunakan untuk menurunkan kadar amoniak yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit juga semakin banyak, sehingga penurunan kadar amoniak juga semakin tinggi.

Gambar 4.5. menunjukkan bahwa semakin tinggi unggun adsorben yang digunakan maka kadar amoniak pada air limbah semakin menurun. Hal ini dapat disebabkan karena adanya peningkatan jumlah adsorben yang digunakan dapat meningkatkan laju proses adsorpsi dalam mereduksi kadar amoniak. Peningkatan jumlah adsorben juga dapat menyebabkan distribusi amoniak dalam air limbah menjadi lebih merata pada seluruh permukaan adsorben. Penggunaan adsorben yang semakin meningkat, menyebabkan pencapaian keseimbangan lebih cepat karena permukaan adsorben yang menangkap amoniak semakin banyak (Rahmilaila Desfitri et al., 2024).

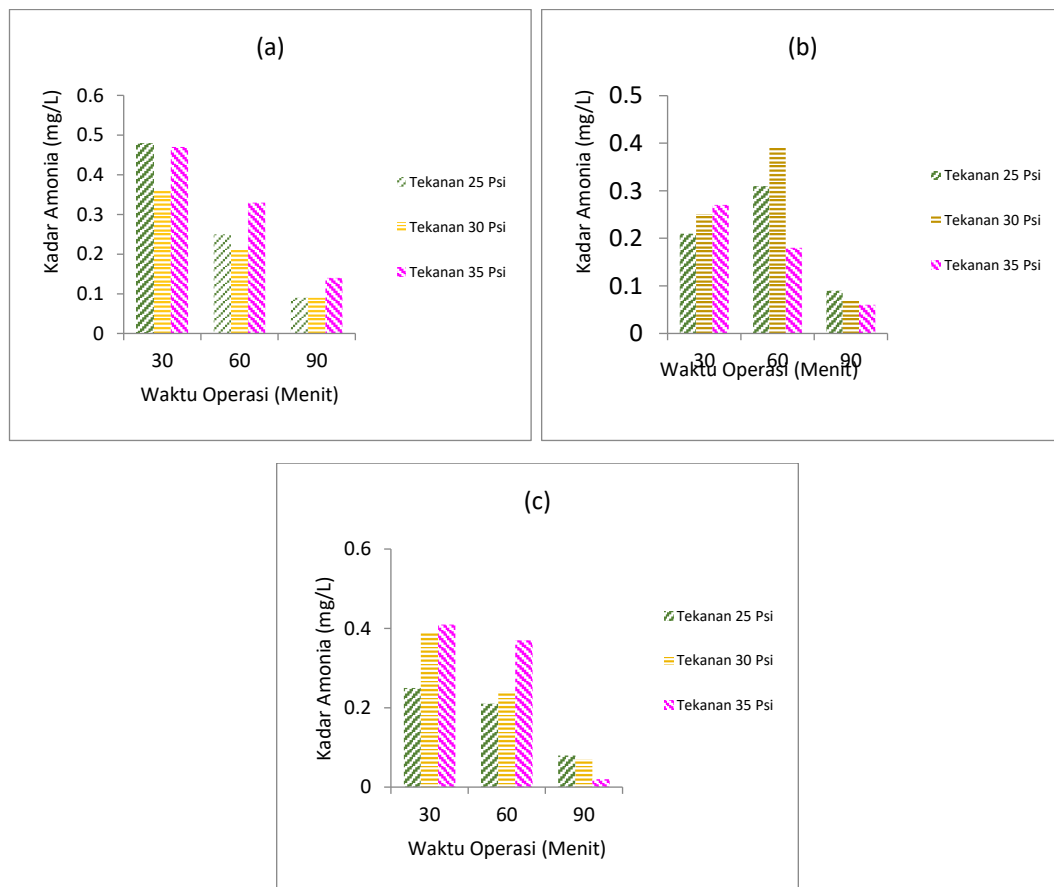
Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa proses adsorpsi menggunakan adsorben berbahan ampas tebu mampu menurunkan kadar amoniak limbah cair namun nilai yang dihasilkan belum memenuhi standar baku mutulimbah cair berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara parameter amoniak. Sehingga diperlukan proses lanjutan dalam menurunkan kadar amoniak yang terkandung.

Ikatan antara OH (Hidroksil) dengan Al (Aluminium) dapat membentuk senyawa Aluminiu Hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang dapat menurunkan kadar amoniak dalam limbah cair. Aluminium Hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) adalah senyawa yang umum digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair. Senyawa ini dapat membantu menghilangkan amoniak dari limbah cair melalui proses pengendapan dan pengadsorpsi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



4.6. Pengaruh Waktu, Tinggi Unggun, dan Tekanan terhadap Kadar Amoniak Permeat

Berdasarkan hasil analisa proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu, diketahui bahwa kadar amoniak limbah Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Ogan Ilir mengalami penurunan. Namun kadar amoniak yang terkandung di dalamnya masih berada diatas baku mutu yang disyaratkan oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, hotel, rumah sakit, domestik dan pertambangan batubara. Sehingga diperlukan pengolahan lanjutan untuk menurunkan kandungan amoniak sebelum dibuang ke lingkungan. Hasil analisa pengolahan lanjutan dalam proses menurunkan kandungan amoniak limbah cair rumah sakit melalui membran nanofiltrasi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Pengaruh waktu dan tekanan terhadap kadar amoniak permeat; variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Gambar 4.6. menjelaskan bahwa pada tekanan 25 Psi kadar amoniak menurun pada variasi tinggi unggun seiring dengan waktu operasi yang semakin lama. Kadar amoniak yang dihasilkan berada pada rentang 0,08 mg/L sampai 0,48 mg/L dengan kadar amoniak terendah terjadi pada tinggi unggun 10 cm saat proses berlangsung selama 90 menit sebesar 0,08 mg/L. Tekanan 30 Psi kadar amoniak mengalami penurunan seiring waktu yang semakin lama. Sama halnya pada tekanan 25 Psi, penurunan tertinggi dicapai pada tinggi unggun 10 cm selama waktu operasi 90 menit kadar amoniak menurun mencapai nilai 0,07 mg/L. Waktu yang semakin lama menghasilkan penurunan kadar amoniak juga dicapai pada tekanan 35 Psi variasi tinggi unggun adsorben 10 cm dari 1,26 mg/L menjadi 0,02 mg/L. Penurunan kadar amoniak kombinasi proses adsorpsi dan filtrasi membran ini selaras dengan hasil penurunan kadar amoniak dengan adsorben saja dimana waktu operasi yang lama akan menghasilkan kadar amoniak yang semakin kecil. Proses filtrasi membran ini juga membuktikan bahwa filtrasi yang didahului dengan pretreatment adsorpsi menghasilkan kadar amoniak menjadi semakin kecil dibandingkan tanpa menggunakan membran nanofiltrasi.

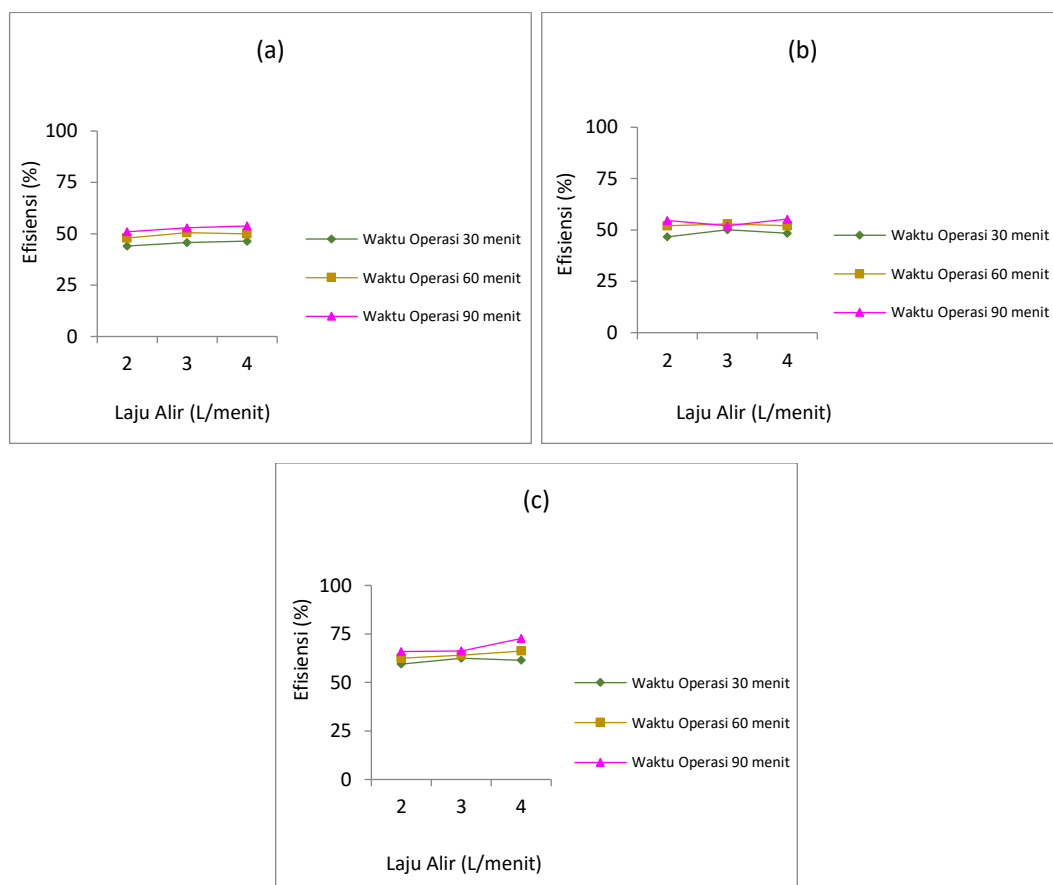
Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa tekanan pada membran berpengaruh terhadap penurunan kadar amoniak. Makin tinggi tekanan pada membran dapat meningkatkan laju alir dan efisiensi penurunan kadar amoniak. Semakin tinggi tekanan menyebabkan ukuran pori membran mengecil, sehingga meningkatkan efisiensi penurunan. Pada membran nanofiltrasi, ukuran partikel yang lebih besar dari ukuran pori membran akan tertahan pada permukaan membran, sedangkan ukuran partikel yang lebih kecil dari ukuran pori membran akan lolos menuju ke permeat. Pemisahan ion pada membran nanofiltrasi terjadi karena interaksi elektrostatis antara ion dan permukaan membran. Ketika membran dikontakkan dengan limbah cair yang mengandung amoniak, densitas muatan permukaan membran menjadi positif. Pemisahan berdasarkan ukuran pori juga berperan dalam pemisahan NH_3 (Kiswanto et al., 2019) Kontak antara NH_3 (amoniak) dengan permukaan membran nanofiltrasi mengakibatkan terjadinya adsorpsi NH_3 pada permukaan membran terutama jika membran memiliki sifat hidrofilik (suka air).

Hasil penelitian (Adila, 2024) menunjukkan bahwa proses penurunan kadar amoniak menggunakan adsorben ampas yang dikombinasi dengan proses

hidroponik kangkung mampu menurunkan kadar amoniak pada air limbah industri gula sebesar 75%.

4.7. Pengaruh Laju Alir terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Amoniak

Hasil pengukuran pengaruh laju alir dan waktu operasi terhadap efisiensi penurunan amoniak pada proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7. Efisiensi penurunan kadar amoniak proses adsorpsi

variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Dari Gambar 4.7.(a) terlihat bahwa seiring bertambahnya tinggi unggun (massa adsorben) maka efisiensi penurunan kadar amoniak semakin tinggi. Efisiensi tertinggi terjadi pada laju alir 4 L/menit sebesar 53,8% pada waktu operasi selama 90 menit. Begitu juga pada tinggi unggun 7,5 cm dan 10 cm, terlihat bahwa semakin lama waktu operasi maka efisiensi penurunan kadar amoniak dalam limbah cair meningkat. Pada tinggi unggun 7,5 cm efisiensi tertinggi terjadi pada

saat proses berjalan selama 90 menit pada laju alir 4 L/menit sebesar 55,31%. Pada tinggi unggun 10 cm efisiensi tertinggi juga terjadi pada saat waktu operasi 90 menit sebesar 72,67% yaitu pada laju alir 4 L/menit. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya tinggi unggun dan semakin lama waktu operasi, maka daya serap adsorben terhadap amoniak menjadi besar. Begitu pula dengan laju alir dimana semakin besar laju alir, maka efisiensi penurunan kadar amoniak semakin besar. Efisiensi adsorpsi berbanding lurus dengan tingkat penyerapan amoniak. Semakin banyak yang terserap maka semakin besar nilai efisiensi penyerapannya (Septiani et al., 2021).

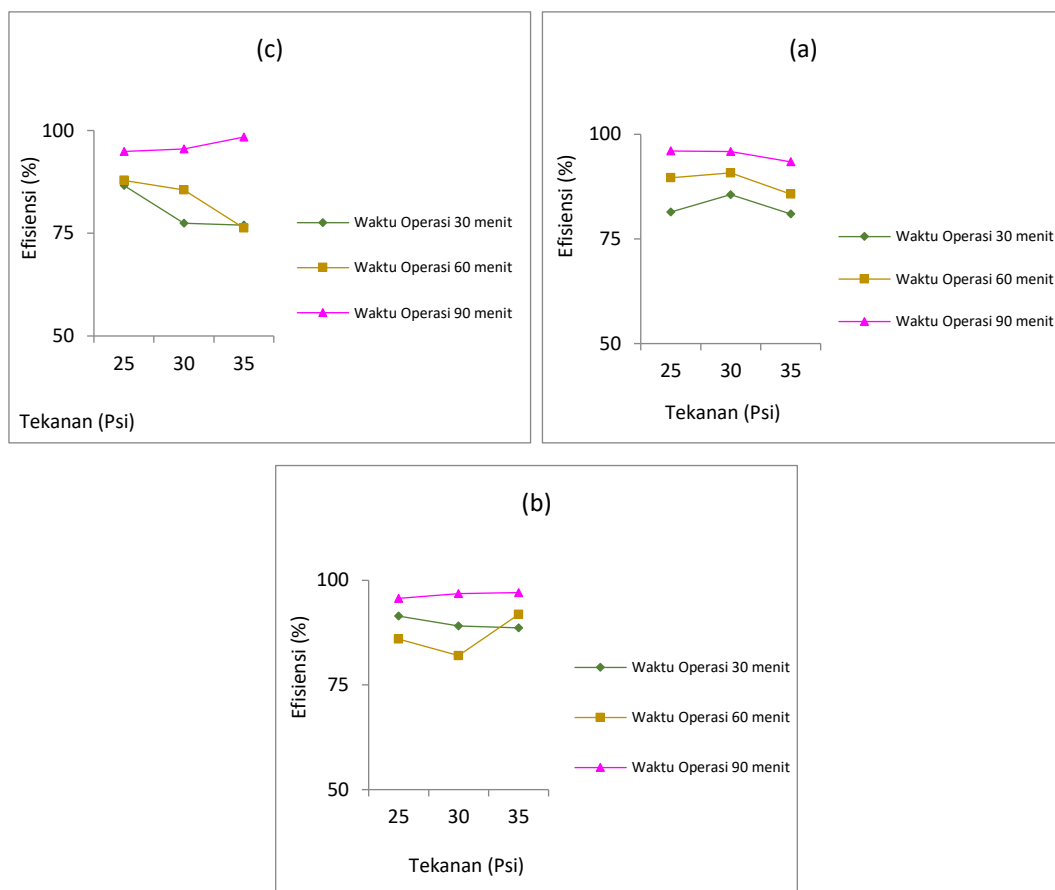
Efisiensi penurunan kadar amoniak pada proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu berada pada rentang nilai 44% - 72%. Secara keseluruhan reduksi amoniak menggunakan ampas tebu dapat dikatakan cukup efisien dengan rerata efisiensi adsorpsi sebesar 55%.

Dari penelitian tersebut diketahui bahwa efisiensi adsorpsi penyerapan amoniak oleh adsorben tertinggi berada pada variasi tinggi unggun 10 cm dengan laju alir 4 L/menit dan pada waktu operasi selama 90 menit sebesar 72,67%.

