

**EFEKTIVITAS ARANG BIJI SALAK TERAKTIVASI DAN
TIDAK TERAKTIVASI SEBAGAI ADSORBEN
DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH
RUMAH PEMOTONGAN HEWAN (RPH)**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

**FITRI ANGGRANI
NIM. 220702038
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2026 M/1448 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS ARANG BIJI SALAK TERAKTIVASI DAN TIDAK TERAKTIVASI SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH PEMOTONGAN HEWAN (RPH)

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:

FITRI ANGGRIANI

NIM. 220702038

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 7 Juli 2026

Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Arief Rahman, M.T.
NIP. 198903102019031012

Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh


Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc.
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS ARANG BIJI SALAK TERAKTIVASI DAN
TIDAK TERAKTIVASI SEBAGAI ADSORBEN
DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH
RUMAH PEMOTONGAN HEWAN (RPH)**

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal : Selasa, 21 Juli 2026
6 Safar 1448 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,

Sekretaris,

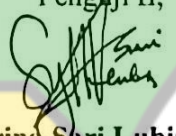

Arief Rahman, M.T.
NIP. 198903102019031012


Ir. Lisa Ginavatri, S.T., M.T.

Penguji I,

Penguji II,

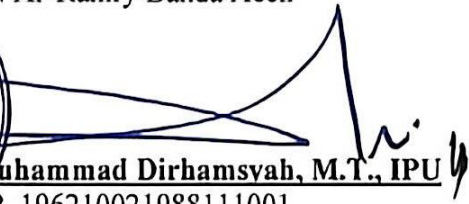

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIP. 198302022015031002


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIP. 198004252014032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh




Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitri Anggriani
NIM : 220702038
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Tugas Akhir : Efektivitas Arang Biji Salak Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya serta telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 21 Juli 2026



Fitri Anggriani

ABSTRAK

Nama : Fitri Anggriani
NIM : 220702038
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Arang Biji Salak Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)
Tanggal Sidang : 21 Juli 2026
Jumlah Halaman : 65
Pembimbing I : Arief Rahman, M.T.
Pembimbing II : Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T.
Kata Kunci : Air limbah RPH, arang biji salak, adsorpsi, adsorben, COD, TSS, pH.

Limbah cair Rumah Pemotongan Hewan (RPH) memiliki beban pencemar organik yang tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik arang biji salak, serta membandingkan efektivitas arang teraktivasi dan tidak teraktivasi dalam menyisihkan *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan menjaga kestabilan pH. Upaya pengolahan ini mengaplikasikan teknologi adsorpsi, di mana adsorben diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl) 3 N, kemudian diujikan dengan metode *batch* (*jar test*) pada kecepatan 50 rpm selama 60 menit dengan variasi dosis 0; 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5 gram di dalam 500 mL air limbah. Hasil pengujian karakteristik menunjukkan rendemen karbonisasi sebesar 40 % dan setelah aktivasi 88,71 %. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar air arang teraktivasi (2,71 %) telah memenuhi standar maksimal 4,4 %, sedangkan arang tidak teraktivasi belum memenuhi syarat (5,10 %) dan kadar abu kedua jenis arang tersebut masih belum memenuhi standar mutu. Arang tidak teraktivasi lebih optimal menurunkan COD dengan efisiensi tertinggi 61,99 % pada dosis 0,5 gram, sedangkan arang teraktivasi tampil lebih dominan menyisihkan TSS dengan efisiensi 92,31 % pada dosis 0,5 gram, dengan keduanya mampu menjaga kestabilan nilai pH pada rentang 6–9. Pemanfaatan arang biji salak terbukti efektif, sehingga pemilihan varian adsorben dapat disesuaikan dengan target prioritas penyisihan pencemar air limbah.

ABSTRACT

Name : Fitri Anggriani
Student ID : 220702038
Study Program : Environmental Engineering
Title : Effectiveness of Activated and Non-Activated Salacca Seed Charcoal as Adsorbents in Slaughterhouse Wastewater Treatment
Defense Date : 21 July 2026
Number of Pages : 65
Advisor I : Arief Rahman, M.T.
Advisor II : Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T.
Keywords : Abattoir wastewater, salacca seed charcoal, adsorption, adsorbent, COD, TSS, pH.

Abattoir wastewater contains a high organic pollutant load, thereby posing a potential risk of environmental pollution. This study aims to determine the characteristics of salak seed charcoal and to compare the effectiveness of activated and non-activated charcoal in removing Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), and maintaining pH stability. This treatment effort applied adsorption technology, in which the adsorbent was activated using 3 N hydrochloric acid (HCl), and subsequently tested using a batch method (jar test) at a stirring speed of 50 rpm for 60 minutes with dose variations of 0, 0.5, 1, 1.5, 2, and 2.5 grams in 500 mL of wastewater. The characteristic test results indicated a carbonization yield of 40% and a post-activation yield of 88.71%. Based on SNI 06-3730-1995, the moisture content of the activated charcoal (2.71%) met the maximum standard of 4.4%, whereas the non-activated charcoal failed to meet the requirement (5.10%), and the ash content of both charcoal types did not meet the quality standard. The non-activated charcoal was more optimal in reducing COD, achieving a maximum efficiency of 61.99% at a dose of 0.5 grams, whereas the activated charcoal was more dominant in removing TSS with an efficiency of 92.31% at a dose of 0.5 grams. Both adsorbents were capable of maintaining pH stability within the range of 6–9. The utilization of salak seed charcoal proved to be effective, indicating that the selection of the adsorbent variant can be tailored to the priority target of wastewater pollutant removal.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penulis senantiasa diberikan kesehatan, kekuatan, serta kesabaran yang tiada henti dalam menyelesaikan karya ini. Selawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad saw. pemimpin revolusioner yang telah berjuang membawa umatnya dari zaman jahiliah ke zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Berkat karunia Allah Swt. penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Efektivitas Arang Biji Salak Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)". Penyusunan karya ini tidak akan terwujud tanpa iringan doa serta dukungan dari orang tua terkasih, Bapak Ismail Budiman dan Ibu Irma. Terima kasih atas cinta, kepercayaan dan kasih sayang yang tidak pernah pudar dalam mengiringi setiap langkah dan keputusan penulis. Segala peluh dan pengorbanan yang telah diberikan sebagai figur orang tua terbaik, niscaya mendapatkan balasan berupa keberkahan hidup di dunia serta surga terbaik di akhirat kelak. Penulis juga menyadari bahwa kelancaran proses penulisan Tugas Akhir ini berkat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Arief Rahman, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan masukan, arahan dan bimbingan selama penulisan Tugas Akhir.
5. Ibu Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang banyak memberikan masukan, arahan dan bimbingan selama penulisan Tugas Akhir.

6. Bapak Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik selama masa perkuliahan di Program Studi Teknik Lingkungan.
7. Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc., selaku Dosen Penguji I pada pelaksanaan Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.
8. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si., selaku Dosen Penguji II pada pelaksanaan Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.
9. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh atas segala arahan dan bimbingannya.
10. Ibu Firda Elvisa, S.E., selaku Staf Administrasi Program Studi Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam hal administrasi.
11. Ibu Nurul Huda, S.Pd., selaku Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan.
12. Saudari tersayang, Rauzatul Jannah dan Zahratul Nadia terima kasih atas segala doa, bantuan, dukungan dan canda tawa yang senantiasa menjadi penghibur serta pendorong semangat penulis.
13. Teman seperjuangan di laboratorium, Mauditya, Alfin dan Fabyan, atas segala bantuan dan kerja sama selama proses eksperimen berlangsung.
14. Teman seperjuangan Teknik Lingkungan Angkatan 2022, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
15. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah Swt. melimpahkan keberkahan atas bantuan semua pihak. Penulis menyadari adanya kekurangan dalam Tugas Akhir ini karena keterbatasan ilmu serta posisi penulis yang masih dalam tahap pembelajaran, sehingga dengan kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritik konstruktif dari semua pihak.

Banda Aceh, 15 Juli 2026

Penulis,

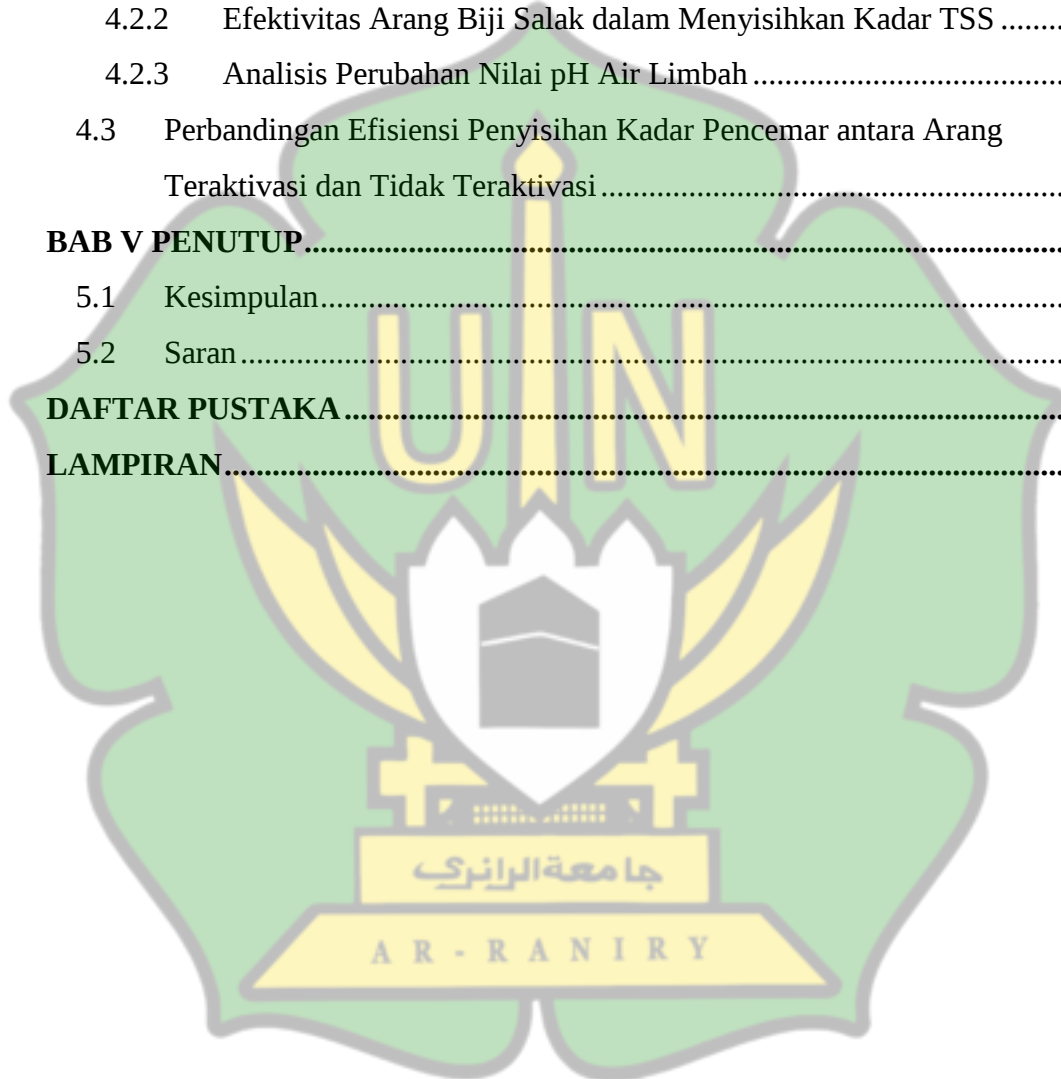
Fitri Anggriani

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)	5
2.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)	6
2.2.1 Karakteristik Fisik.....	6
2.2.2 Karakteristik Kimia.....	7
2.2.3 Karakteristik Biologi.....	8
2.3 Baku Mutu Air Limbah	9
2.4 Adsorpsi.....	10
2.4.1 Mekanisme Adsorpsi.....	10
2.4.2 Metode Evaluasi Adsorpsi	11
2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	11