4.8. Pengaruh Tekanan terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Amoniak

Efisiensi penurunan kadar amoniak merupakan salah satu parameter kunci dalam menilai kinerja suatu proses pengolahan limbah, khususnya limbah cair yang mengandung senyawa nitrogen. Amoniak yang tidak terolah dengan baik dapat berdampak negatif terhadap lingkungan perairan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, evaluasi terhadap efisiensi penurunan amoniak penting dilakukan untuk memastikan bahwa teknologi atau metode yang digunakan mampu menurunkan konsentrasi amoniak hingga mencapai baku mutu yang ditetapkan

Pengukuran amoniak menggunakan formula % *efisiensi* untuk mendapatkan penyerapan kadar amoniak pada limbah cair medis. Efisiensi penyerapan kandungan amoniak dihitung dengan membandingkan hasil kandungan amoniak sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Efisiensi penurunan kadar amoniak yang terkandung pada air limbah setelah diolah menggunakan membran nanofiltrasi disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Efisiensi penurunan kadar amoniak membran nanofiltrasi; variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Gambar 4.8.(a) menunjukkan hasil efisiensi penyerapan amoniak variasi tinggi unggun 5 cm. Efisiensi tertinggi dicapai pada tekanan 25 Psi pada waktu operasi 90 menit sebesar 96,02%. Secara keseluruhan efisiensi penyerapan amoniak berada pada rentang 80% hingga 96%. Efisiensi tertinggi penurunan kadar amoniak pada limbah cair variasi tinggi unggun 7,5 cm dapat dilihat pada Gambar 4.8.(b) sebesar 97,09%. Sama halnya untuk tinggi unggun 7,5 cm pada Gambar 4.8.(c) yang terlihat bahwa efisiensi tertinggi pada tinggi unggun 10 cm selama waktu operasi 90 menit yaitu sebesar 98,41%.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa tekanan pada membran, tinggi unggun dan waktu operasi memberi pengaruh yang cukup signifikan dalam menurunkan kadar amoniak. Ketiga variasi tinggi unggun secara keseluruhan mengalami efisiensi penurunan rata-rata diatas 90%.

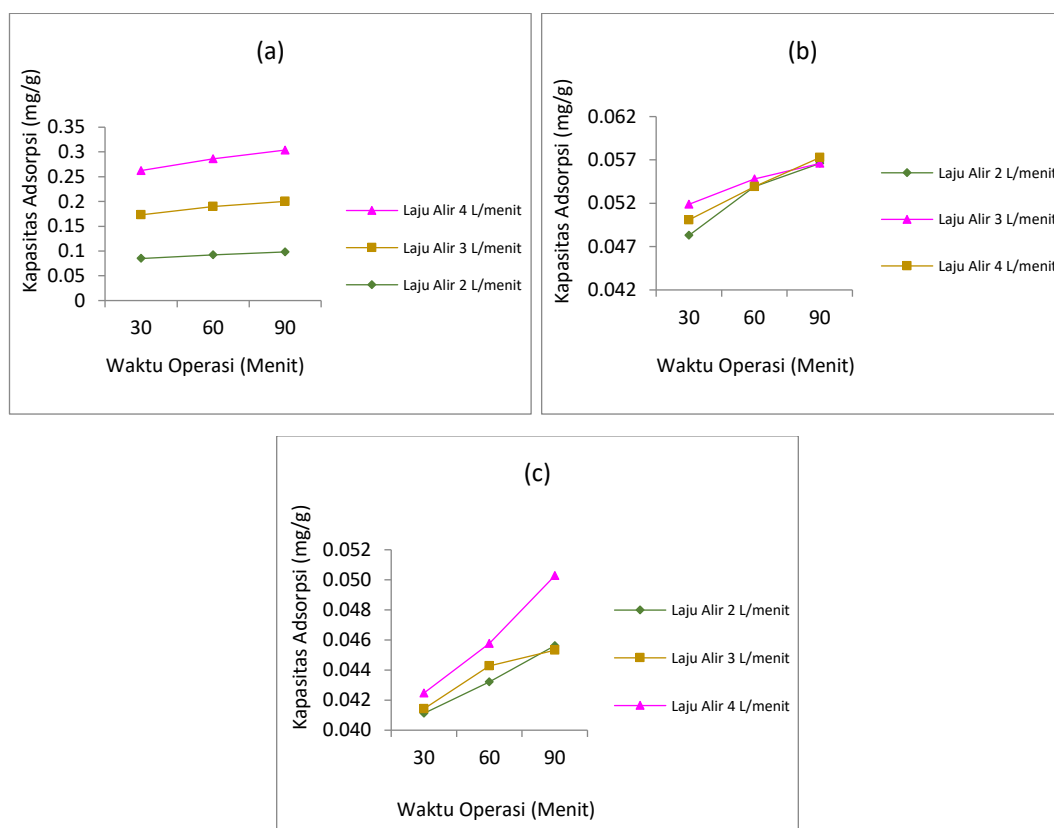
Efisiensi adsorpsi mengalami peningkatan signifikan ketika proses yang

dilakukan adalah kombinasi adsorpsi dengan filtrasi. Efisiensi penurunan kadar amoniak yang dihasilkan pada proses ini berada pada nilai 80-98%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi unggun (massa adsorben) dan lama waktu operasi membran nanofiltrasi dalam mengolah limbah cair rumah sakit, maka semakin tinggi pula efisiensi penyisihan penyisihan kadar amoniak.

4.9. Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan cara mengurangi kadar awal amoniak sebelum dan sesudah dilakukan proses pengolahan secara adsorpsi, dan dibandingkan dengan massa adsorben yang digunakan dan volume air limbah yang tertampung dalam kolom adsorpsi.

Pada penelitian ini digunakan variasi waktu operasi dan laju alir untuk mengetahui kapasitas adsorpsi terbaik yang digunakan pada masing-masing tinggi unggun dalam mengadsorpsi kadar amoniak yang terkandung dalam limbah cair. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi karbon aktif ampas tebu pada masing-masing tinggi unggun dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Kapasitas adsorpsi

Dari Gambar 4.9. diketahui bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi dicapai pada tinggi unggun 5 cm pada waktu 90 menit, kapasitas adsorpsi sebesar 0,104 mg/g pada laju alir 4 L/menit. Sedangkan kapasitas adsorpsi terendah pada tinggi unggun 10 cm dengan variasi laju alir 2 L/menit dan waktu operasi 30 menit yaitu sebesar 0,041 mg/g.

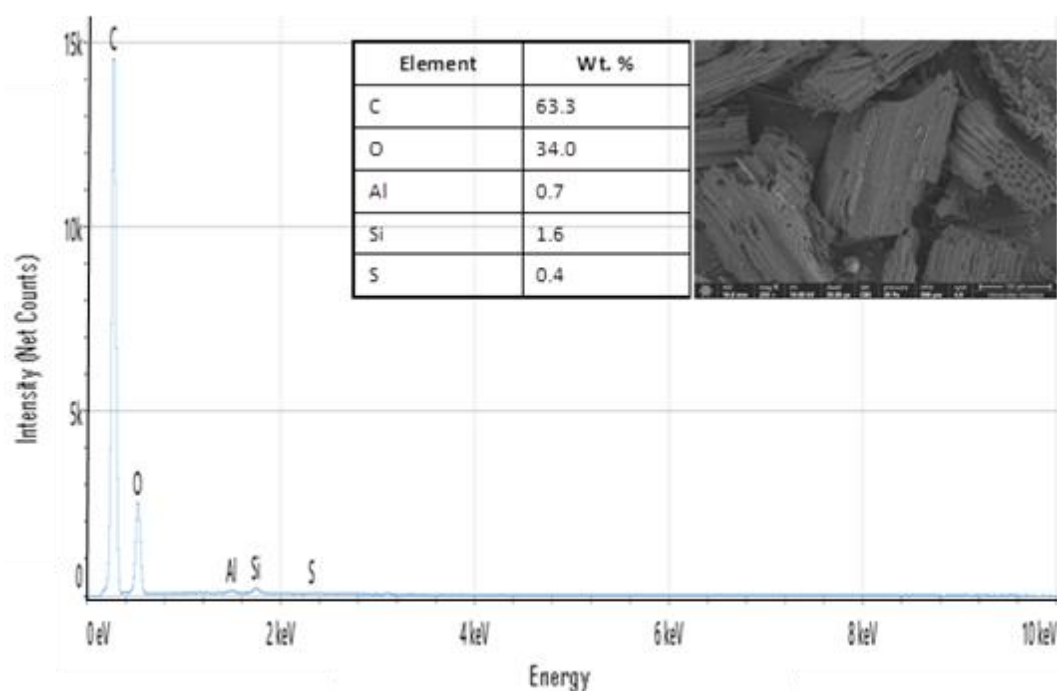
Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa tinggi unggun 5 cm menghasilkan kapasitas adsorpsi tertinggi dan tinggi unggun 10 cm menghasilkan tinggi unggun kapasitas adsorpsi terendah. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa massa adsorben berbanding terbalik dengan kapasitas adsorpsi (Frandida et al., 2024). Semakin tinggi unggun adsorben kapasitas adsorpsinya akan semakin menurun. Penurunan kapasitas adsorpsi disebabkan oleh adanya sisi aktif adsorben yang belum semuanya berikatan dengan adsorbat, sehingga hal ini dapat menyebabkan kapasitas adsorben menurun (Reyra et al., 2017). Namun pada penelitian lain menyebutkan bahwa massa adsorben berbanding lurus dengan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan (Sylvia et al., 2023), hal ini disebabkan karena permukaan aktif adsorben meningkat sampai kapasitas adsorpsi optimum tercapai. Pada kondisi ini luas permukaan aktif jauh lebih besar, sehingga menghasilkan kemungkinan besar partikel adsorbat bersentuhan dengan adsorben pada permukaan aktif. Apabila kapasitas adsorpsi optimum telah tercapai, maka dengan ditambahnya massa adsorben akan terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini disebabkan adanya aglomerasi partikel adsorben sehingga jumlah adsorbat yang teradsorpsi semakin berkurang (Putri & Hasna Oktaviana, 2024).

Peningkatan jumlah adsorben mengakibatkan kapasitas adsorben menurun, karena pada saat itu konsentrasi adsorbat juga menurun. Peningkatan jumlah adsorben sama dengan menambah ruang tempat ion atau logam mengikatkan diri, akibatnya jumlah adsorbat yang terakumulasi pada setiap gram adsorben akan semakin sedikit (Septiani et al., 2021).

4.10. Morfologi Adsorben Ampas Tebu menggunakan SEM - EDS

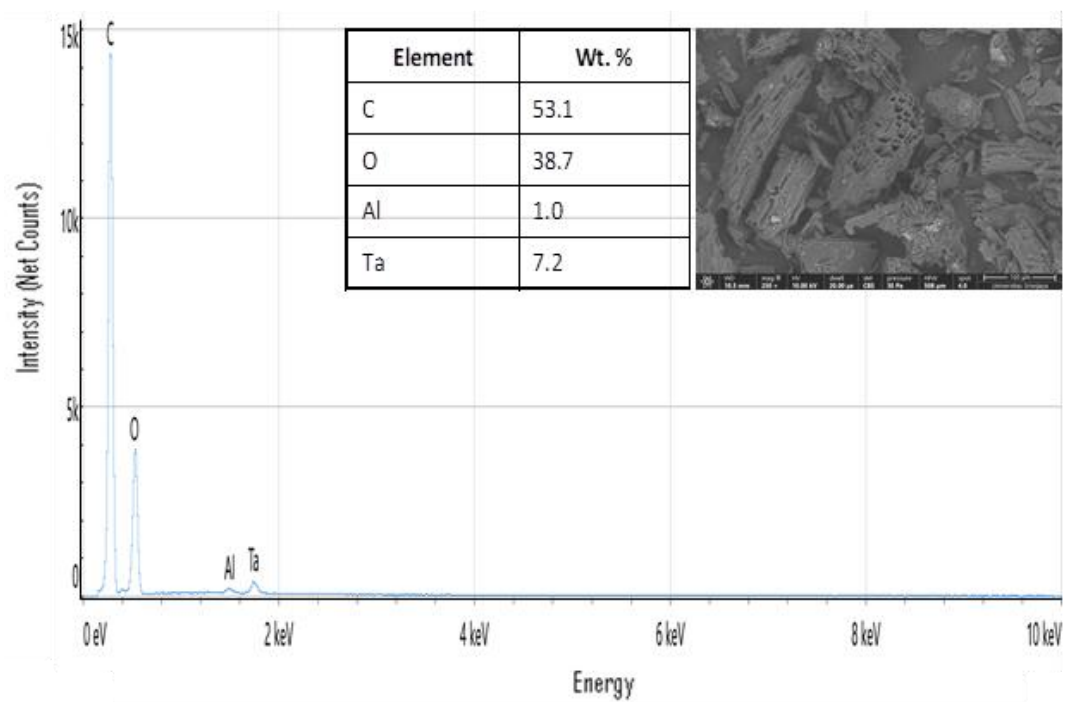
Karbon aktif yang dihasilkan dari ampas tebu dilakukan analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) – *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) untuk melihat morfologi dari karbon aktif serta kandungan unsur di dalamnya. Pengujian

morfologi dari karbon aktif ampas tebu dilakukan dengan menggunakan alat SEM yang dilengkapi dengan EDS untuk mengetahui unsur maupun senyawa-senyawa yang terkandung pada adsorben. Karakteristik morfologi menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui gambaran bentuk permukaan dari material adsorben ampas tebu sebelum aktivasi, setelah aktivasi, dan setelah proses adsorpsi. Kombinasi morfologi berpori dan komposisi unsur ini diduga berperan penting dalam proses adsorpsi, dimana pori-pori berfungsi sebagai tempat adsorpsi dan unsur lain dapat meningkatkan daya tarik adsorben terhadap adsorbat.



Gambar 4. 10. Hasil analisa SEM-EDS adsorben sebelum aktivasi

Morfologi karbon aktif sebelum aktivasi H_2SO_4 10% ditandai dengan permukaan yang relatif kasar dan banyak pengotor yang menutupi pori, serta ukuran yang lebih kecil. Pengotor yang menutupi pori tersebut dapat menghalangi akses molekul adsorbat ke permukaan pori, sehingga mengurangi efektivitas adsorpsi. Unsur penyusun yang terkandung dalam karbon aktif tersebut terdiri atas C (Karbon) sebanyak 63,3%, O (Oksigen) sebanyak 34%, Al (Aluminium) sebanyak 0,7%, Si (Silikon) sebanyak 1,6%, dan S (Sulfur) sebanyak 0,4%.

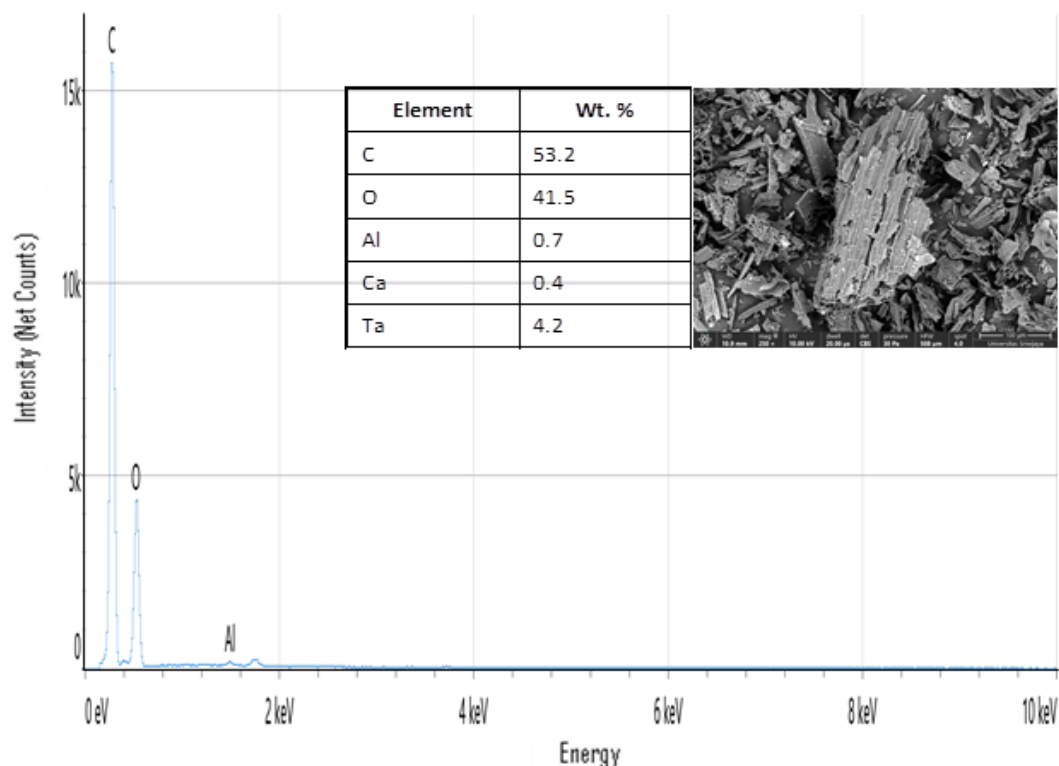


Gambar 4. 11. Hasil analisa SEM-EDS adsorben setelah aktivasi H_2SO_4

Morfologi karbon aktif setelah aktivasi H_2SO_4 10% (Gambar 4.11) menunjukkan lebih banyak pori-pori terbuka, distribusi ukuran pori yang lebih seragam, dan permukaan yang lebih bersih dan halus. Unsur penyusun yang terkandung dalam karbon aktif tersebut terdiri atas C (Karbon) sebanyak 53,1%, O (Oksigen) sebanyak 38,7%, Al (Aluminium) sebanyak 1,0%, dan Ta (Tantalum) sebanyak 7,2%. Proses aktivasi H_2SO_4 10% pada karbon ampas tebu menyebabkan unsur Si (Silikon) dan S (Sulfur) menjadi hilang.

Silikon yang terkandung pada karbon selama proses aktivasi menggunakan asam sulfat bereaksi membentuk senyawa silikat atau silikon dioksida (SiO_2) yang dapat larut dalam air pada saat proses penetralan menggunakan aquadest.

Sedangkan sulfur yang terkandung pada karbon, bereaksi dengan asam sulfat pada proses aktivasi membentuk gas SO_2 (Sulfur dioksida) yang bersifat mudah menguap pada kondisi suhu ruang.



Gambar 4. 12. Hasil analisa SEM-EDS adsorben setelah proses adsorpsi

Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben (Gambar 4.12) memberikan hasil yang lebih kasar. Morfologinya menunjukkan lebih banyak pori-pori tertutup, permukaan yang lebih padat dan bergelombang, adanya pengotor pada permukaan, dan warna yang lebih pucat. Unsur penyusun dalam adsorben tersebut antara lain C (Karbon) sebanyak 53,2%, O (Oksigen) sebanyak 41,5%, Al (Aluminium) sebanyak 0,7%, Ca (Kalsium) sebanyak 0,4%, dan Ta (Tantalum) sebanyak 4,2%. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan okupasi pori-pori dan permukaan karbon oleh kontaminan dari air limbah, yang menghasilkan permukaan yang lebih padat dan perluasan area permukaan (Rofikoh et al., 2024).

Tabel 4. 3. Distribusi unsur hasil analisa EDS

Komponen Unsur	Sebelum Aktivasi (%)	Setelah Aktivasi (%)	Setelah Proses Adsorpsi (%)
C	63.3	53.1	53.2
O	34.0	38.7	41.5
Al	0.7	1.0	0.7
Si	1.6	-	-
S	0.4	-	-
Ca	-	-	0.4
Ta	-	7.2	4,2

Sumber: Lab Pusat pengujian Universitas Sriwijaya

Tabel 4.3. menunjukkan persebaran komponen unsur yang ada pada karbon aktif menggunakan analisa SEM-EDS. Karbon aktif sendiri didominasi oleh kandungan karbon dan oksigen serta sedikit kandungan pengotor dari unsur lainnya. Hasil analisa tersebut menunjukkan hasil yang beragam dari ketiga jenis sampel karbon aktif. Karbon aktif sebelum aktivasi memiliki kandungan C, O, dan Al sebesar 63,3%, 34%, dan 0.7%. Kandungan tersebut kemudian berkurang setelah dilakukan aktivasi H_2SO_4 10% menjadi 53,1% pada unsur karbon. Kandungan oksigen dan aluminium bertambah menjadi 38.7% dan 1% setelah dilakukan aktivasi menggunakan H_2SO_4 10%. Hal ini dikarenakan interaksi asam sulfat dengan karbon aktif dengan memberikan oksigen dari asam sulfat ke karbon aktif guna membentuk morfologi dengan pori-pori yang lebih besar agar dapat melakukan adsorpsi dengan baik. Kandungan unsur karbon aktif setelah uji sebagai adsorben menunjukkan kandungan C yang relatif tetap, namun kandungan oksigen meningkat menjadi 41,5%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan oksigen tersebut akibat adsorben yang menangkap oksigen dari air limbah yang menandakan bahwa adsorben dapat menyerap dengan baik.

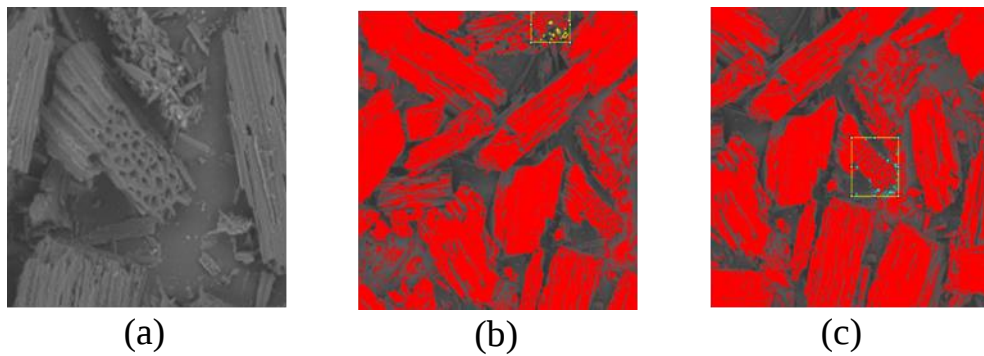
4.11. Penentuan Ukuran Adsorben

Ukuran adsorben merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kapasitas serapan terhadap amoniak. Semakin kecil ukuran, maka luas permukaan

adsorben akan bertambah luas sehingga amoniak akan lebih mudah terserap pada permukaan.

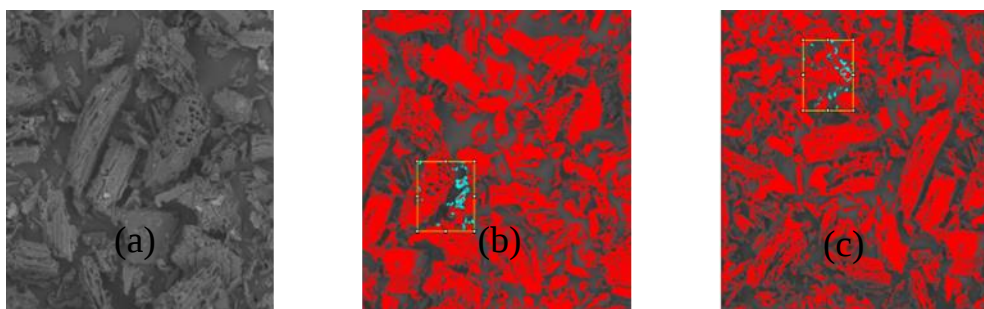
Penentuan ukuran dari gambar digital SEM dilakukan dengan cara pengolahan data menggunakan software *Image-J* untuk memperoleh distribusi luas area dari setiap pencitraan gambar digital. Dengan mengasumsikan berbentuk bola maka dari luas area rata-rata (A) yang dihasilkan dapat dihitung diameter nya (d) dengan menggunakan persamaan: $d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$.

Analisis luas area dan diameter rata-rata dari adsorben berbahan ampas tebu adalah sebagai berikut:



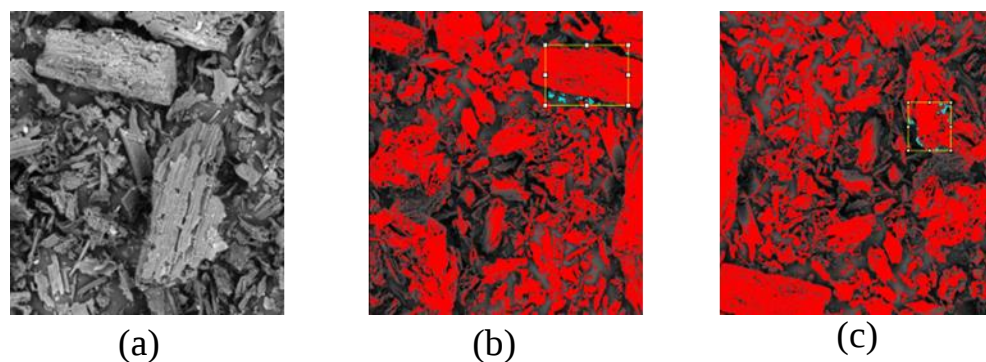
Gambar 4. 13. Potongan sebelum aktivasi

(a) Gambar asli; (b) potongan 1; (c) potongan 2



Gambar 4. 14. Potongan setelah aktivasi

(a) Gambar asli; (b) potongan 1; (c) potongan 2



Gambar 4. 15. Potongan setelah adsorpsi

(a) Gambar asli; (b) potongan 1; (c) potongan 2

Berdasarkan hasil analisa menggunakan aplikasi Image-J sampel karbon aktif berbahan ampas tebu didapatkan ukuran diameter partikel pada Tabel 4.5. sebagai berikut:

Tabel 4. 4. Ukuran diameter partikel rata-rata karbon aktif

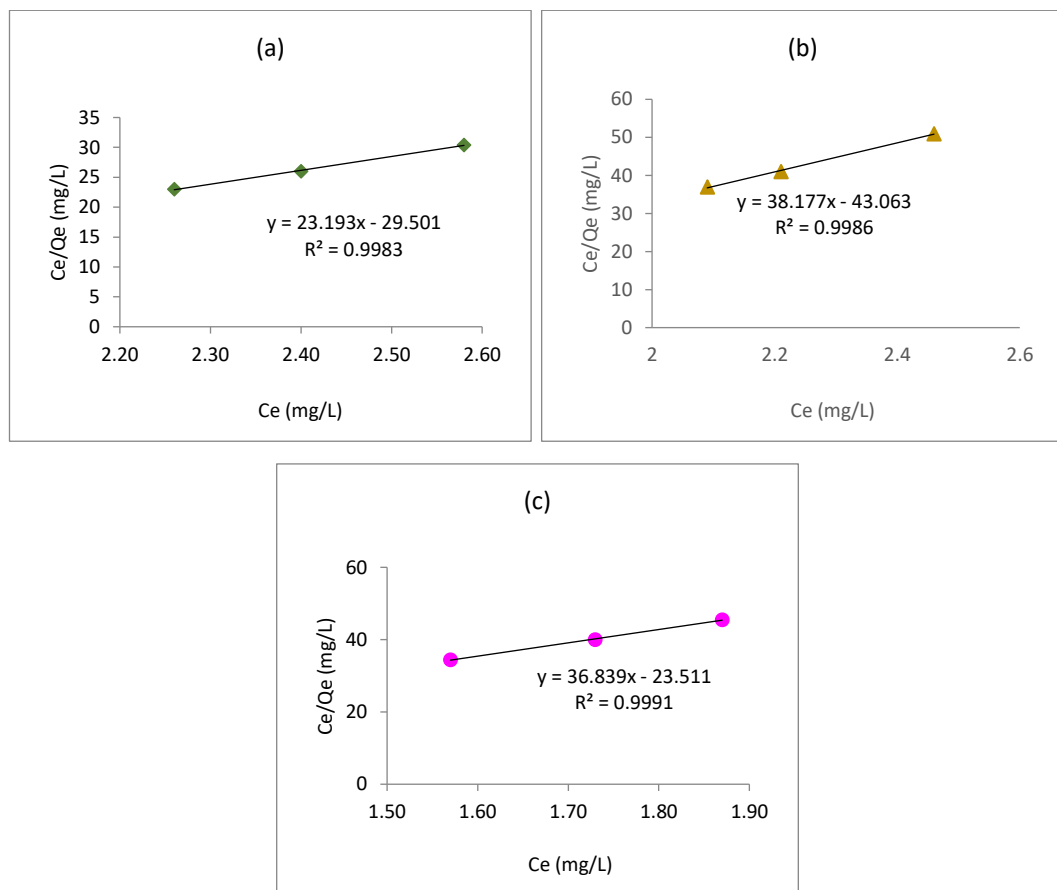
No	Jenis	Sebelum Aktivasi		Setelah Aktivasi		Setelah Adsorpsi	
		Luas Partikel (μm)	Diameter Partikel (μm)	Luas Partikel (μm)	Diameter Partikel (μm)	Luas Partikel (μm)	Diameter Partikel (μm)
1	Potongan 1	12,429	3,979	4,621	0,0243	6,764	2,936
2	Potongan 2	11,497	3,827	4,696	0,0245	6,405	2,856
	Rata-rata	11,963	5,827	4,6585	0,0244	6,5845	2,896

Dari Tabel 4.5. dapat dilihat bahwa diameter partikel karbon aktif setelah dilakukan aktivasi menggunakan H_2SO_4 10% menjadi lebih kecil. Setelah digunakan sebagai adsorben diameter partikel karbon menjadi lebih besar. Proses aktivasi H_2SO_4 10% dapat memperkecil pori pada adsorben. Besarnya ukuran pori akan sangat menentukan daya adsorbansi dari karbon aktif. Semakin kecil pori maka semakin luas permukaan dan semakin tinggi daya adsorpsinya (Luna et al., 2020). Setelah dilakukan proses adsorpsi terjadi perubahan ukuran diameter partikel menjadi lebih besar. Hal ini dimungkinkan bahwa terdapat pengotor yang menempel pada permukaan adsorben.

4.12. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

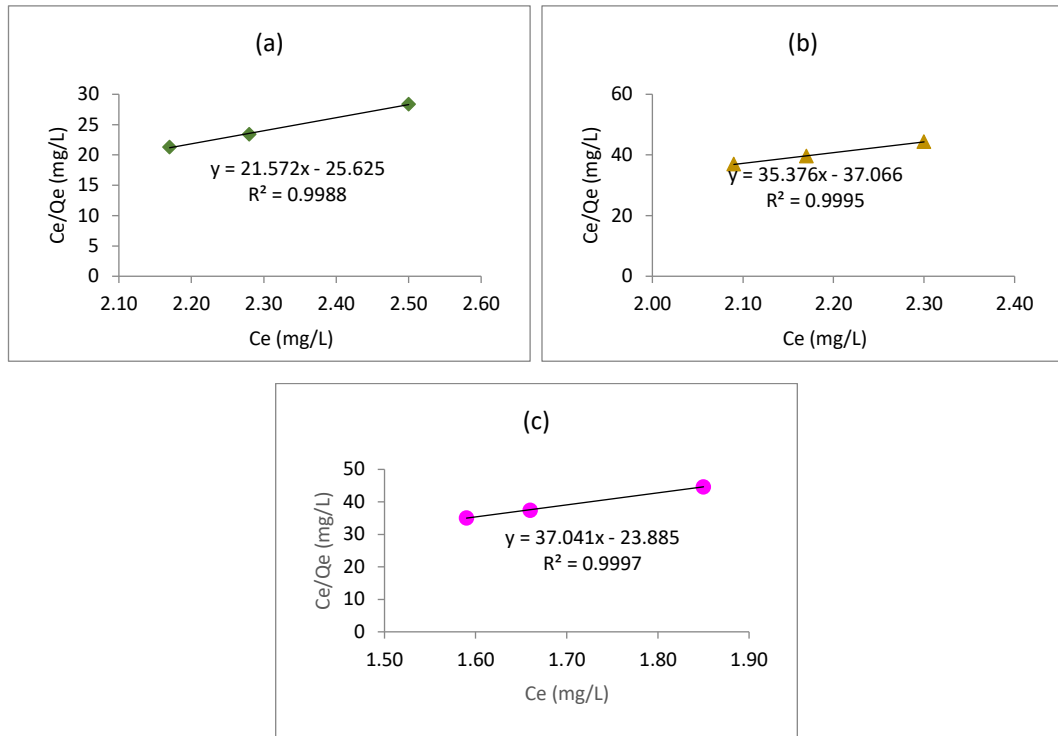
Isoterm adsorpsi adalah interaksi antara larutan adsorbat dengan adsorben teraktivasi dengan pola adsorpsi ion logam pada adsorben dipengaruhi oleh waktu kontak. Kinetika adsorpsi adalah untuk menentukan waktu kontak yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan. Kinetika adsorpsi dapat menggambarkan tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat (Ulayya, 2024).

Isoterm adsorpsi berperan penting dalam prediksi mekanisme adsorpsi dan penentuan kapasitas adsorpsi maksimum adsorben. Dalam penelitian ini, dua jenis model isoterm yakni Langmuir dan Freundlich diuji. Grafik persamaan Isoterm Langmuir ditunjukkan pada gambar berikut:

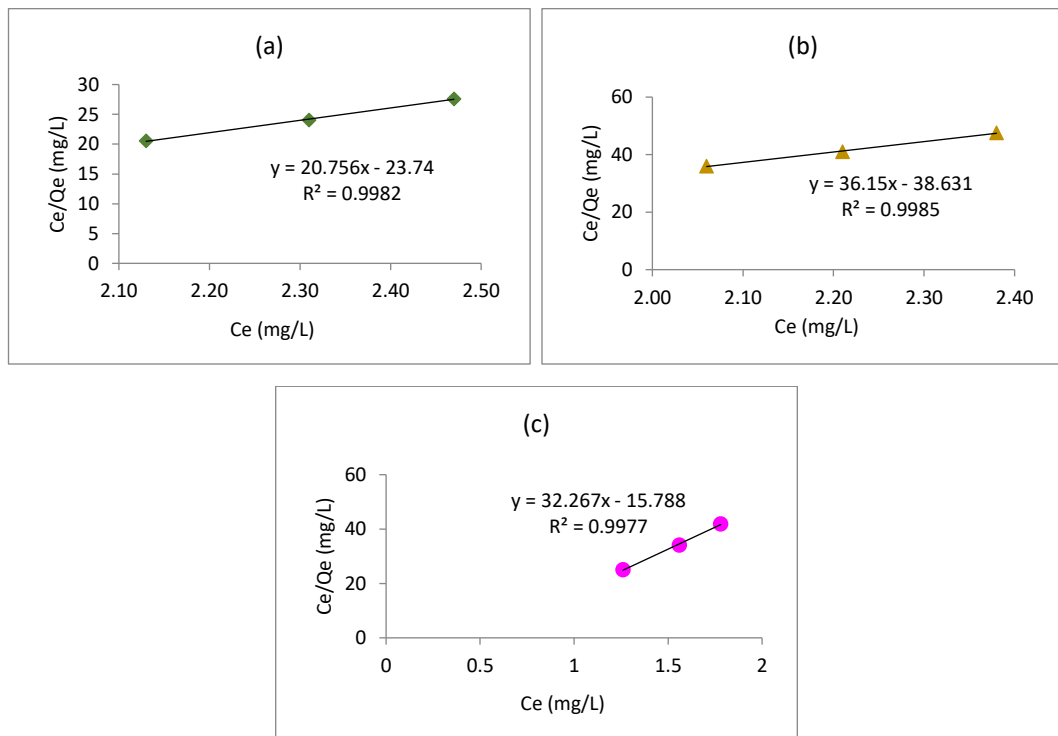


Gambar 4. 16. Model isoterm langmuir laju alir 2 L/menit

variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm



Gambar 4. 17. Gambar 4 17. Model isoterm langmuir laju alir 3 L/menit
variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm



Gambar 4. 18. Model isoterm langmuir laju alir 4 L/menit
variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Gambar 4.16 grafik isoterm Langmuir pada laju alir 2 L/menit dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,9983 – 0,9991. Gambar 4.17 grafik isoterm Langmuir pada laju alir 3 L/menit dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,9988 – 0,9997. Gambar 4.18 grafik isoterm Langmuir pada laju alir 3 L/menit dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,9977 – 0,9985.