2.4.4	Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi	12
2.5	Adsorben	13
2.6	Salak (<i>Salacca zalacca</i>).....	14
2.7	Arang Biji Salak	15
2.7.1	Proses Aktivasi.....	16
2.7.2	Karakteristik Arang Aktif	16
2.8	Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.1.1	Lokasi	19
3.1.2	Waktu Penelitian	19
3.2	Alat dan Bahan	21
3.2.1	Alat.....	21
3.2.2	Bahan.....	22
3.3	Tahapan Umum Penelitian	23
3.4	Teknik Pengambilan Sampel.....	24
3.5	Tahapan Eksperimen	25
3.6	Uji Pendahuluan	26
3.7	Preparasi Bahan dan Pembuatan Arang Biji Salak	26
3.7.1	Tahapan Pembuatan Arang Biji Salak	26
3.7.2	Analisis Arang Biji Salak.....	27
3.8	Variabel Penelitian	28
3.9	Adsorpsi pada Air Limbah	29
3.10	Pengukuran Parameter.....	29
3.10.1	Pengukuran COD	30
3.10.2	Pengukuran TSS.....	30
3.10.3	Pengukuran pH.....	31
3.11	Analisis Data	31
3.11.1	Kapasitas Adsorpsi (q_e).....	32
3.11.2	Efisiensi Penyisihan (E)	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Karakteristik Arang Biji Salak	34
4.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar Pencemar pada Air Limbah RPH	35
4.2.1 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar COD.....	37
4.2.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar TSS	39
4.2.3 Analisis Perubahan Nilai pH Air Limbah	41
4.3 Perbandingan Efisiensi Penyisihan Kadar Pencemar antara Arang Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi	43
BAB V PENUTUP.....	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	52

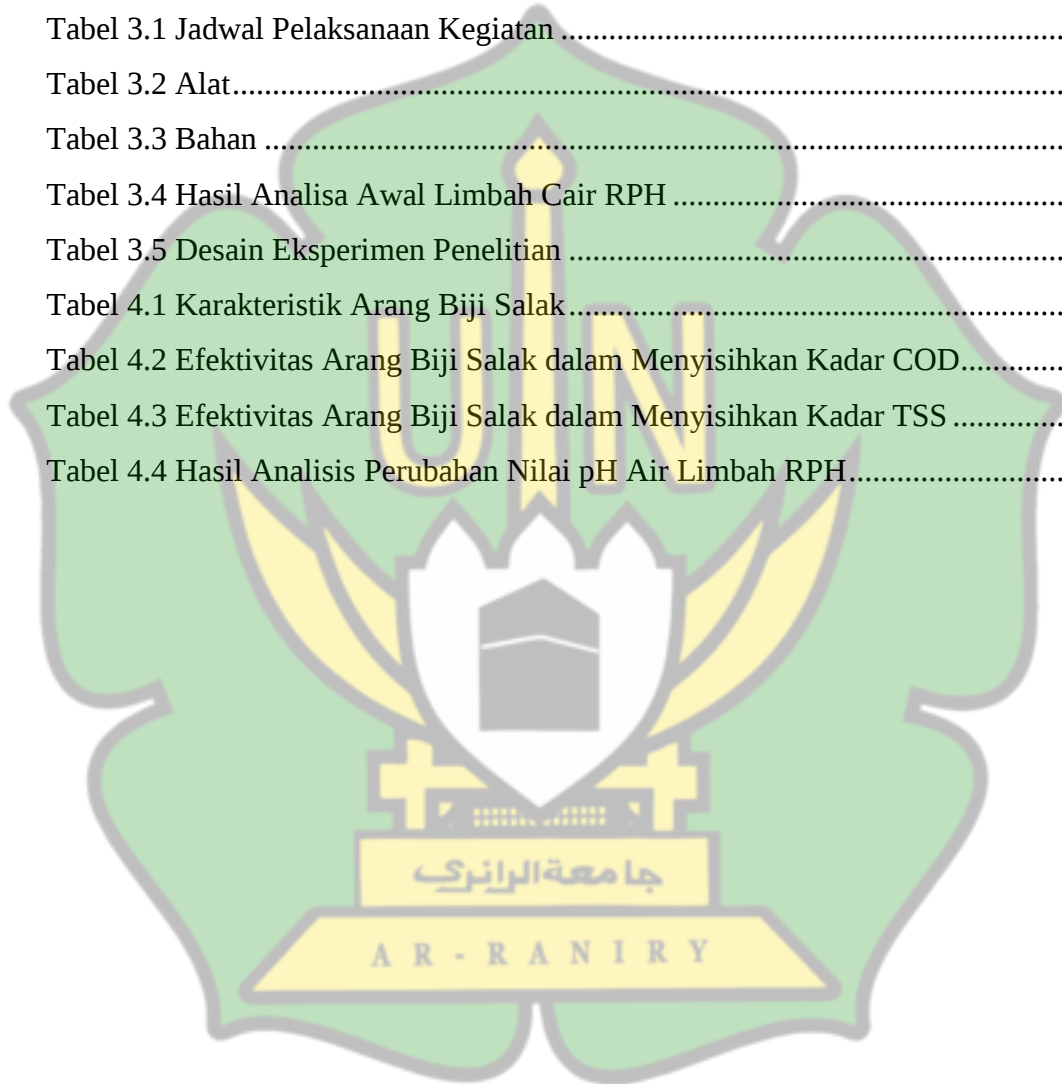


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Adsorpsi Fisika (kiri) dan Adsorpsi Kimia (kanan).....	10
Gambar 2.2 Morfologi Tumbuhan Salak	14
Gambar 2.3 Buah dan Biji Salak.....	14
Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah di UPTD RPH Gampong Pande, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh.....	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.3 Tahapan Eksperimen	25
Gambar 3.4 Tahapan Pembuatan Arang Biji Salak	27
Gambar 4.1 Proses Pengadukan Adsorben pada Air Limbah	36
Gambar 4.2 Pengendapan Sampel Setelah Pengadukan	36
Gambar 4.3 Filtrat Sampel Setelah Pengendapan	37
Gambar 4.4 Grafik Fluktuasi Kadar COD Air Limbah RPH.....	38
Gambar 4.5 Grafik Fluktuasi Kadar TSS Air Limbah RPH	40
Gambar 4.6 Grafik Fluktuasi Nilai pH pada Air Limbah RPH.....	42
Gambar 4.7 Perbandingan Efisiensi Optimum Penyisihan COD dan TSS	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah RPH.....	9
Tabel 2.2 Standar Mutu Arang Aktif	17
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	20
Tabel 3.2 Alat.....	21
Tabel 3.3 Bahan	22
Tabel 3.4 Hasil Analisa Awal Limbah Cair RPH	26
Tabel 3.5 Desain Eksperimen Penelitian	29
Tabel 4.1 Karakteristik Arang Biji Salak.....	34
Tabel 4.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar COD.....	37
Tabel 4.3 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar TSS	39
Tabel 4.4 Hasil Analisis Perubahan Nilai pH Air Limbah RPH.....	42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Karakteristik Arang Biji Salak	52
Lampiran 2 Perhitungan Parameter TSS pada Air Limbah RPH.....	54
Lampiran 3 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dan Efisiensi Penyisihan.....	57
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian.....	63



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan	Halaman Pertama Pemakaian
RPH	Rumah Pemotongan Hewan	i
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	i
TSS	<i>Total Suspended Solids</i>	i
pH	<i>potential of Hydrogen</i>	i
BPS	Badan Pusat Statistik	1
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	1
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah	2
UPTD	Unit Pelaksana Teknis Daerah	19



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah Pemotongan Hewan (RPH) adalah fasilitas pemotongan hewan ternak selain unggas untuk penyediaan daging konsumsi masyarakat (Adriani dkk., 2024). Meskipun demikian, kegiatan operasionalnya juga membawa tantangan lingkungan yang signifikan. Berdasarkan data BPS tahun 2021, terdapat lebih dari 1.500 unit RPH di Indonesia (Jatmiko dkk., 2025). Tingginya jumlah fasilitas ini berbanding lurus dengan besarnya volume limbah organik yang dihasilkan. Tanpa sistem pengolahan memadai, akumulasi limbah ini berpotensi menurunkan kualitas lingkungan hidup dan mengancam kesehatan masyarakat.

Kondisi serupa juga terjadi pada tingkat daerah, salah satunya di Provinsi Aceh tepatnya di RPH Kota Banda Aceh yang berlokasi di Gampong Pande, Kecamatan Kuta Raja. RPH tersebut menjadi pusat pemotongan sapi potong untuk memenuhi kebutuhan daging warga Kota Banda Aceh dan sekitarnya. Secara operasional, RPH ini melayani kebutuhan daging harian rata-rata sebesar 4 ton per hari. Intensitas ini akan meningkat drastis hingga mencapai 50 ton pada waktu tertentu, seperti saat tradisi Meugang, guna mengantisipasi tingginya permintaan pasar (Putri, 2026). Seiring dengan tingginya aktivitas pemotongan maka volume limbah yang dihasilkan juga akan turut bertambah.

Limbah cair RPH menjadi masalah lingkungan krusial karena tingginya polutan organik yang bersumber dari darah, lemak, protein dan kotoran hewan (Mary dkk., 2022). Pengaliran air limbah langsung ke lingkungan tanpa proses pengolahan memadai, sangat rentan membuat ekosistem perairan tercemar. Tingkat pencemaran ini utamanya diindikasikan oleh tingginya nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang merepresentasikan besarnya beban pencemaran organik di perairan (Irmayanti dan Mirwan, 2025). Selain itu, tingginya kadar *Total Suspended Solids* (TSS) dapat meningkatkan kekeruhan air sehingga mengganggu fotosintesis ekosistem akuatik (Nafa dan Khuzaimah, 2024). Parameter lain yang turut menjadi indikator kualitas

limbah RPH meliputi amonia (NH_3), minyak dan lemak, serta derajat keasaman (pH) (Herman dkk., 2023).

Pembuangan limbah RPH ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat memicu pencemaran berat berupa penurunan oksigen terlarut, timbulnya bau tidak sedap, serta penyebaran mikroorganisme patogen (Narulitas dkk., 2025). Sebagai upaya mitigasi dampak tersebut, Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014 menetapkan baku mutu maksimum air limbah RPH, yaitu kadar COD 200 mg/L, TSS 100 mg/L, dan pH 6-9. RPH Gampong Pande telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), namun kinerja sistem tersebut saat ini dinilai belum optimal dalam menangani tingginya beban pencemar secara keseluruhan. Hal ini didukung oleh evaluasi kualitas air limbah yang dilakukan oleh Gaznur dkk. (2026) di lokasi RPH tersebut, di mana konsentrasi COD pada saluran pembuangan mencapai 277,19 mg/L. Angka tersebut melampaui batas baku mutu yang diizinkan, sekaligus menjadi indikator tingginya bahan organik serta kurang optimalnya fungsi instalasi pengolahan yang ada. Dengan demikian, diperlukan suatu metode pengolahan yang efektif dan efisien guna menurunkan kadar polutan hingga memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Salah satu teknologi pengolahan yang efektif untuk menyisihkan tingginya kadar bahan organik pada air limbah RPH adalah metode adsorpsi (Izmah dkk., 2023). Pendekatan ini dinilai efisien, terutama jika didukung oleh penggunaan material penyerap (adsorben) dari sumber daya alternatif. Saat ini, pengembangan adsorben berbasis limbah pertanian menjadi solusi yang sangat potensial, mengingat karakteristiknya sebagai bahan baku yang belum dimanfaatkan secara maksimal, ramah lingkungan dan tersedia secara melimpah (Lawal dkk., 2023).

Efektivitas arang aktif dari berbagai limbah pertanian dalam menyisihkan polutan telah dibuktikan melalui beberapa studi. Arang aktif tempurung kelapa terbukti mampu menurunkan COD hingga 75 % dan TSS 70,8 % pada limbah cair RPH (Irmayanti dan Mirwan, 2025), sedangkan karbon aktif kulit kacang tanah mereduksi COD 96,82 % dan BOD 90,94 % pada limbah tahu (Komala dkk., 2021). Selain itu, adsorben arang biji salak menunjukkan daya serap terhadap pewarna tekstil *Remazol Brilliant Blue* mencapai 98 % (Maulidiyah dkk., 2021).

Berlandaskan beberapa studi sebelumnya, biji salak merupakan limbah pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai adsorben untuk pengolahan limbah cair. Pemanfaatan tersebut menjadi sangat strategis mengingat proporsi biji salak mencapai 25-30 % dari total berat buah, namun selama ini belum dimanfaatkan secara optimal (Al Qory dkk., 2021). Secara umum, potensi adsorben dari limbah biji salak telah banyak diteliti, namun kajian perbandingan arang biji salak teraktivasi dan tidak teraktivasi untuk pengolahan limbah cair RPH masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menguji efektivitas kedua jenis adsorben tersebut dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair RPH, guna menghasilkan rekomendasi teknologi pengolahan yang tepat guna.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik arang biji salak ditinjau dari persentase rendemen, kadar air dan kadar abu, berdasarkan SNI 06-3730-1995?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan arang biji salak terhadap penurunan konsentrasi COD, TSS serta perubahan nilai pH air limbah RPH?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi penyisihan COD dan TSS antara penggunaan arang biji salak yang teraktivasi dengan arang biji salak tidak teraktivasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, adapun tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik arang biji salak yang dihasilkan meliputi persentase rendemen, kadar air dan kadar abu sesuai SNI 06-3730-1995.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan arang biji salak terhadap penurunan konsentrasi COD, TSS serta perubahan nilai pH air limbah RPH.
3. Membandingkan efisiensi penyisihan COD dan TSS antara penggunaan arang biji salak yang teraktivasi dengan arang biji salak tidak teraktivasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Mengacu pada latar belakang, diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat, baik secara langsung maupun tidak langsung, antara lain sebagai berikut:

1. Mengembangkan wawasan ilmiah yang dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya serta sebagai sumber inspirasi untuk inovasi pengelolaan air limbah lainnya.
2. Memberikan solusi pengolahan limbah yang efektif dan efisien serta mudah diterapkan bagi Rumah Pemotongan Hewan (RPH) untuk memenuhi standar baku mutu lingkungan.
3. Membantu mengurangi pencemaran air oleh limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH) untuk menjaga kelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ditujukan untuk memastikan penelitian tetap fokus dan mencapai tujuan penelitian, adapun batasan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bahan baku berupa biji salak yang digunakan berada dalam kondisi utuh serta keadaan fisik yang baik tanpa menetapkan kriteria varietas tertentu.
2. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada pengujian efektivitas arang biji salak terhadap limbah RPH yang dilakukan dalam skala laboratorium.
3. Karakterisasi arang aktif yang dihasilkan dibatasi pada pengujian persentase rendemen, kadar air, dan kadar abu.
4. Parameter kualitas air limbah yang dianalisis dalam penelitian ini hanya mencakup penurunan kadar COD, TSS dan pengaruhnya terhadap perubahan nilai pH.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)

Rumah Pemotongan Hewan (RPH) merupakan fasilitas bangunan atau kompleks yang dirancang dengan spesifikasi teknis dan higienis khusus, difungsikan untuk penyembelihan hewan, mencakup seluruh rangkaian kegiatan sanitasi mulai dari pembersihan lantai pemotongan, kandang penampungan dan isolasi, hingga penanganan isi perut dan air sisa perendaman. Air limbah adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berwujud cair. Limbah cair RPH merupakan air limbah non-domestik, didefinisikan sebagai air limbah yang berasal dari kegiatan usaha yang tidak termasuk air limbah domestik (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014).

Rumah Pemotongan Hewan (RPH) menghasilkan tiga jenis limbah yang meliputi limbah padat, cair, dan gas (Narulitas dkk., 2025). Komponen utama dari air limbah RPH adalah konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi, umumnya mencakup protein dan lemak. Polutan utama yang terkandung di dalamnya meliputi tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solids* (TSS), serta kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Selain itu, limbah ini juga mengandung senyawa anorganik, amonia, minyak lemak, serta seringkali memiliki pH yang tidak stabil, sehingga berpotensi besar mencemari lingkungan. Limbah cair ini dihasilkan dari berbagai kegiatan operasional RPH, mulai dari proses pencucian hewan, penyembelihan, hingga aktivitas pembersihan fasilitas dan peralatan yang digunakan (Mary dkk., 2022).

Pelepasan limbah RPH tanpa pengolahan ke lingkungan perairan akan menyebabkan pencemaran berat, seperti penurunan kadar oksigen terlarut yang membahayakan biota air, serta menimbulkan bau tidak sedap akibat dekomposisi bahan organik. Lebih jauh lagi, air limbah ini berpotensi mengandung mikroorganisme patogen yang dapat menjadi vektor penyebaran penyakit (Narulitas dkk., 2025).

2.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH)

Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH) bersumber dari proses pemotongan, pencucian, dan pembersihan hewan. Air limbah RPH memiliki karakteristik spesifik karena mengandung konsentrasi bahan organik, darah, minyak, lemak, dan padatan tersuspensi yang tinggi. Sumber utama polutan dalam limbah ini berasal dari sisa darah, lemak, isi rumen, feses, serta air bekas pencucian hewan (Cahyani dan Rosariawari, 2025). Komposisi limbah yang kompleks tersebut memicu tingginya beban pencemaran. Karakteristik air limbah RPH ini dapat diukur melalui parameter fisik, kimia, dan biologi sebagai berikut:

2.2.1 Karakteristik Fisik

Parameter fisik merupakan indikator awal yang dapat diamati secara langsung untuk menilai beban pencemaran pada air limbah RPH, karakteristik fisik antara lain meliputi:

1. Warna

Secara visual air limbah RPH tampak pekat dengan warna kemerahan hingga kecokelatan. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya kandungan zat organik kompleks dan koloid, terutama darah dari proses penyembelihan dan pembersihan. Selain itu, kekeruhan juga dipicu oleh tercampurnya kotoran hewan, sisa rumen, serta lemak terlarut (Wulandari dkk., 2022).

2. Bau

Air limbah RPH menimbulkan bau yang sangat menyengat dan tidak sedap. Bau ini muncul akibat proses dekomposisi zat organik yang tinggi, seperti protein dari darah dan sisa-sisa daging, yang jika tidak diolah dengan benar berpotensi mengganggu kenyamanan lingkungan sekitar (Cahyani dan Rosariawari, 2025).

3. Temperatur

Temperatur air limbah sangat menentukan keberlangsungan hidup dan laju aktivitas mikroorganisme. Jika suhu meningkat, aktivitas penguraian biologi juga akan meningkat. Air limbah RPH memiliki suhu rata-rata 31 °C yang

mendukung kehidupan mikroorganisme jenis *mesophilic* (2,8 °C – 40 °C). Mengacu pada Farahdiba dkk. (2019) dalam Kholif dkk. (2022), kondisi termal tersebut merupakan suhu optimum bagi mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik.

4. Zat Padat Tersuspensi (*Total Suspended Solids*)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan parameter fisik yang menunjukkan jumlah padatan tersuspensi yang terdapat pada larutan. Secara visual, semakin tinggi nilai TSS, maka kondisi air akan terlihat semakin keruh. Kekeruhan pada air limbah ini umumnya disebabkan oleh keberadaan bahan organik dan anorganik, meliputi bakteri, jamur, lumpur, serta oksida logam yang terlarut (Anggraini dkk., 2023).