Kurva Isoterm Langmuir diperoleh dengan menghubungkan antara nilai C_e terhadap nilai C_e/Q_e . Q_e merupakan kapasitas adsorpsi amoniak yaitu massa amoniak yang diserap oleh 1 gram adsorben. Gambar 4.16; 4.17; 4.18; mengilustrasikan hasil perhitungan model isoterm Langmuir. Jenis isoterm adsorpsi spesifik yang mencirikan adsorben teraktivasi dapat diketahui dengan mengevaluasi nilai R^2 . Nilai R^2 yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa proses adsorpsi dapat dimodelkan dengan isoterm adsorpsi tersebut. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi akhir amoniak (C_e) akan meningkatkan nilai dari C_e/Q_e . Nilai C_e yang berbanding terbalik dengan Q_e menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar amoniak, maka kapasitas adsorpsi semakin rendah.

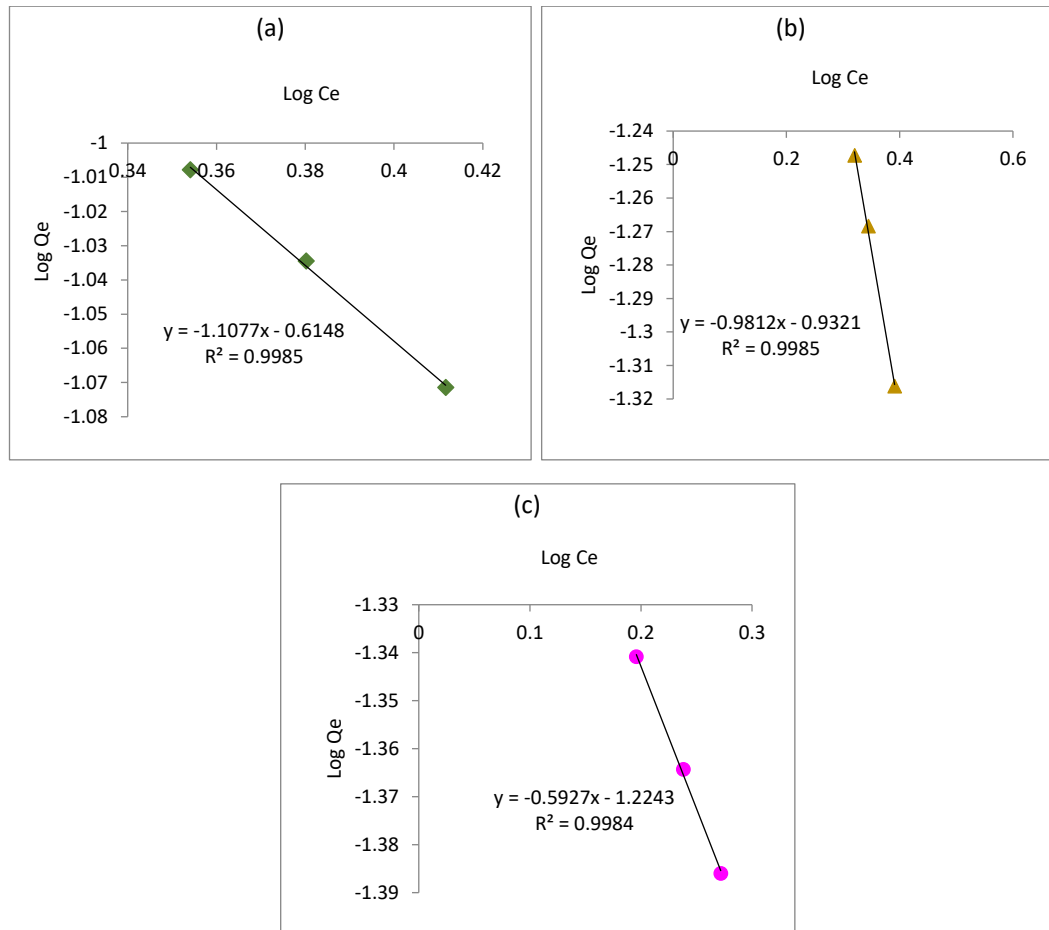
Dari hasil kurva isoterm langmuir dan pengolahan data didapatkan nilai q_m yang merupakan kapasitas adsorpsi monolayer jenuh ($\mu\text{g/g}$). Tabel 4.6. menunjukkan parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Langmuir.

Tabel 4. 5. Parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Langmuir

Laju alir (L/min)	Tinggi Unggun (cm)	Parameter Adsorpsi		
		q_m (mg/g)	KL (L/mg)	R^2
2	5	0,0339	1,2720	0,9983
	7,5	0,0232	1,1280	0,9986
	10	0,0425	0,6382	0,9991
3	5	0,0390	1,1879	0,9988
	7,5	0,0270	1,0478	0,9995
	10	0,0419	0,6448	0,9997
4	5	0,0421	1,1438	0,9982
	7,5	0,0259	1,0686	0,9985
	10	0,0633	0,4893	0,9977

Hasil perhitungan Isoterm Langmuir didapatkan nilai regresi linear tertinggi R^2 sebesar 0,9997 dengan nilai q_m sebesar 0,0419 dan kapasitas adsorpsi linier sebesar 0,6448 pada tinggi unggun 10 cm dan laju alir sebesar 3 L/menit.

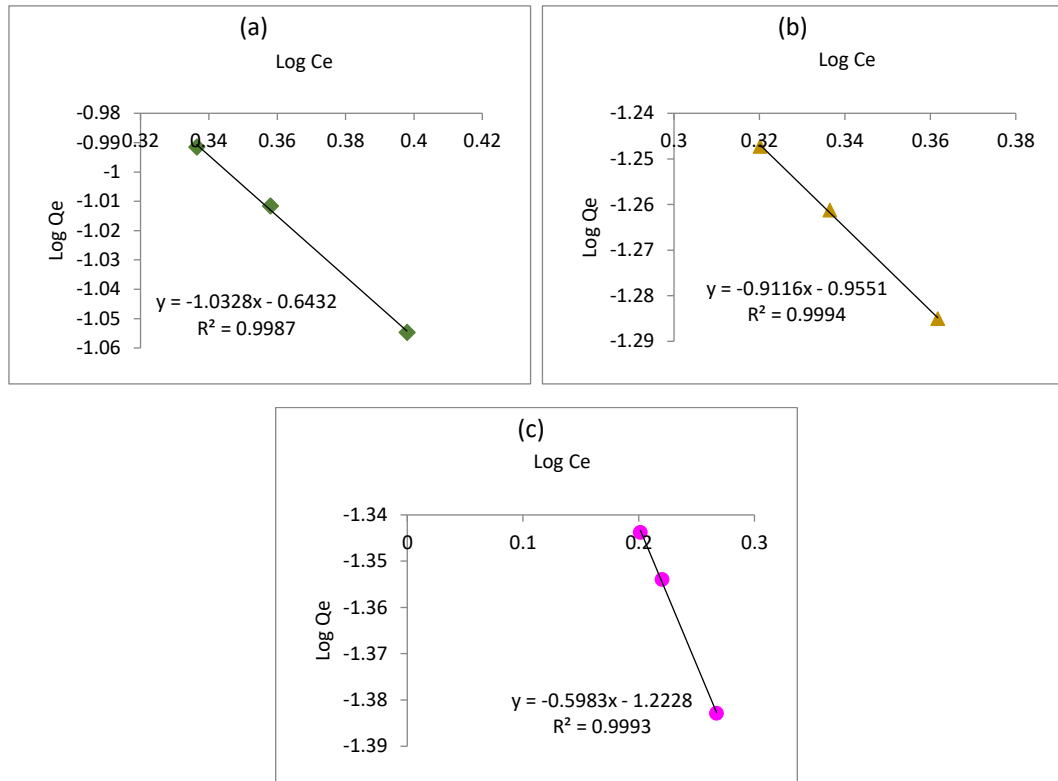
Isoterm freundlich mendeskripsikan terjadinya proses adsorpsi di beberapa layer dan ikatannya tidak kuat (multilayer). Grafik persamaan Isoterm Freundlich ditunjukkan pada Gambar 4.19; 4.20; 4.21.



Gambar 4. 19. Model isoterm freundlich laju alir 2 L/menit

variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

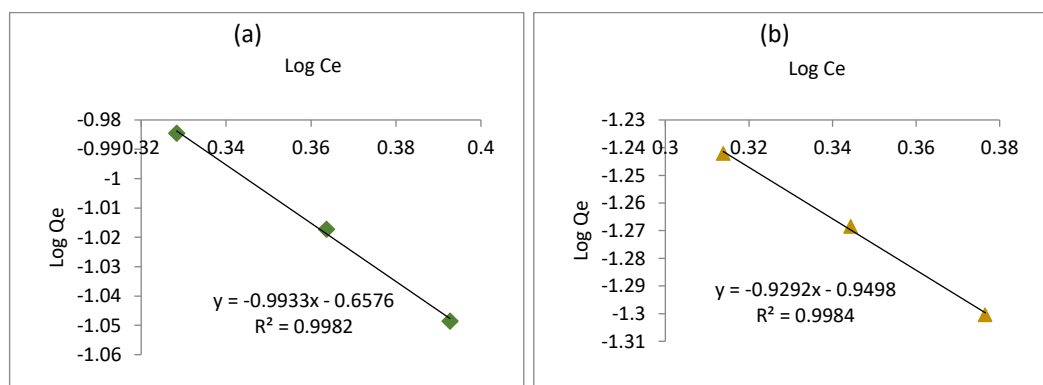
Gambar 4.19. merupakan grafik isoterm Freundlich pada laju alir 2 L/menit dengan hasil didapat persamaan $y = 0,5927x - 1,2243$ dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,9984 – 0,9985.

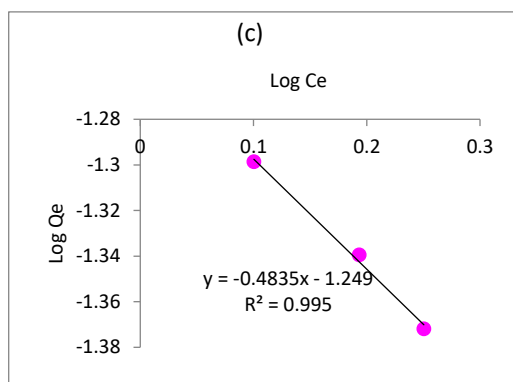


Gambar 4. 20. Model isoterm freundlich laju alir 3 L/menit

variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Gambar 4.20 merupakan grafik isoterm Freundlich pada laju alir 3 L/menit dengan hasil didapat persamaan $y = -0,5983x - 1,2228$ dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,9987 – 0,9994.





Gambar 4. 21. Model isoterm freundlich laju alir 4 L/menit

variasi (a) tinggi unggun 5 cm; (b) tinggi unggun 7,5 cm; (c) tinggi unggun 10 cm

Gambar 4.21 merupakan grafik isoterm Freundlich pada laju alir 4 L/menit dengan hasil didapat persamaan $y = -4835x - 1,249$ dengan nilai R^2 berada pada rentang nilai 0,995 – 0,9982.

Dari hasil kurva diatas dan pengolahan data didapatkan nilai K_F yang merupakan kapasitas adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen ($\mu\text{g/g}$). Tabel 4.7. menunjukkan parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Freundlich.

Tabel 4. 6. Parameter Isoterm Adsorpsi dengan model Isoterm Freundlich

Laju alir (L/min)	Tinggi Unggun (cm)	Parameter Adsorpsi		
		K_F (mg/g)	n	R^2
2	5	2,0356	0,9028	0,9985
	7,5	8,5526	1,0192	0,9985
	10	16,7610	1,6872	0,9984
3	5	4,1831	0,9682	0,9987
	7,5	9,0178	1,0970	0,9994
	10	16,7032	1,6714	0,9993
4	5	4,5730	1,0067	0,9982
	7,5	16,7032	1,0762	0,9984
	10	17,7419	2,0683	0,9950

Untuk persamaan menggunakan model Isoterm Freundlich didapatkan nilai R^2 mendekati 1 pada variasi sampel 3 L/menit dan tinggi unggun 7,5 cm, dengan nilai R^2 sebesar 0,9994. Nilai K_F didapatkan sebesar 9,0178 mg/g, sedangkan nilai n didapatkan sebesar 1,0970. Hasil terendah dengan regresi linear R^2 sebesar 0,995 pada variasi lajur alir 4 L/min dan tinggi unggun 10 cm dengan nilai K_F 17,7419 mg/g dan n sebesar 2,0683. Koefisien adsorpsi K_F dapat digunakan sebagai indikator umum kapasitas adsorpsi, sedangkan nilai eksponen $1/n$ memberikan gambaran tentang intensitas adsorpsi. Secara umum, nilai K_F yang tinggi berhubungan dengan kapasitas adsorpsi yang meningkat (Anita Zaharah & Sapar, 2020).

Dari kedua jenis model isoterm dapat dilihat bahwa hasil regresi linear R^2 pada Isoterm Langmuir paling tinggi. Sehingga dapat disimpulkan model isoterm yang cocok untuk proses adsorpsi dengan ampas tebu adalah pada model isoterm Langmuir yang berarti proses adsorpsi berlangsung monolayer dan homogen.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sylvia et al., 2023) yang mereduksi zat warna *methylene blue* menggunakan adsorben berbahan ampas teh kesetimbangan adsorpsi yang sesuai adalah isotherm Langmuir yang dibuktikan dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,998.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dalam menurunkan kadar amoniak yang terkandung pada limbah cair rumah sakit menggunakan kombinasi bioadsorben ampas tebu dan membrane nanofiltrasi dapat disimpulkan bahwa:

- 1). Karakteristik adsorben dari ampas tebu memenuhi standar Kualitas Arang Aktif (SNI) 06-3730-1995 berdasarkan kadar air yang terkandung sebesar 3,87% dan kadar abu yang terkandung sebesar 3,8%.
- 2). Adsorben dari ampas tebu dapat menurunkan kadar amoniak dengan efisiensi sebesar 72,67% pada variasi laju alir 4 L/menit dan tinggi unggun 10 cm dengan kadar amoniak sebesar 1,26 mg/L.
- 3). Proses kombinasi dengan membran nanofiltrasi mampu menurunkan kadar amoniak mencapai 98,41% pada variasi tekanan 35 Psi dengan tinggi unggun 10 cm dengan kadar amoniak sebesar 0,02% dari kadar awal sebesar 4,61%.
- 4). Model isoterm yang sesuai untuk proses adsorpsi menggunakan ampas tebu adalah model Isoterm Langmuir pada persamaan $y = 37,041x - 23,885$ dengan nilai regresi linier R^2 sebesar 0,9998.

5.2. Saran

Berdasarkan pada kesimpulan yang telah diambil dari hasil penelitian, maka terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan dalam upaya menurunkan kandungan amoniak dalam limbah cair.