2.2.2 Karakteristik Kimia

Berdasarkan studi karakteristik limbah organik yang dilakukan oleh (Sisnayati dkk., 2021), parameter kimia utama yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH air limbah sangat dipengaruhi oleh penguraian bahan organik. Tingginya kandungan organik memicu dekomposisi aerobik yang mengonsumsi oksigen terlarut, sehingga menurunkan pH menjadi asam. Kondisi pH rendah ini berpotensi menimbulkan pencemaran, menurunkan kualitas perairan, serta mengganggu kelangsungan hidup biota air.

2. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik. Parameter ini mencerminkan tingkat bahan organik yang dapat terurai secara biologis di perairan. Kadar BOD yang tinggi menyebabkan penipisan oksigen terlarut akibat konsumsi oleh bakteri, yang pada akhirnya mengakibatkan kematian biota air karena defisiensi oksigen.

3. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) mengukur total kebutuhan oksigen kimiawi untuk mengoksidasi seluruh bahan organik, baik yang mudah

maupun sulit terurai secara biologis, sehingga berhubungan erat dengan BOD. Air limbah dengan kandungan organik tinggi biasanya menunjukkan nilai BOD dan COD yang tinggi. Pembuangan limbah semacam ini tanpa pengolahan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang serius.

4. Minyak dan lemak

Minyak dan lemak dalam air limbah bersifat hidrofobik, sehingga tidak larut dalam air dan cenderung mengapung membentuk lapisan tipis di permukaan. Lapisan tersebut menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam badan air, sehingga mengganggu fotosintesis tumbuhan air. Selain itu, lapisan minyak membatasi pertukaran oksigen dari atmosfer ke air, yang berujung pada kematian organisme akuatik akibat kekurangan oksigen.

5. Amonia (NH_3)

Amonia terbentuk dari hasil penguraian bahan organik nitrogen yang terkandung dalam limbah cair yang dibiarkan tanpa pengolahan lanjut. Amonia bersifat toksik terhadap biota air, menyebabkan gangguan estetika berupa bau menyengat, serta proses oksidasinya mengonsumsi oksigen terlarut. Hal ini memperburuk kondisi kekurangan oksigen di perairan dan mengancam ekosistem akuatik.

2.2.3 Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi dalam air limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH) utamanya disebabkan oleh kontaminasi mikroorganisme patogen yang berasal dari kotoran, urin, serta isi lambung hewan yang terlarut selama proses pembersihan. Bakteri yang mendominasi limbah ini adalah *Escherichia coli* (81,99 %), diikuti oleh *Staphylococcus* sp. (54,86 %) dan *Streptococcus* sp. (11,11 %). Selain bakteri, limbah RPH juga berisiko tinggi mengandung agen penyakit lain seperti *Salmonella*, virus hepatitis E, hingga parasit jenis *Cryptosporidium* dan *Giardia*. Tingginya konsentrasi mikroba ini menunjukkan bahwa limbah RPH bersifat infeksius dan dapat menjadi sumber penyebaran penyakit saluran pencernaan seperti diare, bagi masyarakat di sekitar aliran pembuangan jika tidak dikelola dengan sistem pengolahan yang baik (Mary dkk., 2022).

2.3 Baku Mutu Air Limbah

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, definisi baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Setiap usaha dan/atau kegiatan wajib memenuhi standar ini sebelum membuang limbahnya ke badan air permukaan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa limbah yang dilepaskan telah melalui proses pengolahan yang memadai, sehingga tidak melampaui daya tampung beban pencemaran lingkungan.

Khusus untuk kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH), pemerintah menetapkan standar baku mutu yang lebih spesifik mengingat tingginya kandungan organik dalam limbah tersebut. Berdasarkan Lampiran 45 Permen LH No. 5 Tahun 2014, rincian parameter dan kadar maksimum yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah RPH

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
COD	mg/L	200
TSS	mg/L	100
pH	-	6-9

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah

Pemilihan parameter COD, TSS dan pH difokuskan karena ketiganya merupakan indikator utama yang paling merepresentasikan karakteristik beban pencemar limbah cair RPH. Pemenuhan terhadap nilai ambang batas tersebut menjadi tolak ukur utama dalam menilai kelayakan pembuangan air limbah ke badan air penerima agar tidak melanggar ketentuan perundang-undangan. Kegagalan dalam memenuhi standar baku mutu ini tidak hanya berpotensi mencemari ekosistem perairan, tetapi juga dapat menimbulkan sanksi hukum bagi pihak pengelola RPH.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi didefinisikan sebagai fenomena melekatnya partikel (seperti atom atau molekul) pada permukaan suatu zat yang dipicu oleh adanya gaya tarik yang tidak seimbang di permukaan tersebut. Proses ini secara efektif digunakan untuk menyisahkan berbagai polutan dalam limbah cair, seperti logam berat maupun zat organik dengan memanfaatkan interaksi pada permukaan material penyerap (Batu dkk., 2022).

2.4.1 Mekanisme Adsorpsi

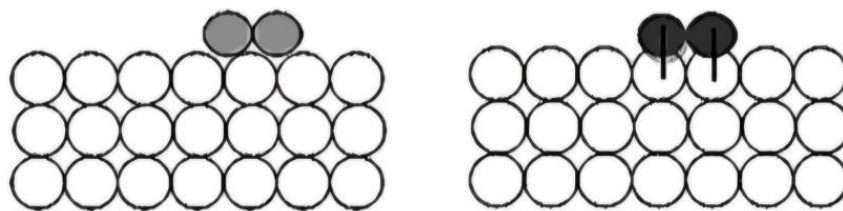
Adsorpsi merupakan fenomena perpindahan massa ketika molekul atau ion dari suatu larutan berpindah dan terakumulasi pada permukaan zat padat. Dalam mekanisme ini, terdapat dua komponen utama yang berinteraksi, yaitu adsorbat (zat yang diserap) dan adsorben (media penyerap). Proses ini terjadi melalui interaksi pada tingkat molekuler antara permukaan adsorben dan partikel adsorbat (Wangi dkk., 2025). Berdasarkan sifat interaksi dan jenis ikatan yang terbentuk, mekanisme adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi)

Terjadi akibat adanya gaya van der Waals yang relatif lemah antara adsorbat dan permukaan adsorben. Interaksi ini tidak mengubah struktur kimia zat, sehingga prosesnya cenderung bersifat reversibel (dapat balik).

2. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Melibatkan pembentukan ikatan kimia yang sesungguhnya antara molekul adsorbat dengan situs aktif pada permukaan adsorben. Hal ini menyebabkan ikatan yang terbentuk jauh lebih kuat, bersifat spesifik, dan umumnya ireversibel (Indriana, 2022 dalam Wangi dkk., 2025).



Gambar 2.1 Adsorpsi Fisika (kiri) dan Adsorpsi Kimia (kanan)

Sumber: De Mahuya (2013) dalam Botahala (2019)

2.4.2 Metode Evaluasi Adsorpsi

Evaluasi kinerja proses adsorpsi umumnya didasarkan pada dua jenis metode pendekatan, yaitu metode *batch* (sistem statis) dan metode kolom (sistem dinamis). Metode kolom umumnya digunakan untuk menguji kinerja adsorben pada pengaplikasian kondisi nyata atau skala industri, ketika air limbah dialirkan secara kontinu. Sebaliknya, metode *batch* digunakan untuk menginvestigasi mekanisme proses adsorpsi dan untuk membandingkan sifat adsorpsi dari berbagai jenis adsorben. Oleh karena itu, metode *batch* sangat relevan digunakan dalam skala laboratorium untuk penelitian yang bertujuan membandingkan efektivitas antar varian adsorben, seperti perbandingan arang teraktivasi dan tanpa aktivasi (Ernawati, 2022).

2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Efektivitas adsorpsi ditentukan oleh berbagai faktor, menurut Webb (2013) dalam Botahala (2019), terdapat delapan faktor utama yang mempengaruhi keberhasilan proses ini, yaitu:

1. Luas Permukaan Adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak area yang tersedia untuk terjadinya tumbukan antara partikel adsorben dan zat polutan (adsorbat) yang menyebabkan kapasitas penyerapan menjadi semakin besar.

2. Ukuran Partikel Adsorben

Partikel adsorben yang berukuran kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar dan mengurangi hambatan difusi ke bagian dalam pori. Akibatnya, proses adsorpsi berlangsung lebih cepat dan kesetimbangan lebih mudah dicapai dibandingkan partikel berukuran besar.

3. Waktu Kontak

Waktu kontak menentukan lamanya interaksi antara adsorben dan air limbah hingga mencapai kondisi setimbang (jenuh). Waktu yang cukup diperlukan agar difusi polutan ke dalam pori adsorben dapat berlangsung secara maksimal.

4. Kelarutan Zat (Adsorbat)

Zat yang memiliki kelarutan rendah (sulit larut) dalam air umumnya lebih mudah diserap oleh adsorben. Selain itu, zat yang bersifat nonpolar cenderung lebih mudah teradsorpsi dibandingkan zat yang bersifat polar karena afinitasnya yang lebih kuat terhadap permukaan adsorben.

5. Afinitas Zat Terlarut

Kecocokan sifat antara adsorben dan zat terlarut sangat berpengaruh. Umumnya, jika permukaan adsorben bersifat sedikit polar, maka akan lebih efektif menarik zat-zat yang bersifat nonpolar.

6. Ukuran Molekul Zat Terlarut

Ukuran molekul polutan harus sesuai dengan diameter pori-pori adsorben. Jika molekul polutan terlalu besar dibandingkan pori adsorben, molekul tersebut akan terhalang masuk, yang mengakibatkan penurunan efisiensi adsorpsi.

7. Derajat Ionisasi

Bentuk molekul zat terlarut mempengaruhi daya serapnya. Molekul yang berada dalam kondisi netral biasanya lebih mudah teradsorpsi dibandingkan molekul yang memiliki derajat ionisasi tinggi.

8. Suhu (Temperatur)

Secara umum, adsorpsi fisik berlangsung lebih baik pada suhu rendah karena sifatnya yang eksotermik. Peningkatan suhu dapat meningkatkan kelarutan zat serta mengubah keseimbangan energi pada permukaan adsorben, yang dapat dilihat melalui kurva isoterm adsorpsi.

2.4.4 Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi

Kinerja suatu adsorben dalam menyerap polutan dari larutan dapat dievaluasi berdasarkan dua parameter utama, yaitu kapasitas adsorpsi (*adsorption capacity*) dan efisiensi penyisihan (*removal efficiency*). Efisiensi penyisihan menyatakan persentase zat terlarut yang berhasil dipisahkan dari air limbah, sedangkan kapasitas adsorpsi menyatakan jumlah zat terlarut yang teradsorpsi per satuan berat adsorben (Anggriani dkk., 2021). Secara praktis, nilai efisiensi

penyisihan menjadi indikator utama dalam pemenuhan baku mutu lingkungan, sementara kapasitas adsorpsi menentukan umur pakai dan efisiensi penggunaan dari material adsorben yang digunakan.

1. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi (q_e) digunakan untuk mengetahui kemampuan maksimum adsorben dalam menampung adsorbat pada kondisi kesetimbangan. Nilai ini dihitung dengan persamaan:

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{W} \right) \times V$$

2. Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan menunjukkan seberapa efektif proses pengolahan dalam menurunkan konsentrasi polutan. Nilai efisiensi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E (\%) = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \%$$

Keterangan:

- E : Efisiensi penyisihan adsorpsi (%)
- q_e : Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)
- C_0 : Konsentrasi awal zat polutan sebelum adsorpsi (mg/L)
- C_e : Konsentrasi akhir zat polutan setelah kesetimbangan (mg/L)
- V : Volume larutan limbah yang digunakan (L)
- W : Massa adsorben (arang) yang digunakan (gram)

2.5 Adsorben

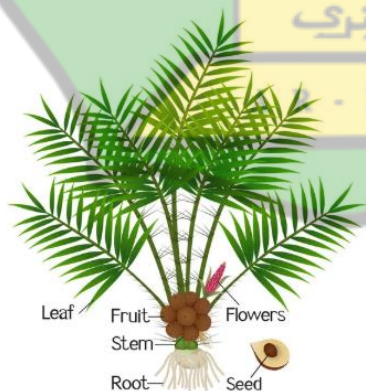
Adsorben didefinisikan sebagai material padat yang digunakan dalam proses adsorpsi untuk menyerap dan menurunkan konsentrasi zat pencemar dari fase cair. Salah satu fungsi utama adsorben adalah menurunkan kadar polutan pada limbah cair agar memenuhi baku mutu lingkungan. Agar proses penyisihan polutan berjalan efektif, suatu adsorben harus memenuhi kriteria tertentu, antara lain memiliki luas permukaan spesifik yang besar, laju adsorpsi yang cepat, serta

waktu kesetimbangan yang singkat Webb (2013) dalam Botahala (2019). Salah satu jenis adsorben berdasarkan sumber bahannya adalah biosorben. Biosorben merupakan media penyerap yang berasal dari bahan biologis, seperti limbah pertanian, biomassa, atau limbah perkebunan.

Penggunaan biosorben dinilai sangat potensial karena berbiaya rendah (*low-cost*), ketersediaannya melimpah di alam, serta memiliki efisiensi tinggi dalam menyisihkan kontaminan seperti logam berat maupun anion fosfat dari air limbah. Beberapa jenis material alam yang efektif digunakan sebagai biosorben antara lain adalah cangkang hewan, kulit (kayu, buah dan sayuran), serat (ampas tebu, kolagen dan kelapa), *biochar*, batang tumbuhan, rumput, biji dan lain sebagainya (Aini dkk., 2022).

2.6 Salak (*Salacca zalacca*)

Salak (*Salacca zalacca*) merupakan komoditas buah asli Indonesia yang sangat populer dari kandungan gizi serta cita rasanya yang khas. Tingginya minat masyarakat terhadap buah ini tercermin dari data konsumsi tahun 2008 yang mencapai 1,64 kg/kapita/tahun, dengan total kebutuhan nasional diperkirakan sebesar 420 ribu ton per tahun. Namun, tingginya angka konsumsi tersebut berdampak pada peningkatan volume limbah padat, khususnya biji salak, yang selama ini hanya dibuang dan belum dimanfaatkan secara optimal (Yasril, 2018).



Gambar 2.2 Morfologi Tumbuhan Salak

Sumber: (Depositphotos, n.d.)



Gambar 2.3 Buah dan Biji Salak

Sumber: Carlose

Secara proporsional, buah salak terdiri dari daging buah yang dapat dikonsumsi sebesar 56–65 %, sementara sisanya merupakan limbah dengan persentase mencapai 35–44 %. Analisis komponen limbah menunjukkan bahwa biji salak menyumbang massa terbesar, yakni 25–30 % dari total berat buah, melampaui persentase kulit yang hanya berkisar 10–14 %. Tingginya persentase limbah biji ini menegaskan besarnya potensi biomassa yang tersedia untuk diolah kembali (Al Qory dkk., 2021).

Potensi biji salak sebagai material bioadsorben sangat didukung oleh komposisi kimiawinya yang kaya akan polimer alam. Berdasarkan studi Nugroho (2014) dalam Al Qory dkk. (2021) tepung biji salak mengandung karbohidrat total sebesar 88,35 %, yang tersusun atas fraksi selulosa (28,98 %) dan hemiselulosa tipe mannan (59,37 %). Jika dikonversi pada kondisi biji segar, kandungan karbohidratnya setara dengan 36,28 %, yang mencakup 11,90 % selulosa dan 24,38 % mannan. Keberadaan komponen selulosa dan senyawa aktif inilah yang menjadi dasar pemanfaatan biji salak sebagai adsorben alami.

2.7 Arang Biji Salak

Arang biomassa atau yang sering disebut sebagai *biochar* adalah bahan padat dengan kandungan karbon tinggi yang dihasilkan melalui proses dekomposisi termal pada suhu pembakaran di bawah 700 °C dengan oksigen dalam jumlah terbatas. Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku untuk produksi arang umumnya bersumber dari limbah organik seperti serpihan kayu, batang tanaman, daun, pupuk kandang, lumpur, hingga limbah hasil pertanian dan perkebunan seperti biji salak.

Arang biomassa memiliki karakteristik yang sangat menguntungkan sebagai material adsorben, di antaranya adalah struktur pori yang unik, luas permukaan spesifik yang besar, gugus fungsi aktif permukaan yang kompleks, dan sifat kimia yang stabil. Karakteristik ini terbentuk selama proses karbonisasi, di mana terjadi pemutusan ikatan kimia seperti O-H dan pembentukan struktur cincin aromatik. Proses termal ini mengakibatkan peningkatan kandungan karbon murni secara drastis serta penurunan kadar hidrogen dan oksigen dalam material.

Arang yang dihasilkan langsung dari proses karbonisasi tanpa melalui perlakuan modifikasi kimiawi tambahan disebut sebagai arang tidak teraktivasi. Meskipun secara struktural sebagian besar pori-pori mikronya masih tertutup oleh senyawa pengotor sisa pembakaran seperti tar dan zat volatil, arang ini tetap memiliki kemampuan jerap berkat gugus fungsi alami pada permukaannya seperti gugus karboksil dan hidroksil (Lestari dkk., 2024).

2.7.1 Proses Aktivasi

Proses aktivasi arang dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu aktivasi fisika yang memanfaatkan panas atau gas pengaktif dan aktivasi kimia yang melibatkan perendaman dalam larutan asam atau basa. Menurut Nafa dan Khuzaimah (2024), metode kimia secara spesifik berfungsi untuk melarutkan kotoran yang menyumbat permukaan, sehingga pori-pori arang terbuka dan diameternya bertambah besar. Aktivator kimia berperan sebagai agen dehidrasi (*dehydrating agent*) yang berfungsi menghambat pembentukan tar, meningkatkan kadar karbon, serta memperluas permukaan pori. Menurut Izan dkk. (2015) dalam Nafa dan Khuzaimah (2024), karbon aktif dari hasil aktivasi memiliki keunggulan berupa luas permukaan yang besar, stabilitas tinggi, serta bernilai ekonomis.

Asam klorida (HCl) merupakan salah satu aktivator kimia yang memiliki kemampuan dalam melarutkan pengotor mineral yang menutupi permukaan arang, sehingga pori-pori menjadi lebih terbuka dan jumlahnya meningkat signifikan. Selain bersifat higroskopis yang dapat mengurangi kadar air pada produk akhir, penggunaan HCl juga terbukti lebih efektif dibandingkan aktivator asam lain seperti H_2SO_4 dan HNO_3 dalam memaksimalkan pembentukan struktur pori, yang berdampak langsung pada peningkatan daya serap ion adsorben (Nafa dan Khuzaimah, 2024).

2.7.2 Karakteristik Arang Aktif

Menurut Nafa dan Khuzaimah (2024) kualitas arang aktif utamanya dinilai dari daya adsorpsi. Daya adsorpsi ini berbanding lurus dengan luas permukaan spesifik semakin besar volume pori yang terbentuk, maka kapasitas dan laju penyerapan akan semakin meningkat. Selain porositas, ukuran partikel juga

memegang peranan penting. Semakin kecil ukuran partikel akibat proses penghalusan, semakin besar luas kontak permukaannya sehingga daya serap menjadi lebih optimal. Kesesuaian karakteristik fisik dan kimia dengan standar mutu sangat krusial karena berkorelasi langsung dengan efektivitas daya serap adsorben dalam menyerap polutan air limbah. Guna menjamin kualitasnya agar layak digunakan sebagai adsorben, arang aktif harus memenuhi beberapa karakteristik tertentu. Standar mutu arang aktif teknis di Indonesia mengacu pada SNI 06-3730-1995 yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Standar Mutu Arang Aktif

No.	Karakteristik	Standar (%)
1.	Rendemen	-
2.	Kadar Air	Maks. 4,4
3.	Kadar Abu	Maks. 2,5

Sumber: SNI 06-3730-1995

2.8 Penelitian Terdahulu

Studi terkait efektivitas adsorben serta aplikasi arang aktif dalam pengelolaan limbah cair telah menunjukkan hasil yang beragam. Sebagai pemetaan dan penentuan posisi penelitian ini, ringkasan studi terkait disajikan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis (Tahun)	Adsorben	Limbah	Evektifitas
1.	Maulidiyah dkk. (2021)	Arang Biji Salak	<i>Remazol Brilliant Blue</i>	Warna = 98%
2.	Lestari dkk. (2024)	Arang Biji Salak	<i>Methylene Blue</i>	Warna = 95,0616%
3.	Al Qory dkk. (2021)	Arang Biji Salak	Minyak Jelantah	FFA = 0,108% Bilangan asam = 0,244 mg KOH/g Kadar air = 0,062% Bilangan peroksida = 2,5 mek O ₂ /kg