- 1) Aktivasi ampas tebu menggunakan aktivator jenis basa agar dapat membandingkan aktivator yang paling efektif dalam pembuatan adsorben.
- 2) Mengkombinasikan adsorben dengan jenis membran yang lain untuk mendapatkan efisiensi tertinggi dalam menurunkan kandungan amoniak limbah cair rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adila, H. (2024). *Efektivitas Adsorben Ampas Tebu (Saccharum officinarum) Dan Penerapan Hidroponik Kangkung Untuk Meminimalisir Pencemaran Air Limbah Industri Gula.*
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28(February), 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- Andamari, D. (2022). Efektivitas Adsorben Arang Aktif dari Ampas Kopi untuk Mengurangi Kandungan Kadmium (Cd) dalam Media Air. *Thesis, Universitas Islam Indonesia.*
- Anita Zaharah, T., & Sapar, A. (2020). Kapasitas Adsorpsi Biomassa Paku Air (*Lemna minor* Linn) Teresterifikasi Oleh Asam Sitrat Terhadap Mangan (II). *Al-Kimia*, VIII(2), 177–188. <https://doi.org/10.24252/al-kimiav8i2.16144>
- Antonio Bolinches, A., Blanco-Gutiérrez, I., Zubelzu, S., Garrido, A., Hernández Díaz-Ambrona, C. G., Arce, A., Sánchez, R., Calatrava, J., & Manuel López Correa, J. (2021). Current state of reclaimed water reuse for irrigation in Spain. *The Contribution of Water REuse to a ResourCe-Efficient and SustainabLe Water ManageMent for IrrigatiOn (RECLAMO)*, July. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4882799>
- Baker, R. W. (2023). Membranes and Modules. In *Membrane Technology and Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781119686026.ch4>
- Bidari, M., Putri, M. A., & Nasir, S. (2022). Pengaruh karbon aktif terhadap fouling membran reverse osmosis pada pengolahan air terproduksi. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(3), 100–106. <https://doi.org/10.36706/jtk.v28i3.991>
- Dewi, W. T., Budiarsa Suyasa, I. W., & Rai, I. N. (2019). Pengaruh Penambahan Lumpur Aktif Pada Biofilter Anoksik-Oksik Dalam Menurunkan Kadar Amonia Air Limbah Rumah Sakit. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 13(1), 49. <https://doi.org/10.24843/ejes.2019.v13.i01.p06>
- Febrianto, D. (2023). *Pengolahan Air Lindi Menggunakan Adsorben Limbah Biji*

Salak dengan Parameter Mangan (Mn). 26–49.

- Fleming, J. G., Lin, S., & Hadley, R. (2019). *Studi Pengolahan Air Limbah Pencucian Jeans Dengan Metode Fisik* (Vol. 28, Issue 10).
- Frandica, D., Masrullita, M., Ulfa, R., Suryati, S., Sulhatun, S., & Nurmaliita, N. (2024). Adsorpsi Rhodamin B Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Dari Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(3), 423–432. <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i3.15141>
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33–42.
- Imaniar, A., Prasadi, O., & Fadlilah, I. (2022). Efektivitas Kayu Apu Dan Kangkung Air Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, Dan Amonia Pada Air Limbah Domestik. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 105–112. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v15i2.1425>
- Ismadji, S., Soetaredjo, F. E., & Santoso, S. P. (2021). *Adsorpsi Pada Fase Cair Kesetimbangan, Kinetika, Dan Termodinamika*. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Karmanto. (2017). Pengembangan Alat Konvertor Ammonium Dari Limbah Bagi Pengeloaan Limbah Cair Rumah Sakit Ramah Lingkungan. *Integrated Lab*, 05(01), 13–18.
- Kedang, Y. I. (2018). Review: Karakterisasi dan Modifikasi Membran Poliamida untuk Aplikasi Pemisahan Zat Warna. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 1(2), 28–30. <https://doi.org/10.32938/slk.v1i2.568>
- Kiswanto, K., Rahayu, L. N., & Wintah, W. (2019). Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 17, 72–82. <https://doi.org/10.54911/litbang.v17i0.109>
- Latifah. (2021). *Pemanfaatan kulit Kayu Menjadi karbon Aktif Untuk mengurangi Kandungan Mangan (Mn) Pada Air Lindi*.
- Luna, P., Hoerudin, Usmiati, S., & Sunarmani. (2020). Teknologi Pembuatan Adsorben Dari Limbah Ekstraksi Biosilika Sekam Padi. *Pasundan Food Technology Journal*, 7(3), 116–125. <https://doi.org/10.23969/pftj.v7i3.3001>
- Masyruroh, A., & Ramadhan, A. (2024). Penurunan Beban Pencemar Limbah

- Cair Rumah Sakit Menggunakan Rancang Moving Bed Biofilter Reactor (Mbbr) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Medis Di Provinsi Banten. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 8(1), 60–77. <https://doi.org/10.56945/jkpd.v8i1.299>
- Mustafa, Kurniawan, A., & Djalil, M. S. (2023). Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Cair Rumah Sakit Menggunakan Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, 10(1), 176–182.
- Natalia, A. E., Pratiwi, D. E., & Hasri. (2024). Sintesis Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) dan Aplikasinya Sebagai Penurun Konsentrasi Cod Limbah Cair Gula Synthesis of Activated Carbon from Bagasse and Its Application as a Reducing COD Levels of Sugar Liquid Waste. *Chemica*, 25, 20–31.
- Nayan, A., & Hafli, T. (2022). Analisa Stuktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.29103/mjmst.v6i1.8184>
- Notoatmodjo, S. (2018). Metodologi Penelitian Kesehatan. In *Rineka Cipta* (pp. 1–242).
- Novita, E., & Wahyuningsih, S. (2021). *Agrin_Model Adsorpsi_Iqo*. 25(1), 22–35.
- Nugroho, A. S. (2015). *Menapis Nitrat Dan Amonium Air Limbah*. *lim*, 1–103.
- Oktavia, S. (2018). Analisis Kualitas Badan Air Dan Kualitas Air Sumur Di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12. <https://pdfs.semanticscholar.org/105b/b836826836d6adcb9cdc47871138df30f20d.pdf>
- Pane, N. A., Dewi, R., Zulnazri, Z., Sulhatun, S., & Nurlaila, R. (2023). Pembuatan Glukosa Dari Ampas Tebu Dengan Proses Hidrolisis. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(5), 54. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i5.7955>
- Peng, F., Gao, Y., Zhu, X., Pang, Q., Wang, L., Xu, W., Yu, J., Gao, P., Huang, J., & Cui, Y. (2020). Removal of high-strength ammonia nitrogen in biofilters: Nitrifying bacterial community compositions and their effects on nitrogen transformation. *Water (Switzerland)*, 12(3), 1–16.

<https://doi.org/10.3390/w12030712>

- Polii, F. F. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Aktivitasi Terhadap Mutu Arang Aktif Dari Kayu Kelapa (Effects of Activation Temperature and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*.
<http://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/view/1672%0Ahttp://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/download/1672/2744>
- Pramaningsih, V., Wahyuni, M., & Saputra, M. A. W. (2020). Kandungan AMonia Pda IPAL Rumah Sakit Umum daerah Abdul Wahab Sjahranie, Samarinda. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 34–44.
- Prasetia, F., Bangun, A. P., Hasanuddin, M., & Mubarak, A. S. (2024). *Analisa penurunan kadar amonia dengan arang aktif ampas tebu pada limbah cair industri menggunakan aplikasi python*. 3, 97–102.
- Putri, Y., & Hasna Oktaviana, A. (2024). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah Industri Batik Menggunakan Adsorben dari Mahkota Buah Nanas Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye on Batik Industry Waste Using Pineapple Crown Adsorbent. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 21(1), 2460–8203.
- Rachmawati, L. A. (2020). *Pengelolaan Limbah Medis Padat Dan Limbah Cair Rumah Sakit Onkologi Surabaya*.
- Rahmilaila Desfitri, E., Yoga Arifanda, A., Yulianti, A., & Desmiarti, R. (2024). Studi Efektivitas Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Sebagai Adsorben Pengurangan Kadar Amonia Limbah Cair Tahu Effectivity Study of Palm Shell Activated Charcoal Utilization (*Elaeis guineensis*) as Adsorbent for Reducing Amm. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 21(1), 2460–8203.
- Reyra, A. S., Daud, S., & Yenti, S. R. (2017). *Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas Terhadap efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut*. Oktober, 27555.
- Riyanto, & Hayati, L. (2017). Treatment of ammonia in liquid hospital waste using activated carbon. *AIP Conference Proceedings*, 1911.
<https://doi.org/10.1063/1.5016023>

- Rofikoh, V., Zaman, B., & Samadikun, B. P. (2024). Penyisihan BOD, Minyak Dan Lemak Dalam Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Pisang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 59–66. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.1.59-66>
- Ruhmawati, T., Budiayah, T., & Setiawan, R. (2020). Efisiensi Penyisihan Kadar Amoniak Limbah Cair Rumah Sakit dengan Proses Adsorpsi Karbon Aktif Bijih Plastik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 82–88. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.82-88>
- Saheed, I. O., Azeez, S. O., & Suah, F. B. M. (2022). Imidazolium based ionic liquids modified polysaccharides for adsorption and solid-phase extraction applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 298.
- Sari, S. A. P., Lesta, L., Syarmila, S., Hanum, Y., Mawaddah, Z., Jurian, J., & Nurhadini, N. (2022). Extra A Review of Nanofiltration Membrane Technology To Treat Water Problems. *Stannum : Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 4(2), 74–80. <https://doi.org/10.33019/jstk.v4i2.2936>
- Sarifudin, K. (2022). Penggunaan Karbon Aktif Kayu Kesambi (*Schleicera oleosa* MERR) dalam Pengolahan Air Sadah. *Haumeni Journal of Education*, 2(1), 197–207. <https://doi.org/10.35508/haumeni.v2i1.7555>
- Sedlak, R. (2018). Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: Principles and Practice, Second Edition. *Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater*. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.llu.lv/books/mono/10.1201/9780203743546/phosphorus-nitrogen-removal-municipal-wastewater-richardi-sedlak>
- Septiani, M., Darajat, Z., Pasinda, I., & Kurniawan, D. (2021). Kajian Perbandingan Efektivitas Adsorben Ampas Kopi Dan Fly Ash Pada Penurunan Konsentrasi Amonia (NH_3) Dalam Limbah Cair Urea. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 7(2), 52–59. <https://doi.org/10.32487/jst.v7i2.1171>
- Setiati, R., Wahyuningrum, D., Siregar, S., & Marhaendrajana, T. (2020). Optimasi Pemisahan Lignin Ampas Tebu Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 257–264.
- Shi, J., Huang, W., Han, H., & Xu, C. (2020). Review on treatment technology of salt wastewater in coal chemical industry of China. *Desalination*,

- 493(August), 114640. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114640>
- Siew, Y. W., Zedda, K. L., & Velizarov, S. (2020). Nanofiltration of simulated acid mine drainage: Effect of pH and membrane charge. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010400>
- Suryani, F., Madagaskar, M., & Moulita, R. A. N. (2022). Analisis Pengaruh Waktu Dan Tekanan Terhadap Demineralisasi Air Buangan Ac Dengan Metode Reverse Osmosis. *Jurnal Redoks*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7924>
- Suwerda, B. (2019). *Studi Penanganan Limbah padat infeksius laboratorium Rumah Sakit Umum Derah Makasar*. 1–23.
- Sylvia, N., Dewi, R., Fitriani, Hakim, L., Abidin, N. Z., Ramadhan, R., & Rahayu, N. A. I. (2023). Adsorption of Methylene Blue on Fix Bed Column Using Adsorbent from Tea Waste. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 18(2), 251–259. <https://doi.org/10.18280/ijдне.180202>
- Tangahu, B. V., Vyatrawan, L., Nurmallasari, R., & Pirade, F. (2017). Bioremediation of Oil Contaminated Soil by Biostimulation Method Using NPK Fertilizer. *OALib*, 04(11), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103791>
- Tarigan, B., & Ukur, R. (2019). Kemampuan *Acinetobacter baumannii* dan *Nitrobacter winogradskyi* dalam Menurunkan Kandungan Fosfat dan Amonia Limbah Cair Rumah Sakit. *E-Journal Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Teke, S., Dewi, W. O. N. T. D., Jali, W., & Yumnawati, Y. (2021). Pembuatan dan Karakteristik Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (*Arenga pinnata*) Sebagai Media Filtrasi Desalinasi Air Payau. *Jurnal Berkala Fisika*, 24(1), 10–21.
- Ulayya, K. (2024). *Studi Kinetika Adsorpsi Rhodamin-B Oleh Karbon Aktif Kulit Durian dan sabut Pinang*.
- Utami, A. R., & Mahmudah, L. (2018). Penurunan Kadar Fosfat Dalam Limbah Rumah Sakit Dengan Menggunakan Reaktor Fitobiofilm. 3(1). <https://doi.org/10.36048/jtpii.v3i1.4185>
- Wahyuningsih, S., & Gitarama, A. M. (2020). Amonia Pada Sistem Budidaya Ikan. 2507(February), 1–9.
- Wenten, I. G. (2019). Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air Dan Limbah

- Industri Studi Kasus: Pemanfaatan Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Air Tambak. *Sustainability* (Switzerland), 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Winata, B. Y., Erliyanti, N. K., Yogaswara, R. R., & Saputro, E. A. (2021). Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Proses Aktivasi Kimia pada Kapasitas 20.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 0–5. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.52338>
- Xing, X., Alharbi, N. S., Ren, X., & Chen, C. (2022). *A comprehensive review on emerging natural and tailored materials for chromium-contaminated water treatment and environmental remediation*. 10.
- Yeganeh, G., Ramavandi, B., Esmaeili, H., & Tamjidi, S. (2019). Dataset of the aqueous solution and petrochemical wastewater treatment containing ammonia using low cost and efficient bio-adsorbents. *Data in Brief*, 26, 104308. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104308>
- Zaya Aisyahlika, S., Lutfi Firdaus, M., & Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP Universitas Bengkulu, P. (2018). *Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Reactive Blue-198*. 2, 148–155.
- Adila, H. (2024). *Efektivitas Adsorben Ampas Tebu (Saccharum officinarum) Dan Penerapan Hidroponik Kangkung Untuk Meminimalisir Pencemaran Air Limbah Industri Gula*.
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28(February), 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- Andamari, D. (2022). Efektivitas Adsorben Arang Aktif dari Ampas Kopi untuk Mengurangi Kandungan Kadmium (Cd) dalam Media Air. *Thesis., Universitas Islam Indonesia*.
- Anita Zaharah, T., & Sapar, A. (2020). Kapasitas Adsorpsi Biomassa Paku Air

- (*Lemna minor* Linn) Teresterifikasi Oleh Asam Sitrat Terhadap Mangan (II). *Al-Kimia*, VIII(2), 177–188. <https://doi.org/10.24252/al-kimiav8i2.16144>
- Antonio Bolinches, A., Blanco-Gutiérrez, I., Zubelzu, S., Garrido, A., Hernández Díaz-Ambrona, C. G., Arce, A., Sánchez, R., Calatrava, J., & Manuel López Correa, J. (2021). Current state of reclaimed water reuse for irrigation in Spain. *The Contribution of Water REuse to a ResourCe-Efficient and SustainabLe WAtEr ManageMent for IrrigatiOn (RECLAMO)*, July. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4882799>
- Baker, R. W. (2023). Membranes and Modules. In *Membrane Technology and Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781119686026.ch4>
- Bidari, M., Putri, M. A., & Nasir, S. (2022). Pengaruh karbon aktif terhadap fouling membran reverse osmosis pada pengolahan air terproduksi. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(3), 100–106. <https://doi.org/10.36706/jtk.v28i3.991>
- Dewi, W. T., Budiarsa Suyasa, I. W., & Rai, I. N. (2019). Pengaruh Penambahan Lumpur Aktif Pada Biofilter Anoksik-Oksik Dalam Menurunkan Kadar Amonia Air Limbah Rumah Sakit. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 13(1), 49. <https://doi.org/10.24843/ejes.2019.v13.i01.p06>
- Febrianto, D. (2023). *Pengolahan Air Lindi Menggunakan Adsorben Limbah Biji Salak dengan Parameter Mangan (Mn)*. 26–49.
- Fleming, J. G., Lin, S., & Hadley, R. (2019). *Studi Pengolahan Air Limbah Pencucian Jeans Dengan Metode Fisik* (Vol. 28, Issue 10).
- Frandica, D., Masrullita, M., Ulfa, R., Suryati, S., Sulhatun, S., & Nurmawati, N. (2024). Adsorpsi Rhodamin B Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Dari Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(3), 423–432. <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i3.15141>
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33–42.
- Imaniar, A., Prasadi, O., & Fadlilah, I. (2022). Efektivitas Kayu Apu Dan Kangkung Air Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, Dan Amonia Pada Air Limbah Domestik. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 105–112.