No.	Penulis (Tahun)	Adsorben	Limbah	Evektifitas
4.	Yasril (2018)	Arang Biji Kelor dan Arang Biji Salak	Limbah Media Percetakan	• Arang Biji Kelor Kadar Pb = 5,9103 ppm %E (Pb) = 94,5206 % • Arang Biji Salak Kadar Pb = 5,7476 ppm %E (Pb) = 91,9178 %
5.	Izmah dkk. (2023)	Arang Bulu Ayam	Cucian Daging Ayam	$q_e = 31,97 \text{ mg/g}$ %E = 86,78%
6.	Komala dkk. (2021)	Arang Kulit Kacang Tanah	Air Tahu	COD = 96,82% BOD = 90,94%
7.	Adlin dkk. (2025)	Arang Ampas Kopi	Air Tahu	Kadar COD = 122,86 mg/L Kadar BOD = 20,02 mg/L
8.	Anggraini dkk. (2023)	Arang Tongkol Jagung	Air Sumur Gali	pH = 7,4 Turbidity = 3,90 NTU TSS = 6 mg/L TDS = 260 mg/L
9.	Batu dkk. (2022)	Arang Sabut Pinang	Air Tanah	$q_e (\text{Ca}) = 2,1196 \text{ mg/g}$ $q_e (\text{Mg}) = 0,7540 \text{ mg/g}$
10.	Simbolon dkk. (2022)	Arang Sabut Kelapa	Air Lindi	%E (Fe) = 30,84% %E (Cr) = 95,55%

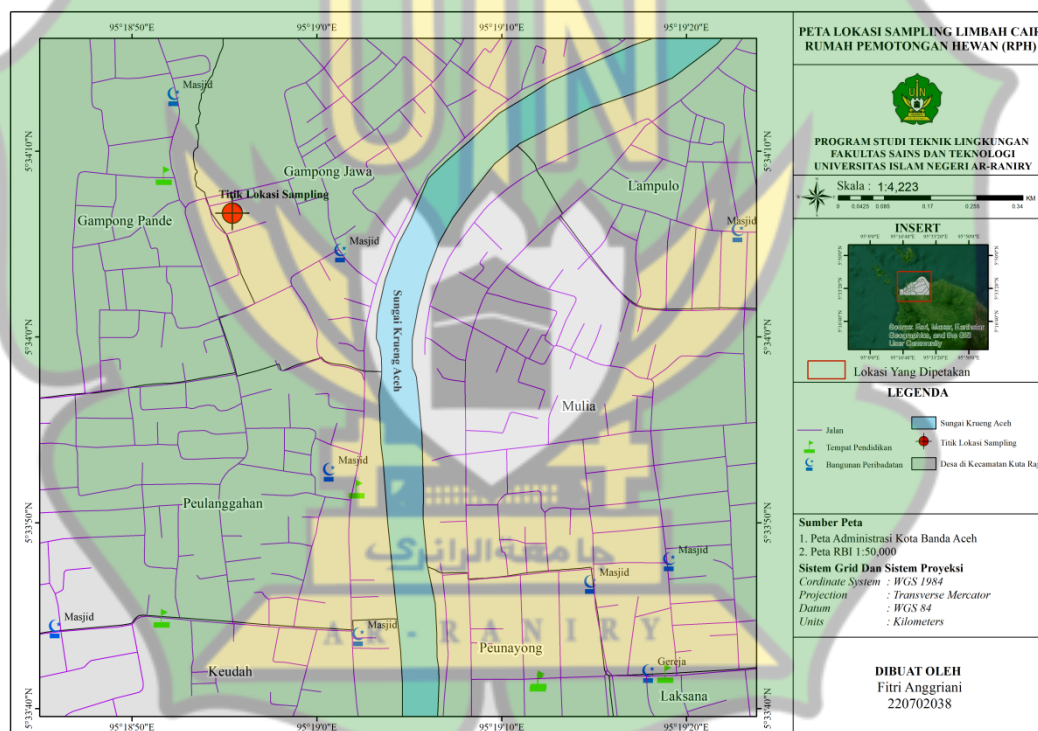
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi

Lokasi pengambilan sampel air limbah diambil dari UPTD RPH Kota Banda Aceh, secara administratif terletak di Gampong Pande, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh. Selanjutnya, seluruh tahapan eksperimen dan analisis data dilaksanakan di Laboratorium Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Kota Banda Aceh.



Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah di UPTD RPH Gampong Pande, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan selama delapan bulan, terhitung mulai bulan Desember 2025 hingga Juli 2026. Adapun rincian waktu penelitian disajikan pada Tabel 3.1 berikut.

3.2 Alat dan Bahan

Pelaksanaan penelitian ini melibatkan penggunaan berbagai alat dan bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan setiap tahapan proses. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dirinci pada uraian tabel di bawah ini.

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Alat

No.	Alat	Jumlah	Keterangan
Pengambilan Sampel			
1.	Gayung bertangkai	1 buah	Mengambil sampel air limbah RPH
2.	Jerigen (5 Liter)	2 buah	Wadah sampel limbah RPH
3.	Sarung tangan latex	Tentatif	Melindungi tangan dari kontaminasi limbah
Pembuatan Arang Biji Salak dan Aktivasi Arang			
4.	Gunting dahan	1 buah	Memotong biji salak
5.	Oven <i>Biochar</i>	1 buah	Karbonisasi biji salak
6.	Termogan	1 buah	Mengukur suhu pada saat karbonisasi
7.	Pemantik api	1 buah	Menyalakan api pembakar pada oven <i>biochar</i>
8.	Sarung tangan kain	1 pasang	Melindungi tangan dari panas
9.	Alu	1 buah	Penggilingan arang
10.	Ayakan 40 <i>mesh</i>	1 buah	Mengayak arang
11.	Oven	1 buah	Mengeringkan arang dan media saring
12.	<i>Furnace</i>	1 buah	Pengujian kadar abu
13.	Neraca analitik	1 buah	Menimbang bahan, sampel, dan media
Proses Adsorpsi			
14.	<i>Jar Test</i>	1 buah	Mencampurkan arang aktif dan air limbah dengan proses pengadukan
15.	Gelas <i>beaker</i> 1000 mL	13 buah	Wadah sampel air limbah saat proses pengadukan
Pengukuran parameter			
16.	COD reaktor	1 buah	Memanaskan (destruksi) sampel COD
17.	COD meter	1 buah	Membaca nilai konsentrasi COD sampel

18.	Tabung reaksi	13 buah	Wadah mereaksikan sampel limbah dengan larutan pereaksi COD
19.	Vakum filtrasi	1 buah	Menyaring sampel setelah <i>Jar Test</i> dan saat uji TSS
20.	Desikator	1 buah	Mendinginkan sampel atau media
21.	pH meter	1 buah	Mengukur tingkat asam atau basa sampel
22.	Pipet volume	Tentatif	Mengambil larutan sampel dan reagen dengan volume tertentu

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Bahan

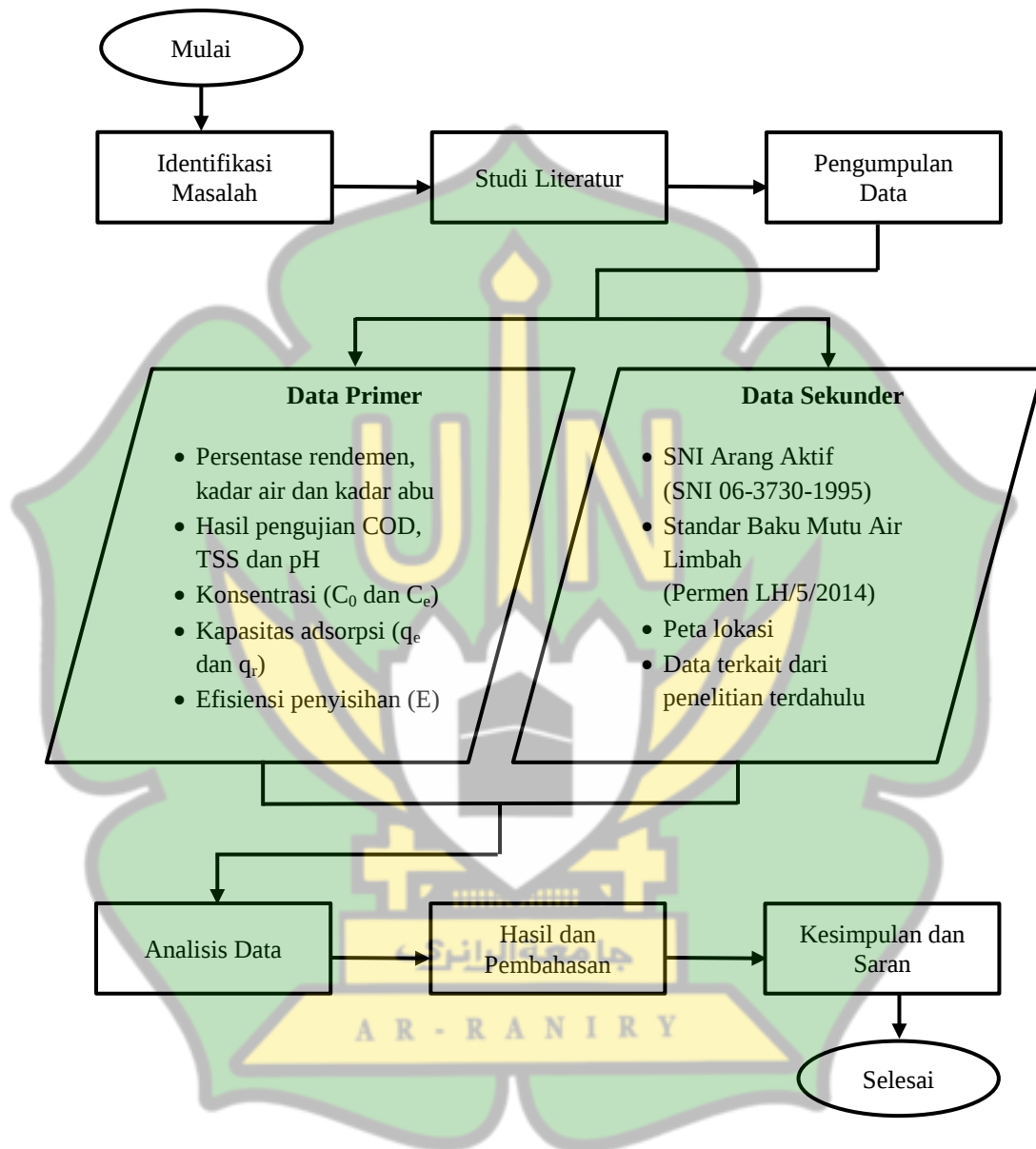
No.	Bahan	Jumlah	Keterangan
Pengambilan Sampel			
1.	Air limbah RPH	10 Liter	Objek utama pengujian beban pencemar limbah cair
Pembuatan Arang Biji Salak dan Aktivasi Arang			
2.	Biji salak	± 5 kg	Bahan baku arang
3.	Gas LPG	1 buah	Sumber bahan bakar untuk proses karbonisasi arang
4.	Asam klorida (HCl) 3 N	500 mL	Aktivator untuk pembuatan arang aktif
5.	Kertas saring	2 helai	Menyaring arang setelah perendaman dengan HCl
6.	<i>Aquades</i>	Tentatif	Mencuci media dan arang hingga netral
Proses Adsorpsi			
7.	Arang teraktivasi	7,5 gr	Adsorben untuk pengujian pada sampel
8.	Arang tanpa aktivasi	7,5 gr	Adsorben untuk pengujian pada sampel
Pengukuran parameter			
9.	Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)	20 mL	Larutan pereaksi untuk pengukuran COD
10.	Asam sulfat (H_2SO_4)	46 mL	Larutan pereaksi untuk pengukuran COD
11.	Kertas saring, Whatman 42	12 helai	Media penyaring untuk memisahkan endapan untuk uji TSS
12.	Tisu	1 pcs	Membersihkan alat atau bahan

3.3 Tahapan Umum Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama yang dirancang secara sistematis dan terarah. Keseluruhan tahapan ini berfungsi sebagai acuan kerja operasional guna mencapai tujuan penelitian secara optimal, tahapan-tahapan tersebut meliputi:

1. Identifikasi masalah, tahap ini berfokus pada perumusan masalah terkait tingginya beban pencemar pada limbah cair RPH dan pemanfaatan limbah biji salak yang belum optimal sebagai bahan baku alternatif adsorben.
2. Studi literatur, dilakukan untuk memperkuat landasan teori sekaligus menentukan metode analisis yang paling relevan, sumber referensi yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu.
3. Pengumpulan data, yaitu semua kegiatan untuk mendapatkan data berupa eksperimen, wawancara dan sebagainya. Tahap ini dibagi menjadi dua kategori data, sebagai berikut:
 - a. Data primer, yaitu data yang diperoleh secara langsung dari hasil eksperimen di laboratorium.
 - b. Data sekunder, yaitu data pendukung yang meliputi Standar Nasional Indonesia (SNI), standar baku mutu air limbah, peta lokasi, dan hasil penelitian terdahulu.
4. Analisis data, yaitu tahap ketika data hasil eksperimen dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui kapasitas adsorpsi (q_e), kapasitas adsorpsi rata-rata (q_r) dan persentase efisiensi penyisihan pencemar.
5. Hasil dan pembahasan, data yang telah diolah kemudian disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan grafik. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian terhadap teori yang relevan serta standar baku mutu lingkungan yang berlaku guna mengevaluasi kelayakan aplikasi arang biji salak tersebut.
6. Kesimpulan dan saran merupakan tahap akhir penelitian meliputi penarikan kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian serta penyusunan saran bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

Adapun alur tahapan umum penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

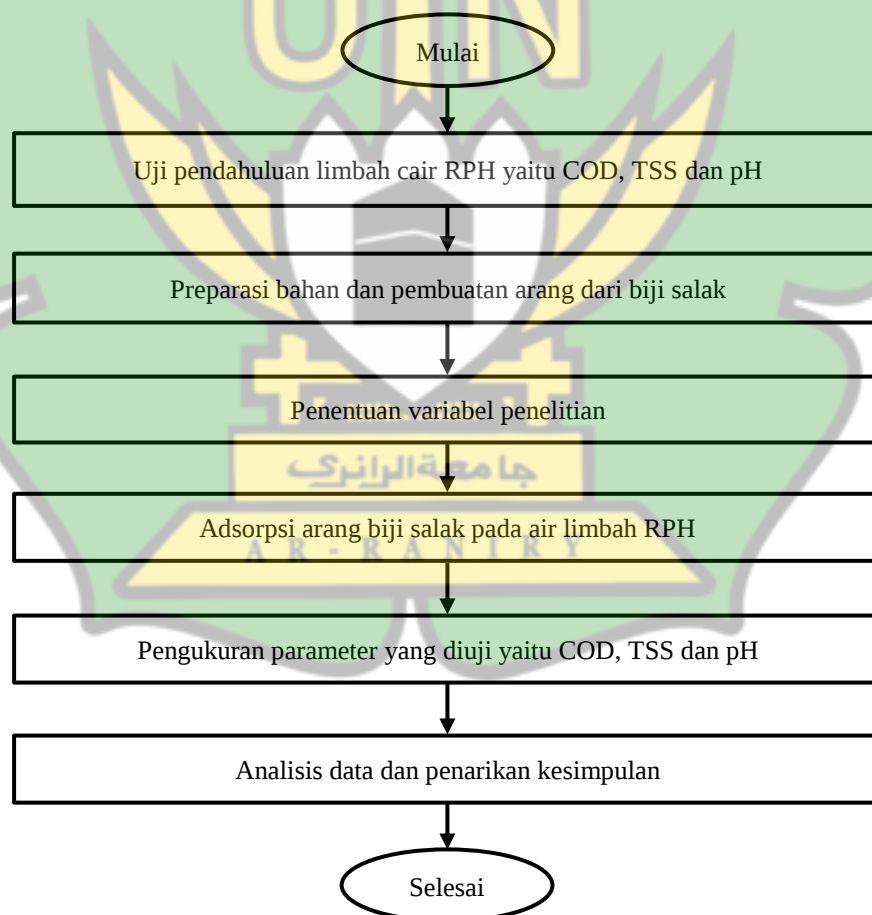
3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode sesaat (*grab sampling*) yang mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Air limbah RPH diambil secara langsung dari titik bak

penampungan akhir IPAL RPH Gampong Pande. Guna menjaga kualitas standar sampel, alat yang digunakan berupa gayung bertangkai panjang karena sifatnya yang aman, tidak merubah karakteristik asli air limbah, serta mampu memindahkan sampel tanpa menyisakan residu bahan tersuspensi. Sebelum memindahkan sampel tersebut, wadah jerigen dibilas terlebih dahulu menggunakan air sampel guna mencegah kontaminasi silang. Selanjutnya, sebanyak 10 liter air limbah yang telah diambil disimpan dalam jerigen untuk diuji lebih lanjut di laboratorium.

3.5 Tahapan Eksperimen

Secara garis besar, tahapan sistematis eksperimen untuk mencapai tujuan penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Tahapan Eksperimen

3.6 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan untuk mengetahui karakteristik awal limbah RPH sebelum perlakuan mencakup parameter yang disajikan pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Hasil Analisa Awal Limbah Cair RPH

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimum
COD	mg/L	1626	200
TSS	mg/L	65	100
pH	-	8,45	6-9

3.7 Preparasi Bahan dan Pembuatan Arang Biji Salak

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa biji salak yang diperoleh dari pedagang *salak pliek* di Pidie Jaya. Biji salak yang dikumpulkan berada dalam kondisi utuh dengan keadaan fisik yang baik, tanpa menetapkan kriteria varietas tertentu untuk selanjutnya diproses menjadi arang.

3.7.1 Tahapan Pembuatan Arang Biji Salak

Proses pembuatan adsorben dari arang biji salak diawali dengan membersihkan biji salak menggunakan air mengalir dan mengeringkannya di bawah sinar matahari, kemudian dipotong untuk memudahkan proses karbonisasi. Biji salak selanjutnya dikarbonisasi menggunakan oven *biochar* pada suhu 420 °C hingga terbentuk arang dan didinginkan. Arang yang dihasilkan kemudian digerus menggunakan alu dan diayak menggunakan ayakan 40 *mesh*.

Selanjutnya adalah proses aktivasi kimia, sebagian arang biji salak yang telah diayak direndam dalam larutan aktivator asam klorida (HCl) 3 N selama 24 jam, kemudian disaring. Arang tersebut selanjutnya dicuci menggunakan *aquades* hingga mencapai pH netral (Nafa dan Khuzaimah, 2024) dan dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air (Simbolon dkk., 2022). Arang aktif yang telah terbentuk disimpan di dalam desikator guna menjaga kelembapannya. Tahapan pembuatan arang biji salak yang melalui proses aktivasi dan tanpa aktivasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Tahapan Pembuatan Arang Biji Salak

3.7.2 Analisis Arang Biji Salak

Sebagai tahap akhir, dilakukan analisis karakterisasi arang teraktivasi dan tidak teraktivasi yang meliputi 3 analisis yaitu sebagai berikut:

1. Rendemen

Rendemen merupakan perbandingan massa produk yang dihasilkan setelah melalui suatu proses tertentu terhadap massa awal material sebelum diproses. Nilai ini diperoleh dengan menimbang berat biji salak sebelum dan sesudah pembakaran (Purnamawati dkk., 2023), yang kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{berat karbon}}{\text{berat bahan}} \times 100 \% \quad (1)$$

2. Kadar Air

Analisis kadar air mengacu pada SNI 06-3730-1995 dengan memanaskan 1 gram sampel arang pada suhu 115 °C selama 3 jam kemudian didinginkan. Perhitungan kadar air dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{berat arang awal} - \text{berat arang akhir}}{\text{berat arang awal}} \times 100 \% \quad (2)$$

3. Kadar Abu

Analisis kadar abu mengacu pada SNI 06-3730-1995 dengan mengabukan 2 gram sampel arang di dalam *furnace* pada suhu 800 °C selama 2 jam, kemudian didinginkan menggunakan desikator dan ditimbang kembali. Perhitungan kadar abu dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{berat arang awal} - \text{berat arang akhir}}{\text{berat arang awal}} \times 100 \% \quad (3)$$

3.8 Variabel Penelitian

Penelitian ini menetapkan tiga jenis variabel untuk mengukur efektivitas arang aktif biji salak dalam mengolah air limbah, yaitu:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen (terikat) (Sugiyono, 2019 dalam Suwarsa dan Hasibuan, 2021). Pada penelitian ini, variabel bebas yaitu dosis arang aktif biji salak teraktivasi dan arang biji salak tanpa aktivasi.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Menurut Sugiyono (2019) dalam Suwarsa dan Hasibuan (2021) variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel ini merupakan respon atau hasil utama yang diukur dalam penelitian, yaitu kadar COD, TSS, dan pH.

3. Variabel Tetap (*Controlled Variable*)

Variabel tetap adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel ini dijaga agar kondisinya selalu sama selama proses eksperimen, meliputi jenis air limbah, volume sampel, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan ukuran partikel arang.