<https://doi.org/10.29238/sanitasi.v15i2.1425>

- Ismadji, S., Soetaredjo, F. E., & Santoso, S. P. (2021). *Adsorpsi Pada Fase Cair Kesetimbangan, Kinetika, Dan Termodinamika*. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Karmanto. (2017). Pengembangan Alat Konverter Ammonium Dari Limbah Bagi Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit Ramah Lingkungan. *Integrated Lab*, 05(01), 13–18.
- Kedang, Y. I. (2018). Review: Karakterisasi dan Modifikasi Membran Poliamida untuk Aplikasi Pemisahan Zat Warna. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 1(2), 28–30. <https://doi.org/10.32938/slk.v1i2.568>
- Kiswanto, K., Rahayu, L. N., & Wintah, W. (2019). Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 17, 72–82. <https://doi.org/10.54911/litbang.v17i0.109>
- Latifah. (2021). *Pemanfaatan kulit Kayu Menjadi karbon Aktif Untuk mengurangi Kandungan Mangan (Mn) Pada Air Lindi*.
- Luna, P., Hoerudin, Usmiati, S., & Sunarmani. (2020). Teknologi Pembuatan Adsorben Dari Limbah Ekstraksi Biosilika Sekam Padi. *Pasundan Food Technology Journal*, 7(3), 116–125. <https://doi.org/10.23969/pftj.v7i3.3001>
- Masyruroh, A., & Ramadhan, A. (2024). Penurunan Beban Pencemar Limbah Cair Rumah Sakit Menggunakan Rancang Moving Bed Biofilter Reactor (Mbbr) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Medis Di Provinsi Banten. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 8(1), 60–77. <https://doi.org/10.56945/jkpd.v8i1.299>
- Mustafa, Kurniawan, A., & Djalil, M. S. (2023). Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Cair Rumah Sakit Menggunakan Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, 10(1), 176–182.
- Natalia, A. E., Pratiwi, D. E., & Hasri. (2024). Sintesis Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) dan Aplikasinya Sebagai Penurun Konsentrasi Cod Limbah Cair Gula Synthesis of Activated Carbon from Bagasse and Its Application as a Reducing COD Levels of Sugar Liquid Waste. *Chemica*, 25, 20–31.
- Nayan, A., & Hafli, T. (2022). Analisa Stuktur Mikro Material Komposit Polimer

- Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.29103/mjmst.v6i1.8184>
- Notoatmodjo, S. (2018). Metodologi Penelitian Kesehatan. In *Rineka Cipta* (pp. 1–242).
- Novita, E., & Wahyuningsih, S. (2021). *Agrin_ModelAdsoprasi_Iqo*. 25(1), 22–35.
- Nugroho, A. S. (2015). *Menapis Nitrat Dan Amonium Air Limbah. lim*, 1–103.
- Oktavia, S. (2018). Analisis Kualitas Badan Air Dan Kualitas Air Sumur Di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12. <https://pdfs.semanticscholar.org/105b/b836826836d6adcb9cdc47871138df30f20d.pdf>
- Pane, N. A., Dewi, R., Zulnazri, Z., Sulhatun, S., & Nurlaila, R. (2023). Pembuatan Glukosa Dari Ampas Tebu Dengan Proses Hidrolisis. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(5), 54. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i5.7955>
- Peng, F., Gao, Y., Zhu, X., Pang, Q., Wang, L., Xu, W., Yu, J., Gao, P., Huang, J., & Cui, Y. (2020). Removal of high-strength ammonia nitrogen in biofilters: Nitrifying bacterial community compositions and their effects on nitrogen transformation. *Water (Switzerland)*, 12(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w12030712>
- Polii, F. F. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Aktivitasi Terhadap Mutu Arang Aktif Dari Kayu Kelapa (Effects of Activation Temperature and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. <http://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/view/1672%0Ahttp://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/download/1672/2744>
- Pramaningsih, V., Wahyuni, M., & Saputra, M. A. W. (2020). Kandungan AMonia Pda IPAL Rumah Sakit Umum daerah Abdul Wahab Sjahranie, Samarinda. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 34–44.
- Prasetya, F., Bangun, A. P., Hasanuddin, M., & Mubarak, A. S. (2024). *Analisa penurunan kadar amonia dengan arang aktif ampas tebu pada limbah cair industri menggunakan aplikasi python*. 3, 97–102.

- Putri, Y., & Hasna Oktaviana, A. (2024). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah Industri Batik Menggunakan Adsorben dari Mahkota Buah Nanas Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye on Batik Industry Waste Using Pineapple Crown Adsorbent. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 21(1), 2460–8203.
- Rachmawati, L. A. (2020). *Pengelolaan Limbah Medis Padat Dan Limbah Cair Rumah Sakit Onkologi Surabaya*.
- Rahmilaila Desfitri, E., Yoga Arifanda, A., Yulianti, A., & Desmiarti, R. (2024). Studi Efektivitas Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Sebagai Adsorben Pengurangan Kadar Amonia Limbah Cair Tahu Effectivity Study of Palm Shell Activated Charcoal Utilization (*Elaeis guineensis*) as Adsorbent for Reducing Amm. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 21(1), 2460–8203.
- Reyra, A. S., Daud, S., & Yenti, S. R. (2017). *Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas Terhadap efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut*. Oktober, 27555.
- Riyanto, & Hayati, L. (2017). Treatment of ammonia in liquid hospital waste using activated carbon. *AIP Conference Proceedings*, 1911. <https://doi.org/10.1063/1.5016023>
- Rofikoh, V., Zaman, B., & Samadikun, B. P. (2024). Penyisihan BOD, Minyak Dan Lemak Dalam Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Pisang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 59–66. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.1.59-66>
- Ruhmawati, T., Budiasyah, T., & Setiawan, R. (2020). Efisiensi Penyisihan Kadar Amoniak Limbah Cair Rumah Sakit dengan Proses Adsorpsi Karbon Aktif Biji Plastik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 82–88. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.82-88>
- Saheed, I. O., Azeez, S. O., & Suah, F. B. M. (2022). Imidazolium based ionic liquids modified polysaccharides for adsorption and solid-phase extraction applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 298.
- Sari, S. A. P., Lesta, L., Syarmila, S., Hanum, Y., Mawaddah, Z., Jurian, J., & Nurhadini, N. (2022). Extra A Review of Nanofiltration Membrane

- Technology To Treat Water Problems. *Stannum : Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 4(2), 74–80. <https://doi.org/10.33019/jstk.v4i2.2936>
- Sarifudin, K. (2022). Penggunaan Karbon Aktif Kayu Kesambi (*Schleicera oleosa* MERR) dalam Pengolahan Air Sadah. *Haumeni Journal of Education*, 2(1), 197–207. <https://doi.org/10.35508/haumeni.v2i1.7555>
- Sedlak, R. (2018). Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: Principles and Practice, Second Edition. *Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater*. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.llu.lv/books/mono/10.1201/9780203743546/phosphorus-nitrogen-removal-municipal-wastewater-richardi-sedlak>
- Septiani, M., Darajat, Z., Pasinda, I., & Kurniawan, D. (2021). Kajian Perbandingan Efektivitas Adsorben Ampas Kopi Dan Fly Ash Pada Penurunan Konsentrasi Amonia (NH_3) Dalam Limbah Cair Urea. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 7(2), 52–59. <https://doi.org/10.32487/jst.v7i2.1171>
- Setiati, R., Wahyuningrum, D., Siregar, S., & Marhaendrajana, T. (2020). Optimasi Pemisahan Lignin Ampas Tebu Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 257–264.
- Shi, J., Huang, W., Han, H., & Xu, C. (2020). Review on treatment technology of salt wastewater in coal chemical industry of China. *Desalination*, 493(August), 114640. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114640>
- Siew, Y. W., Zedda, K. L., & Velizarov, S. (2020). Nanofiltration of simulated acid mine drainage: Effect of pH and membrane charge. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010400>
- Suryani, F., Madagaskar, M., & Moulita, R. A. N. (2022). Analisis Pengaruh Waktu Dan Tekanan Terhadap Demineralisasi Air Buangan Ac Dengan Metode Reverse Osmosis. *Jurnal Redoks*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7924>
- Suwerda, B. (2019). *Studi Penanganan Limbah padat infeksius laboratorium Rumah Sakit Umum Derah Makasar*. 1–23.
- Sylvia, N., Dewi, R., Fitriani, Hakim, L., Abidin, N. Z., Ramadhan, R., & Rahayu, N. A. I. (2023). Adsorption of Methylene Blue on Fix Bed Column Using Adsorbent from Tea Waste. *International Journal of Design and Nature and*

- Ecodynamics*, 18(2), 251–259. <https://doi.org/10.18280/ijдне.180202>
- Tangahu, B. V., Vyatrawan, L., Nurmallasari, R., & Pirade, F. (2017). Bioremediation of Oil Contaminated Soil by Biostimulation Method Using NPK Fertilizer. *OALib*, 04(11), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103791>
- Tarigan, B., & Ukur, R. (2019). Kemampuan *Acinetobacter baumannii* dan *Nitrobacter winogradskyi* dalam Menurunkan Kandungan Fosfat dan Amonia Limbah Cair Rumah Sakit. *E-Journal Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Teke, S., Dewi, W. O. N. T. D., Jali, W., & Yumnawati, Y. (2021). Pembuatan dan Karakteristik Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (*Arenga pinnata*) Sebagai Media Filtrasi Desalinasi Air Payau. *Jurnal Berkala Fisika*, 24(1), 10–21.
- Ulayya, K. (2024). *Studi Kinetika Adsorpsi Rhodamin-B Oleh Karbon Aktif Kulit Durian dan sabut Pinang*.
- Utami, A. R., & Mahmudah, L. (2018). Penurunan Kadar Fosfat Dalam Limbah Rumah Sakit Dengan Menggunakan Reaktor Fitobiofilm. 3(1). <https://doi.org/10.36048/jtpii.v31.4185>
- Wahyuningsih, S., & Gitarama, A. M. (2020). Amonia Pada Sistem Budidaya Ikan. 2507(February), 1–9.
- Wenten, I. G. (2019). Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air Dan Limbah Industri Studi Kasus: Pemanfaatan Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Air Tambak. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciu rbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484 _SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Winata, B. Y., Erliyanti, N. K., Yogaswara, R. R., & Saputro, E. A. (2021). Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Proses Aktivasi Kimia pada Kapasitas 20.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 0–5. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.52338>
- Xing, X., Alharbi, N. S., Ren, X., & Chen, C. (2022). *A comprehensive review on emerging natural and tailored materials for chromium-contaminated water treatment and environmental remediation*. 10.

- Yeganeh, G., Ramavandi, B., Esmaeili, H., & Tamjidi, S. (2019). Dataset of the aqueous solution and petrochemical wastewater treatment containing ammonia using low cost and efficient bio-adsorbents. *Data in Brief*, 26, 104308. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104308>
- Zaya Aisyahlika, S., Lutfi Firdaus, M., & Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP Universitas Bengkulu, P. (2018). *Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Reactive Blue-198*. 2, 148–155.

LAMPIRAN A

1. ALAT



Kolom Adsorpsi



Water Filter Parts (Quick-Insert
Membrane Shell)



Timbangan Analitik



Flow meter



Pompa



Pressure Gauge



Sambungan Pipa



Oven



Furnace



Bak Penampung



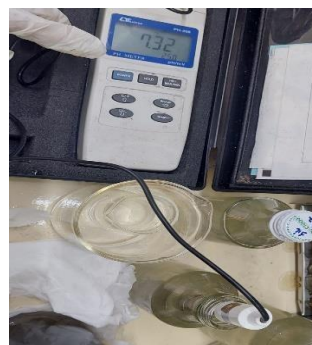
Desikator



Mortar



Ammonia Meter Milwaukee Mi 405



pH Meter



Pipet Ukur



Ayakan 100 mesh



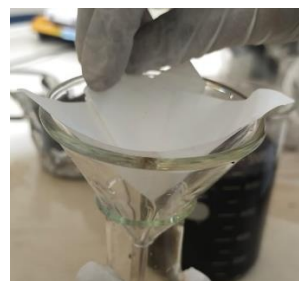
Beker Gelas



Erlenmeyer



Corong Kaca



Kertas Saring



Labu Ukur



Cawan Porselin

2. BAHAN PENELITIAN



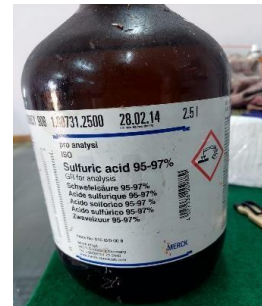
Air Limbah Rumah Sakit



Ampas Tebu



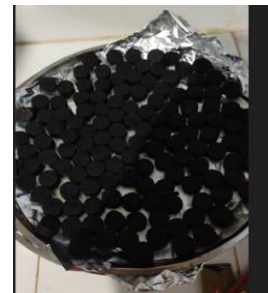
Pati Gadung



Asam Sulfat (H_2SO_4)

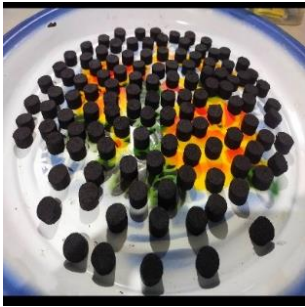


Aquadest



Adsorben

3. PROSES PENELITIAN

 Karbonisasi	 Menghaluskan Karbon
 Penyaringan/ Mengayak	 Aktivasi
 Pencucian/ Penetralan	 Pengeringan
 Pencetakan	 Adsorben Ampas Tebu



Memompa Air Limbah



Proses Adsorpsi



Proses Filtrasi Membran



Permeat Membran



Sampel Analisa



Analisa pH



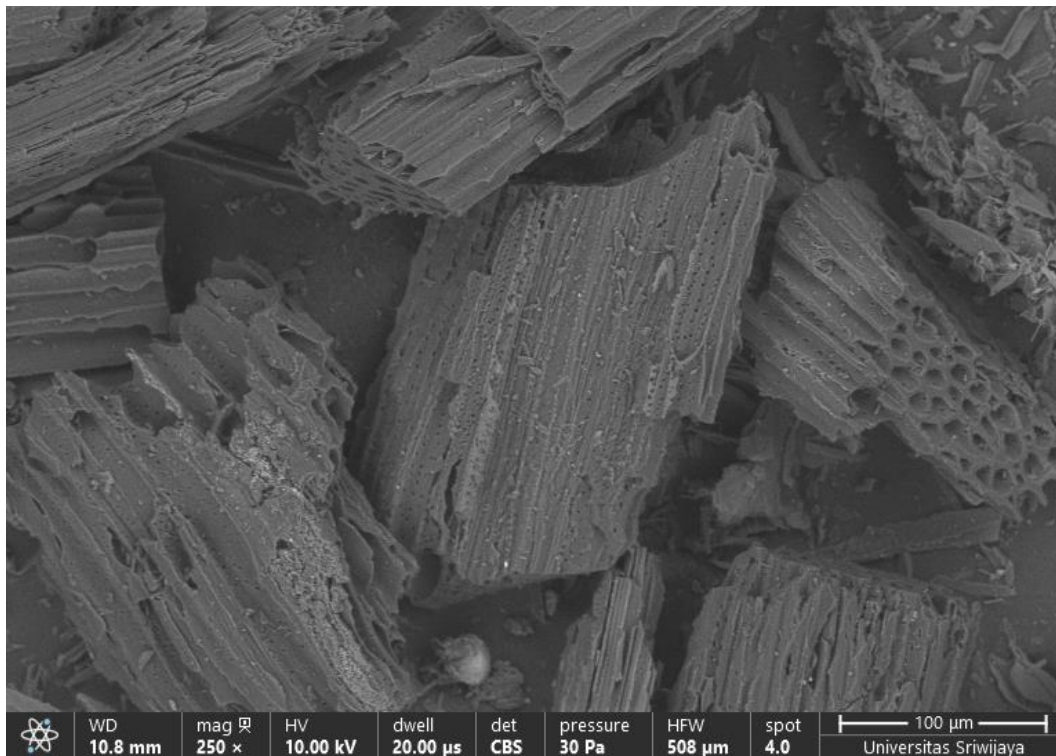
Analisa Kadar Amonia



Analisa Kadar Abu dan Kadar Air

LAMPIRAN B

A1 (SEBELUM AKTIVASI)



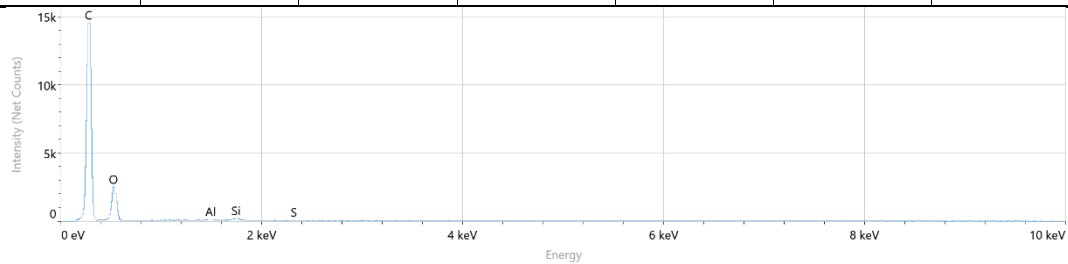
Total Number of Counts: 118 320

Average Count Rate: 995 cps

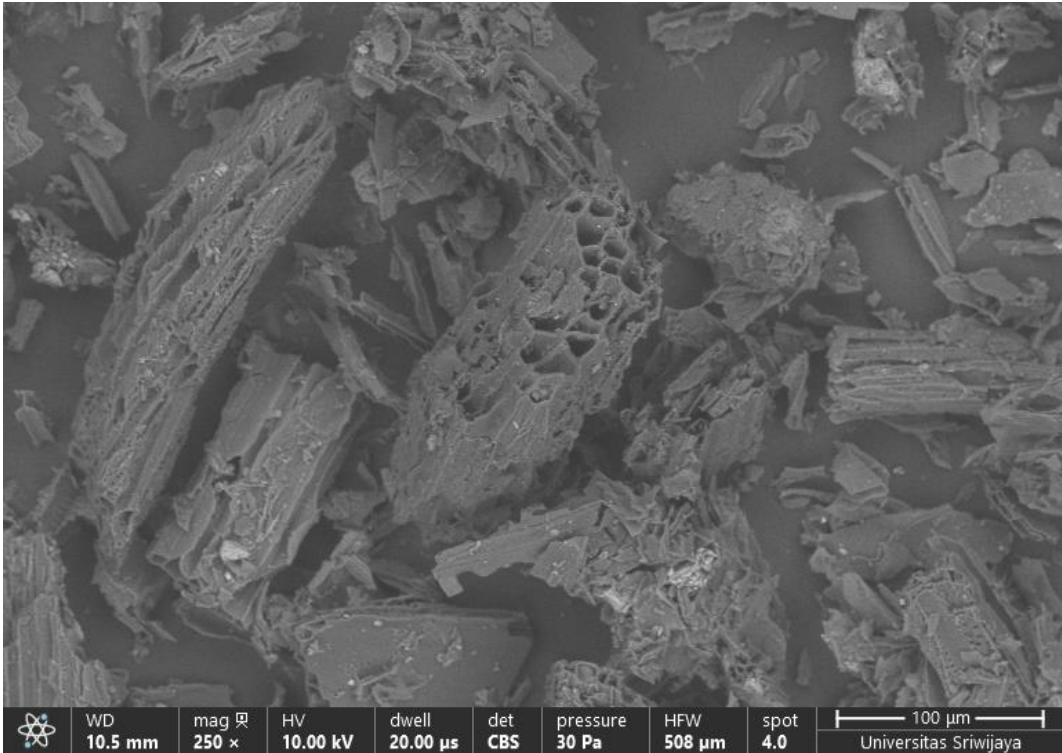
Acceleration Voltage: 10 kV

Total Acquisition Time: 119 seconds

Element	Line	At. %	Wt. %	Net Counts	At. % Error	Wt. % Error
C	K	70.3	63.3	78 335	0.4	0.3
O	K	28.4	34.0	13 551	0.3	0.4
Al	K	0.3	0.7	588	0.0	0.1
Si	K	0.8	1.6	1 307	0.0	0.1
S	K	0.2	0.4	251	0.0	0.1



A2 (SETELAH AKTIVASI)



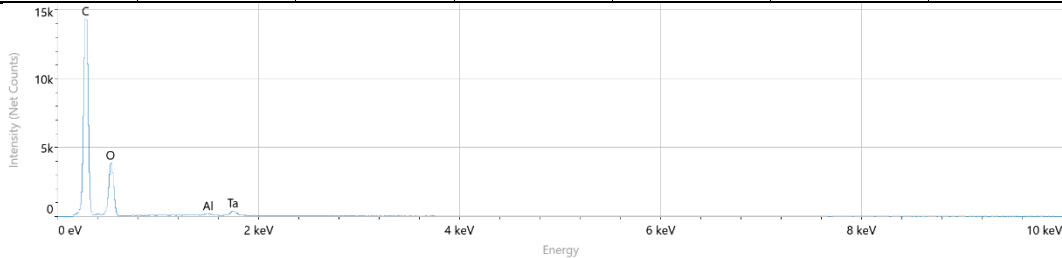
Total Number of Counts: 129 497

Average Count Rate: 1 061 cps

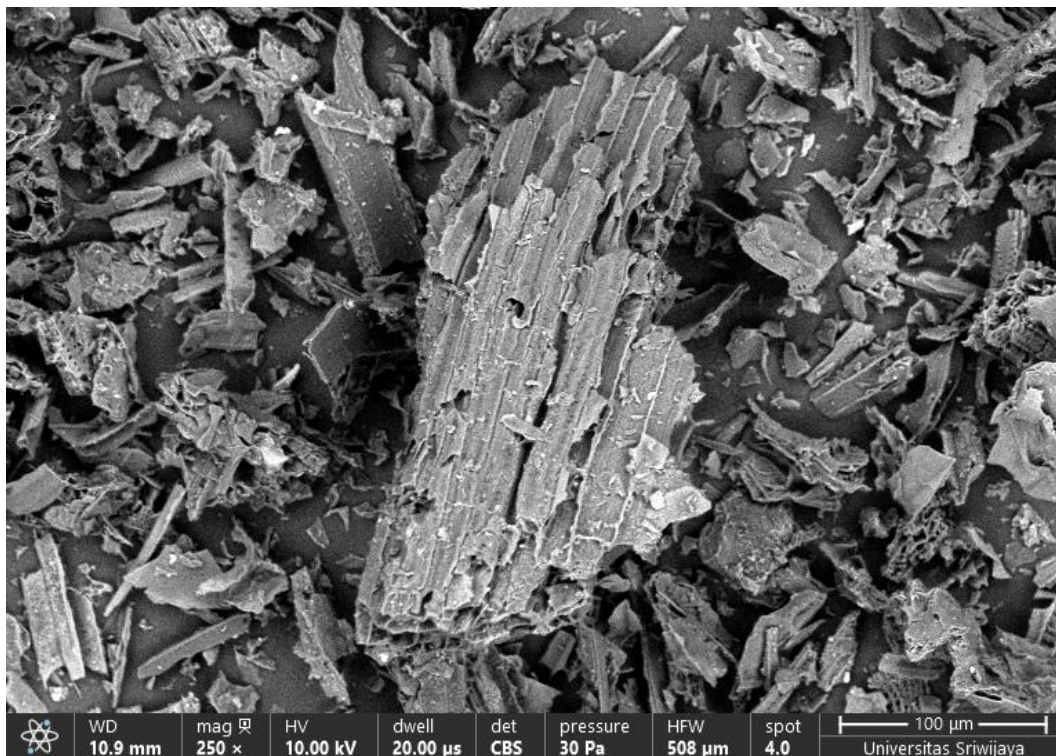
Acceleration Voltage: 10 kV

Total Acquisition Time: 122 seconds

Element	Line	At. %	Wt. %	Net Counts	At. % Error	Wt. % Error
C	K	63.8	53.1	77 672	0.3	0.3
O	K	35.0	38.7	21 177	0.3	0.3
Al	K	0.6	1.0	1 132	0.0	0.1
Ta	M	0.6	7.2	3 281	0.0	0.3



A3 (SETELAH ADSORPSI)



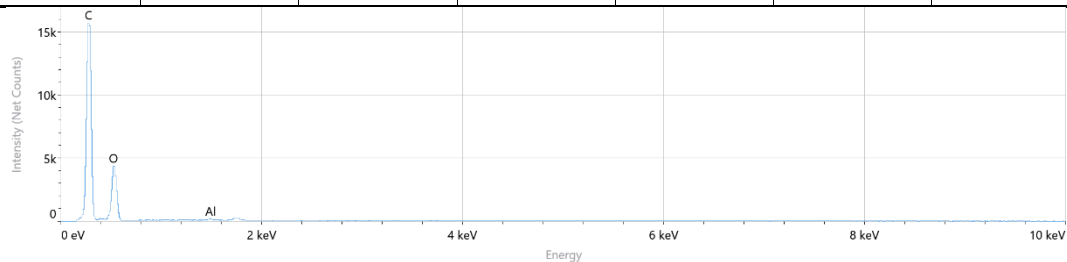
Total Number of Counts: 138 098

Average Count Rate: 1 222 cps

Acceleration Voltage: 10 kV

Total Acquisition Time: 113 seconds

Element	Line	At. %	Wt. %	Net Counts	At. % Error	Wt. % Error
C	K	62.6	53.2	84 788	0.3	0.3
O	K	36.6	41.5	23 994	0.3	0.4
Al	K	0.4	0.7	787	0.0	0.0
Ca	K	0.1	0.4	133	0.0	0.1
Ta	M	0.3	4.2	1 983	0.0	0.3



LAMPIRAN C

PERHITUNGAN ISOTERM ADSORPSI

1. Perhitungan Tinggi Unggun 5 cm (Konversi massa adsorben = 29,39 gr)

Kapasitas Adsorpsi Pada Kondisi Operasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

$$\text{Rumus Kapasitas Adsorpsi: } Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{W} \times V$$

Keterangan :

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal amonia (mg/L) (Konsentrasi keluaran spons filter)

C_e = konsentrasi akhir amonia (mg/L)

W = massa adsorben (g)

V = volume larutan dalam kolom adsorben

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e) dapat dilihat di tabel

Laju Alir (L/Menit)	Waktu (min)	Massa Adsorben (gr)	Konsentrasi awal (C_0) (mg/L)	Konsentrasi akhir (C_e) (mg/L)	volume larutan (L)	$Q_e = (C_0 - C_e/W) \times V$	Konversi ke satuan mg/gr
2	30	29.39	4.61	2.58	0,563	0.048	0.085
	60	29.39	4.61	2.40	0,563	0.052	0.092
	90	29.39	4.61	2.26	0,563	0.055	0.098
3	30	29.39	4.61	2.50	0,563	0.050	0.088
	60	29.39	4.61	2.28	0,563	0.055	0.097
	90	29.39	4.61	2.17	0,563	0.057	0.102
4	30	29.39	4.61	2.47	0,563	0.050	0.089
	60	29.39	4.61	2.31	0,563	0.054	0.096
	90	29.39	4.61	2.13	0,563	0.058	0.104

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

Persamaan Isoterm *Langmuir* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_l Q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m}$$

Keterangan:

C_e = konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L)

Q_e = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

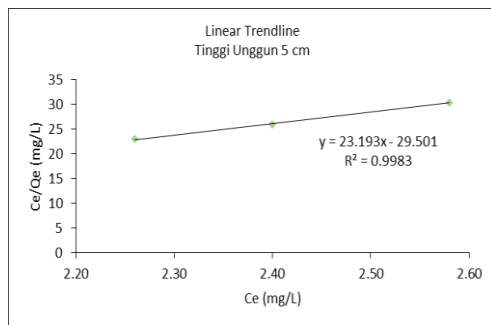
K_l = Kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg)

Q_m = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

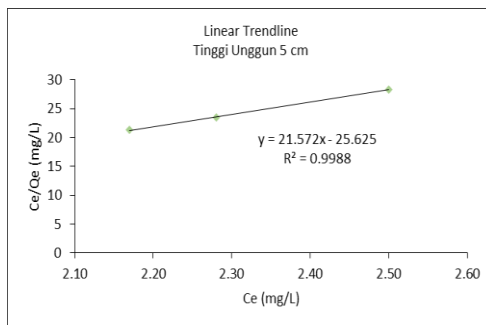
Tabel 2. Perhitungan Isoterm Langmuir

Laju Alir (L/menit)	Waktu (Min)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe	Isoterm Langmuir Ce/Qe
2	30	4.61	2.58	2.58	30.4135
	60	4.61	2.40	2.40	25.9873
	90	4.61	2.26	2.26	23.0135
3	30	4.61	2.50	2.50	28.3531
	60	4.61	2.28	2.28	23.4165
	90	4.61	2.17	2.17	21.2820
4	30	4.61	2.47	2.47	27.6201
	60	4.61	2.31	2.31	24.0340
	90	4.61	2.13	2.13	20.5528

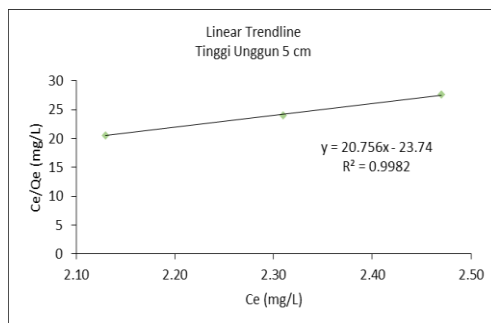
Grafik Persamaan Isoterm Langmuir:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 4 L/menit

Tabel 3 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Langmuir

Variabel	Pers. Garis Lurus	R ²	R	1/Q _m	Q _m	1/KI.Q _m	KI
Massa = 29,39 gr, V=2 L/menit	y = 23,193x - 29,501	0.9983	0.9991	29.501	0.0339	23.193	1.2720
Massa = 29,39 gr, V=3 L/menit	y = 21,572x - 25,625	0.9988	0.9994	25.625	0.0390	21.572	1.1879
Massa = 29,39 gr, V=4 L/menit	y = 20,756x - 23,74	0.9982	0.9991	23.74	0.0421	20.756	1.1438

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

Persamaan Isoterm *Freundlich* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\log Q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

Keterangan :

C_e = konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L)

Q_e = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

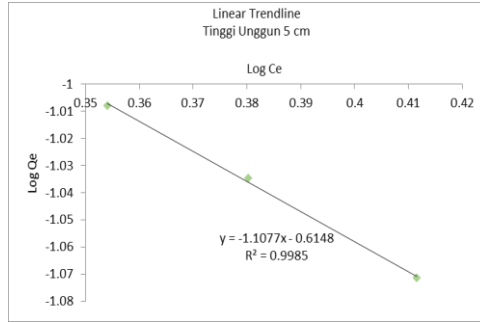
1/n = konstanta indikatif dari intensitas adsorpsi

K_f = konstanta *Freundlich* (mg/g)(L/mg)^{1/n}

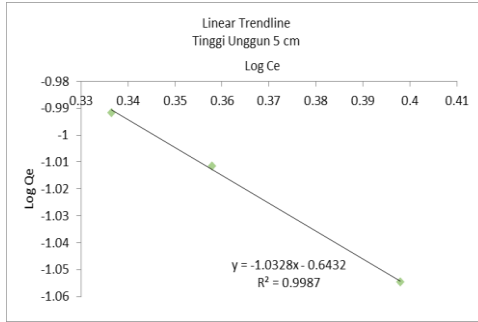
Tabel 4. Perhitungan Isoterm *Freundlich*

Laju Alir (L/Menit)	Waktu (Min)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e	Isoterm <i>Freundlich</i>	
					Log Q _e	Log C _e
2	30	4.61	2.58	2.58	-1.0714	0.4116
	60	4.61	2.40	2.40	-1.0346	0.3802
	90	4.61	2.26	2.26	-1.0079	0.3541
3	30	4.61	2.50	2.50	-1.0547	0.3979
	60	4.61	2.28	2.28	-1.0116	0.3579
	90	4.61	2.17	2.17	-0.9916	0.3365
4	30	4.61	2.47	2.47	-1.0485	0.3927
	60	4.61	2.31	2.31	-1.0172	0.3636
	90	4.61	2.13	2.13	-0.9845	0.3284

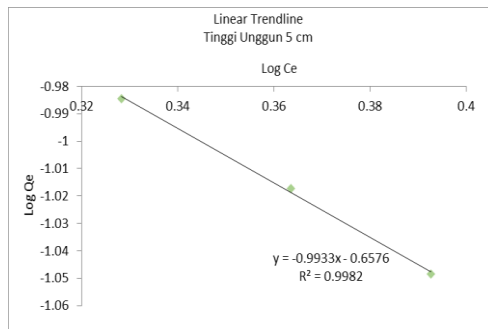
Grafik Persamaan Isoterm Freundlich:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 3 L/menit

Tabel 5. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Freundlich

Variabel	Pers. Garis Lurus	R^2	R	1/n	n	Log Kf	Kf
Massa = 29,39 gr, V=2 L/menit	$y = -0,0377x + 0,1475$	0,6441	0,8026	0,0377	26,5252	0,1475	1,4044
Massa = 29,39 gr, V=3 L/menit	$y = -0,0433x + 0,1428$	0,9603	0,9799	0,0433	23,0947	0,1428	1,3893
Massa = 29,39 gr, V=4 L/menit	$y = -0,061x + 0,1309$	0,9749	0,9874	0,0610	16,3934	0,1309	1,3518

2. Perhitungan Tinggi Unggun 7,5 cm (Konversi massa adsorben = 44,53 gr)

Kapasitas Adsorpsi Pada Kondisi Operasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e) dapat dilihat di tabel

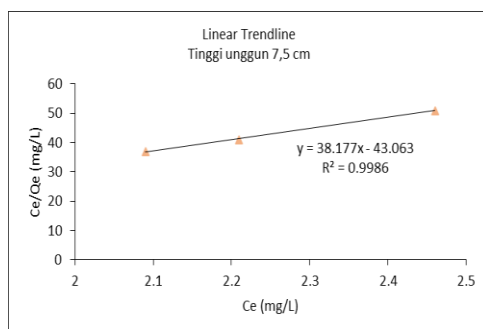
Laju Alir (L/Menit)	Waktu (min)	Massa Adsorben (gram)	Konsentrasi awal (C_0) (mg/L)	Konsentrasi akhir (C_e) (mg/L)	volume larutan (L)	$Q_e = (C_0 - C_e)/W \times V$	Konversi ke satuan mg/gr
2	30	44.53	4.61	2.46	0.55	0.048	0.048
	60	44.53	4.61	2.21	0.55	0.054	0.054
	90	44.53	4.61	2.09	0.55	0.057	0.057
3	30	44.53	4.61	2.30	0.55	0.052	0.052
	60	44.53	4.61	2.17	0.55	0.055	0.055
	90	44.53	4.61	2.09	0.55	0.057	0.057
4	30	44.53	4.61	2.38	0.55	0.050	0.050
	60	44.53	4.61	2.21	0.55	0.054	0.054
	90	44.53	4.61	2.06	0.55	0.057	0.057

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

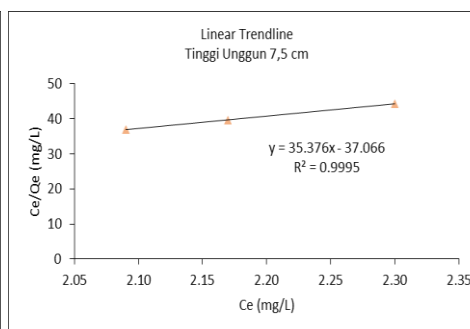
Tabel 7. Perhitungan Isoterm Langmuir

Laju Alir (L/menit)	Waktu (Min)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e	Isoterm Langmuir C_e/Q_e
2	30	4.61	0,21	0,988	2,490
	60	4.61	0,31	0,966	2,289
	90	4.61	0,09	1,015	2,059
3	30	4.61	0,25	0,979	2,349
	60	4.61	0,39	0,948	2,290
	90	4.61	0,07	1,020	2,050
4	30	4.61	0,27	0,975	2,442
	60	4.61	0,18	0,995	2,221
	90	4.61	0,06	1,022	2,016

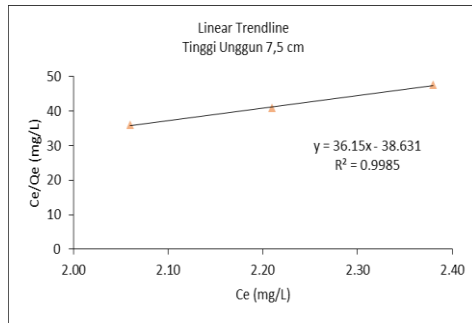
Grafik Persamaan Isoterm Langmuir:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 4 L/menit

Tabel 8 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Langmuir

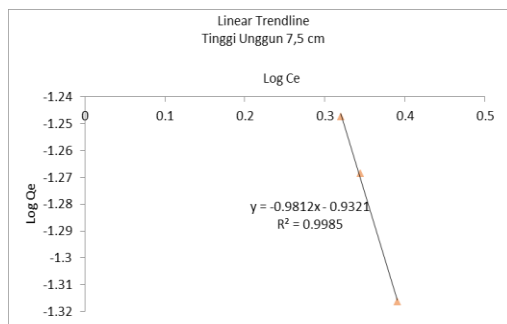
Variabel	Pers. Garis Lurus	R ²	R	1/Q _m	Q _m	1/KI.Q _m	KI
Massa = 44,53 gr, V=2 L/menit	$y = 38,177x - 43,063$	0.9986	0.9993	43.063	0.0232	38.177	1.1280
Massa = 44,53 gr, V=3 L/menit	$y = 35,376x - 37,066$	0.9995	0.9997	37.066	0.0270	35.376	1.0478
Massa = 44,53 gr, V=4 L/menit	$y = 36,15x - 38,631$	0.9985	0.9992	38.631	0.0259	36.15	1.0686

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

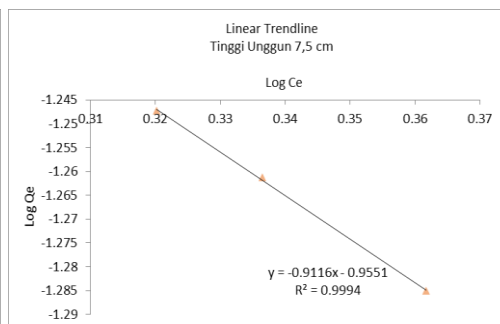
Tabel 9. Perhitungan Isoterm Freundlich

Laju Alir (L/Menit)	Waktu (Min)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e	Isoterm Freundlich	
					Log C _e	Log Q _e
2	30	4.61	2.46	0.048	0.3909	-1.3162
	60	4.61	2.21	0.054	0.3444	-1.2684
	90	4.61	2.09	0.057	0.3201	-1.2473
3	30	4.61	2.30	0.052	0.3617	-1.2850
	60	4.61	2.17	0.055	0.3365	-1.2613
	90	4.61	2.09	0.057	0.3201	-1.2473
4	30	4.61	2.38	0.050	0.3766	-1.3003
	60	4.61	2.21	0.054	0.3444	-1.2684
	90	4.61	2.06	0.057	0.3139	-1.2421

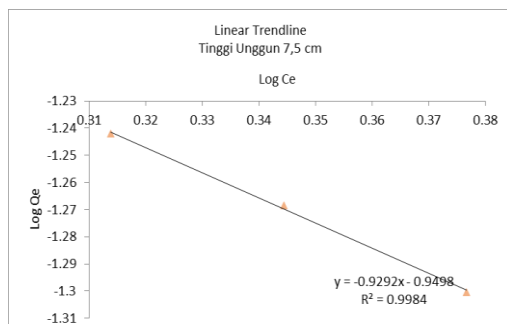
Grafik Persamaan Isoterm Freundlich:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 4 L/menit

Tabel 10. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Freundlich

Variabel	Pers. Garis Lurus	R^2	R	1/n	n	Log Kf	Kf
Massa = 44,53 gr, V=2 L/menit	$y = -0,9812x - 0,9321$	0.9985	0.9992	0.9812	1.0192	0.9321	8.5526
Massa = 44,53 gr, V=3 L/menit	$y = -0,9116x - 0,9551$	0.9994	0.9997	0.9116	1.0970	0.9551	9.0178
Massa = 44,53 gr, V=4 L/menit	$y = -0,9292x - 0,9498$	0.9984	0.9992	0.9292	1.0762	0.9498	8.9084

Perhitungan Tinggi Unggun 10 cm (Konversi massa adsorben = 66,64 gr)

Tabel 11. Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Qe) dapat dilihat di tabel

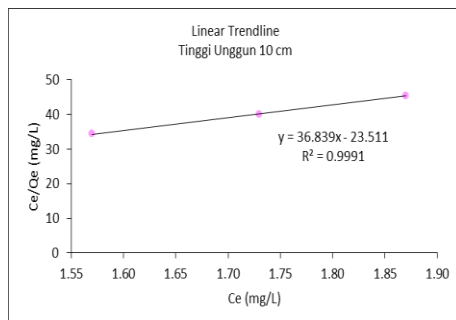
Laju Alir (L/Menit)	Waktu (min)	Massa Adsorben (gr)	Konsentrasi awal (Co) (mg/L)	Konsentrasi akhir (Ce) (mg/L)	volume larutan (L)	$Q_e = (C_0 - C_e)/W \times V$	Konversi ke satuan mg/gr
2	30	66.64	4.61	1.87	0.5	0.021	0.041
	60	66.64	4.61	1.73	0.5	0.022	0.043
	90	66.64	4.61	1.57	0.5	0.023	0.046
3	30	66.64	4.61	1.85	0.5	0.021	0.041
	60	66.64	4.61	1.66	0.5	0.022	0.044
	90	66.64	4.61	1.59	0.5	0.023	0.045
4	30	66.64	4.61	1.78	0.5	0.021	0.042
	60	66.64	4.61	1.56	0.5	0.023	0.046
	90	66.64	4.61	1.26	0.5	0.025	0.050

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

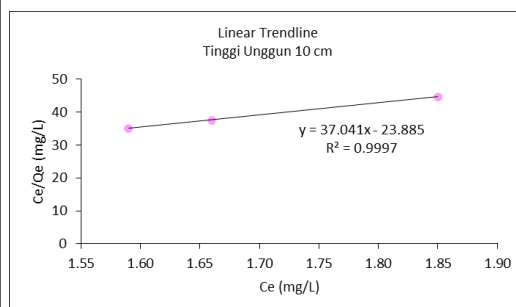
Tabel 12. Perhitungan Isoterm Langmuir

Laju Alir (L/menit)	Waktu (Menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe	Isoterm Langmuir Ce/Qe
2	30	4.61	1.87	0.021	45.4806
	60	4.61	1.73	0.022	40.0303
	90	4.61	1.57	0.023	34.4161
3	30	4.61	1.85	0.021	44.6681
	60	4.61	1.66	0.022	37.4991
	90	4.61	1.59	0.023	35.0853
4	30	4.61	1.78	0.021	41.9149
	60	4.61	1.56	0.023	34.0847
	90	4.61	1.26	0.025	25.0646

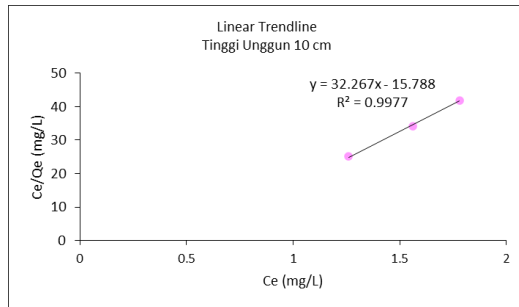
Grafik Persamaan Isoterm Langmuir:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 4 L/menit

Tabel 13 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Langmuir

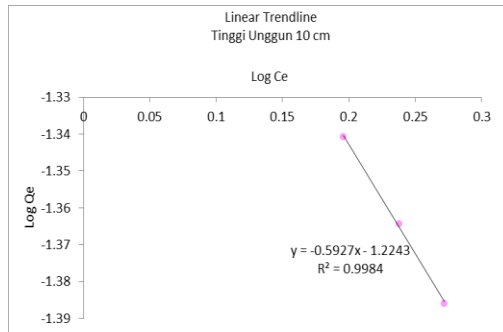
Variabel	Pers. Garis Lurus	R2	R	1/Qm	Qm	1/KI.Qm	KI
Massa = 66,64 gr, V=2 L/menit	$y = 36,839x - 23,511$	0.9991	0.9995	23.511	0.0425	36.839	0.6382
Massa = 66,64 gr, V=3 L/menit	$y = 37,041x - 23,885$	0.9997	0.9998	23.885	0.0419	37.041	0.6448
Massa = 66,64 gr, V=4 L/menit	$y = 32,267x - 15,788$	0.9977	0.9988	15.788	0.0633	32.267	0.4893

Perhitungan Isoterm Pada Kondisi Variasi Laju Alir 2,3,4 L/menit

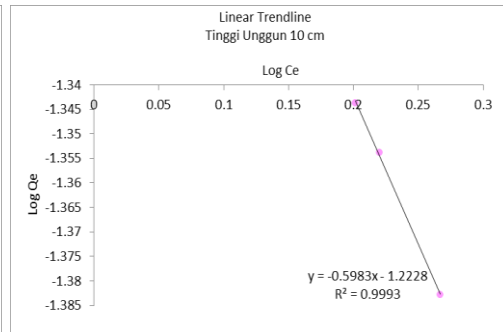
Tabel 14. Perhitungan Isoterm Freundlich

Laju Alir (L/Menit)	Waktu (Menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe	Isoterm Freundlich	
					Log Ce	Log Qe
2	30 menit	4,61	1.87	0.041	0.272	-1.386
	60 menit	4,61	1.73	0.043	0.238	-1.364
	90 menit	4,61	1.57	0.046	0.196	-1.341
3	30 menit	4,61	1.85	0.041	0.267	-1.383
	60 menit	4,61	1.66	0.044	0.220	-1.354
	90 menit	4,61	1.59	0.045	0.201	-1.344
4	30 menit	4,61	1.78	0.042	0.250	-1.372
	60 menit	4,61	1.56	0.046	0.193	-1.339
	90 menit	4,61	1.26	0.050	0.100	-1.299

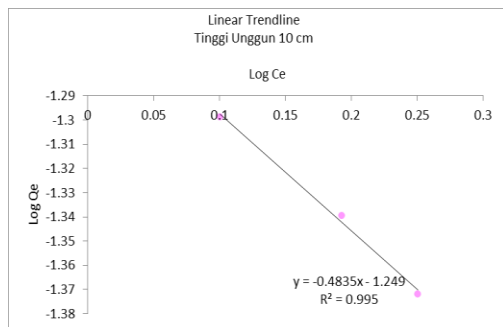
Grafik Persamaan Isoterm Freundlich:



(a) Laju Alir 2 L/menit



(b) Laju Alir 3 L/menit



(c) Laju Alir 4 L/menit

Tabel 15. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Freundlich

Variabel	Pers. Garis Lurus	R2	R	1/n	n	Log Kf	Kf
Massa = 66,64 gr, V=2 L/menit	$y = -0.5927x - 1.2243$	0.9984	0.9992	0.5927	1.6872	1.2243	16.7610
Massa = 66,64 gr, V=3 L/menit	$y = -0.5983x - 1.2228$	0.9993	0.9996	0.5983	1.6714	1.2228	16.7032
Massa = 66,64 gr, V=4 L/menit	$y = -0.4835x - 1.249$	0.9950	0.9975	0.4835	2.0683	1.2490	17.7419

LAMPIRAN D
HASIL PEMERIKSAAN AIR LIMBAH



PEMERINTAH KABUPATEN OGAN ILIR
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
LABORATORIUM LINGKUNGAN
Jalan Raya Lintas Timur KM.35 Indralaya 30662 Telp./Fax.: 0711 – 581709
INDRALAYA - SUMATERA SELATAN

HASIL PEMERIKSAAN AIR LIMBAH

No. Lab : 05-04/V/2024
Nama Pemilik : Laily Noor Fitri Lestari
Instansi Pengirim : Mahasiswa
Jumlah Sampel : 55 sampel
Tanggal Diterima : 8 Mei 2024

No	Nama Sampel	Hasil Uji	
		pH	Amoniak (mg/L)
	Limbah cair IPAL Rumah Sakit	9,08	4,61

No	Nama Sampel	Hasil Uji	
		pH Adsorben)	pH Membran
1	2 L/min – 5 cm – 30 min	7,93	7,50
2	2 L/min – 5 cm – 60 min	7,87	7,49
3	2 L/min – 5 cm – 90 min	7,65	7,27
4	2 L/min – 7,5 cm – 30 min	7,69	7,52
5	2 L/min – 7,5 cm – 60 min	7,54	7,50
6	2 L/min – 7,5 cm – 90 min	7,51	7,49
7	2 L/min – 10 cm – 30 min	7,71	7,32
8	2 L/min – 10 cm – 60 min	7,47	7,24
9	2 L/min – 10 cm – 90 min	7,32	7,05
10	3 L/min – 5 cm – 30 min	7,61	7,60
11	3 L/min – 5 cm – 60 min	7,60	7,49
12	3 L/min – 5 cm – 90 min	7,54	7,35
13	3 L/min – 7,5 cm – 30 min	7,47	7,39
14	3 L/min – 7,5 cm – 60 min	7,38	7,38
15	3 L/min – 7,5 cm – 90 min	7,33	7,28

16	3 L/min – 10 cm – 30 min	7,63	7,22
17	3 L/min – 10 cm – 60 min	7,50	7,11
18	3 L/min – 10 cm – 90 min	7,23	6,99
19	4 L/min – 5 cm – 30 min	7,24	7,28
20	4 L/min – 5 cm – 60 min	7,22	6,99
21	4 L/min – 5 cm – 90 min	7,22	6,64
22	4 L/min – 7,5 cm – 30 min	7,38	7,11
23	4 L/min – 7,5 cm – 60 min	7,33	7,29
24	4 L/min – 7,5 cm – 90 min	7,27	7,19
25	4 L/min – 10 cm – 30 min	7,49	7,22
26	4 L/min – 10 cm – 60 min	7,37	7,00
27	4 L/min – 10 cm – 90 min	7,32	6,93

No	Nama Sampel	Hasil Uji	
		Kadar Amoniak Adsorben (mg/L)	Kadar Amoniak Membran (mg/Liter)
1	2 L/min – 5 cm – 30 min	2,58	0,48
2	2 L/min – 5 cm – 60 min	2,40	0,25
3	2 L/min – 5 cm – 90 min	2,26	0,09
4	2 L/min – 7,5 cm – 30 min	2,46	0,21
5	2 L/min – 7,5 cm – 60 min	2,21	0,31
6	2 L/min – 7,5 cm – 90 min	2,09	0,09
7	2 L/min – 10 cm – 30 min	1,87	0,25
8	2 L/min – 10 cm – 60 min	1,73	0,21
9	2 L/min – 10 cm – 90 min	1,57	0,08
10	3 L/min – 5 cm – 30 min	2,50	0,36
11	3 L/min – 5 cm – 60 min	2,28	0,21
12	3 L/min – 5 cm – 90 min	2,17	0,09
13	3 L/min – 7,5 cm – 30 min	2,30	0,25
14	3 L/min – 7,5 cm – 60 min	2,17	0,39
15	3 L/min – 7,5 cm – 90 min	2,09	0,07
16	3 L/min – 10 cm – 30 min	1,85	0,39
17	3 L/min – 10 cm – 60 min	1,66	0,24
18	3 L/min – 10 cm – 90 min	1,59	0,07

19	4 L/min – 5 cm – 30 min	2,47	0,47
20	4 L/min – 5 cm – 60 min	2,31	0,33
21	4 L/min – 5 cm – 90 min	2,13	0,14
22	4 L/min – 7,5 cm – 30 min	2,38	0,27
23	4 L/min – 7,5 cm – 60 min	2,21	0,18
24	4 L/min – 7,5 cm – 90 min	2,06	0,06
25	4 L/min – 10 cm – 30 min	1,78	0,41
26	4 L/min – 10 cm – 60 min	1,56	0,37
27	4 L/min – 10 cm – 90 min	1,26	0,02

Mengetahui
Kepala Bidang PPKLH&LB3
Laboratorium Lingkungan Dinas
Lingkungan Hidup Kabupaten
Ogan Ilir,



Mira Rausalia, S.Si., M.M
Pembina/IV.a
NIP. 19761016 200501 2004