3.9 Adsorpsi pada Air Limbah

Proses adsorpsi dilakukan menggunakan metode *batch* dengan bantuan alat *Jar Test* untuk menguji dua jenis adsorben, yaitu arang biji salak teraktivasi dan arang biji salak tidak teraktivasi. Pengujian ini menggunakan 500 mL air limbah RPH dalam satu gelas *beaker*, yang terdiri dari 10 sampel dengan variasi dosis arang yaitu 0,5 gram, 1 gram, 1,5 gram, 2 gram, dan 2,5 gram serta satu sampel kontrol (0 gram) yang tetap diberikan perlakuan pengadukan. Pencampuran dilakukan pada kecepatan 50 rpm selama 60 menit, dilanjutkan dengan proses pengendapan selama 60 menit (Simbolon dkk., 2022). Filtrat yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengukur kadar COD, TSS, dan nilai pH. Secara keseluruhan, rancangan percobaan yang meliputi variasi jenis dan dosis adsorben, serta kondisi operasi pengujian disajikan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Desain Eksperimen Penelitian

Jenis Adsorben	Dosis Adsorben (gram)	Volume Air Limbah	Kecepatan dan Waktu Pengadukan	Pengendapan
Arang Teraktivasi	0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5	500 mL	50 rpm	60 menit
Arang Tidak Teraktivasi			selama 60 menit	

3.10 Pengukuran Parameter

Pengukuran parameter kualitas air limbah dilakukan di laboratorium, merujuk pada prosedur yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI).

3.10.1 Pengukuran COD

Pengukuran nilai COD mengacu pada prosedur SNI 6989.2:2009. Prosedur pengukuran dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Sampel air limbah RPH sebanyak 2,5 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi COD.
2. Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebanyak 1,5 mL dan larutan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 3,5 mL ditambahkan ke dalam tabung tersebut, kemudian tabung ditutup rapat dan dihomogenkan.
3. Tabung dimasukkan ke dalam reaktor COD yang telah dipanaskan hingga suhu 150 °C kemudian proses pemanasan dilakukan selama 2 jam.
4. Setelah pemanasan selesai, tabung didinginkan hingga mencapai suhu ruang.
5. Nilai COD sampel diukur dan dibaca menggunakan instrumen COD meter.

3.10.2 Pengukuran TSS

Pengukuran TSS mengacu pada SNI 6989.3:2019. Prosedur pengukuran dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Media penyaring diletakkan pada peralatan filtrasi, lalu dibilas dengan *aquades* sebanyak 20 mL.
2. Media penyaring dipindahkan ke dalam oven untuk dipanaskan pada suhu 103 °C sampai 105 °C selama 1 jam.
3. Media penyaring didinginkan dalam desikator dan ditimbang menggunakan neraca analitik hingga diperoleh berat tetap/konstan (W_0).
4. Media penyaring diletakkan kembali pada peralatan vakum dan dibasahi dengan sedikit *aquades*.
5. Sampel air limbah sebanyak 100 mL (atau volume tertentu sesuai kekeruhan) disaring dengan sistem vakum sampai semua air melewati saringan.
6. Media penyaring dibilas sebanyak 3 kali, masing-masing dengan 10 mL *aquades* untuk melarutkan zat yang menempel.
7. Media penyaring yang berisi residu dipindahkan ke dalam oven dan dipanaskan kembali pada suhu 103 °C sampai 105 °C selama 1 jam.

8. Media penyaring didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali hingga diperoleh berat tetap (W_1)
9. Kadar TSS dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(W_1 - W_0)}{V} \times 1000 \quad (4)$$

Keterangan:

- W_0 : Massa media penyaring awal (mg)
 W_1 : Massa media penyaring dan residu kering (mg)
 V : Volume contoh uji (mL)

3.10.3 Pengukuran pH

Pengukuran nilai pH dilakukan menggunakan alat pH meter dengan prosedur yang mengacu pada SNI 6989.11:2019, yaitu sebagai berikut:

1. Alat pH meter dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan larutan penyangga (*buffer solution*) untuk memastikan akurasi.
2. Elektroda dibersihkan dengan cara dikeringkan menggunakan tisu, lalu dibilas menggunakan *aquades*.
3. Sampel air limbah dituangkan ke dalam gelas piala (*beaker glass*) berukuran 25 mL.
4. Elektroda dibilas menggunakan sedikit sampel limbah agar kondisi elektroda sesuai dengan sampel.
5. Elektroda dicelupkan sepenuhnya ke dalam gelas piala berisi sampel limbah.
6. Pembacaan pada alat ditunggu hingga angka indikator stabil, kemudian nilai pH yang tertera dicatat.

3.11 Analisis Data

Data konsentrasi polutan yang diperoleh dari hasil pengukuran laboratorium selanjutnya dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Analisis ini berfokus pada dua indikator utama kinerja adsorpsi, yaitu kapasitas adsorpsi (*adsorption capacity*) dan efisiensi penyisihan (*removal efficiency*). Penentuan kemampuan arang aktif biji salak dalam menyerap polutan per satuan berat,

digunakan persamaan kapasitas adsorpsi (q_e). Sedangkan untuk mengetahui persentase keberhasilan penurunan kadar polutan dalam air limbah, digunakan persamaan efisiensi penyisihan (E) (Anggriani dkk., 2021).

3.11.1 Kapasitas Adsorpsi (q_e)

Kapasitas adsorpsi (q_e) dianalisis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{W} \right) \times V \quad (5)$$

Selain kapasitas adsorpsi (q_e), dihitung juga nilai kapasitas adsorpsi rata-rata (q_r) dari seluruh variasi dosis untuk mengetahui potensi daya serap rata-rata adsorben. Nilai q_r dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_r = \frac{\sum q_e}{n} \quad (6)$$

Keterangan:

- q_e : Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- C_0 : Konsentrasi awal polutan (mg/L)
- C_e : Konsentrasi akhir polutan setelah adsorpsi (mg/L)
- V : Volume larutan limbah (L)
- W : Massa adsorben arang aktif (g)
- q_r : Kapasitas adsorpsi rata-rata (mg/g)
- $\sum q_e$: Jumlah kapasitas adsorpsi (mg/g)
- n : Jumlah variasi dosis

3.11.2 Efisiensi Penyisihan (E)

Persentase efisiensi penyisihan (E) dianalisis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E (\%) = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \% \quad (7)$$

Keterangan:

E : Efisiensi penyisihan adsorpsi (%)

C_0 : Konsentrasi awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi setelah pengolahan (mg/L)

Data hasil analisis kemudian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menentukan kondisi operasi yang paling optimum dalam proses pengolahan limbah cair Rumah Pemotongan Hewan (RPH).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Arang Biji Salak

Pengujian karakteristik arang biji salak dilakukan untuk mengetahui kualitas material adsorben. Pada penelitian ini, parameter uji karakteristik yang dilakukan dibatasi pada tiga pengujian utama, yaitu persentase rendemen, kadar air, dan kadar abu. Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik arang biji salak teraktivasi dan tidak teraktivasi, disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Karakteristik Arang Biji Salak

Parameter Uji	Arang Tidak Teraktivasi	Arang Teraktivasi	Standar Mutu
Rendemen Karbonisasi	40 %	-	-
Rendemen Aktivasi	-	88,71 %	-
Kadar Air	5,10 %	2,71 %	4,4 %
Kadar Abu	58,7 %	59,5 %	2,5 %

Berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan rendemen karbonisasi yang diperoleh adalah 40 % dari total 2.500 gram bahan baku. Secara spesifik, rendemen tidak diatur dalam standar mutu, nilai ini menunjukkan persentase padatan karbon yang berhasil dipertahankan setelah material kehilangan kandungan air dan zat terbang (*volatile matter*) selama pemanasan suhu tinggi. Merujuk pada Novitasari dkk. (2024), perolehan rendemen dan kualitas karbon sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya jenis bahan baku, komposisi, berat jenis, kristalinitas bahan baku, serta proses karbonisasi itu sendiri. Selanjutnya, pada tahap aktivasi kimia menggunakan 100,1198 gram arang biji salak, diperoleh rendemen aktivasi sebesar 88,71%. Berdasarkan Nafa dan Khuzaimah (2024) terjadinya penyusutan massa setelah tahap aktivasi membuktikan efektivitas aktivator HCl, penurunan persentase massa tersebut menunjukkan bahwa senyawa organik dan pengotor sisa pembakaran (tar) yang menyumbat pori karbon telah berhasil dilarutkan dan terbuang pada saat proses pencucian arang dilakukan.

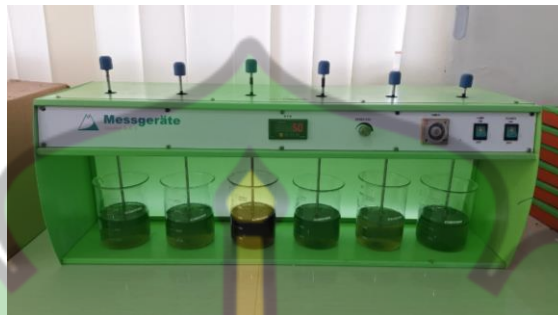
Parameter berikutnya adalah kadar air, yang bertujuan mengetahui kelembapan dalam pori-pori arang. Berdasarkan hasil pengujian, arang tidak teraktivasi memiliki kadar air sebesar 5,10 %, nilai tersebut masih melebihi batas maksimal standar mutu 4,4 %. Namun, setelah melalui proses aktivasi, kadar air berhasil diturunkan secara signifikan menjadi 2,71%. Menurut studi Nafa dan Khuzaimah (2024) rendahnya kadar air ini dipengaruhi oleh sifat higroskopis aktivator HCl, optimalnya pengeringan, serta ukuran partikel arang. Berdasarkan Simbolon dkk. (2022), semakin halus ukuran partikel karbon aktif, kandungan air yang tersimpan akan semakin sedikit karena pori-pori udara mengecil sehingga air tidak mudah masuk kembali, kadar air yang rendah menguntungkan karena memperluas area pori-pori arang kosong untuk menyerap adsorbat.

Analisis kadar abu menunjukkan nilai kadar abu arang tidak teraktivasi mencapai 58,7 % dan arang teraktivasi sebesar 59,5 %, keduanya belum memenuhi standar mutu yang menetapkan batas maksimum sebesar 2,5 %. Merujuk pada Zulfadhli dan Iriany (2017) dalam Novitasari dkk. (2024), tingginya nilai ini dikarenakan besarnya komponen anorganik bawaan biji salak serta mineral dan air yang masih terperangkap di dalam pori karbon. Berdasarkan penelitian Simbolon dkk. (2022), faktor lain yang memicu tingginya kadar abu meliputi densitas ukuran partikel dan sisa zat terbang (*volatile matter*) karena ketidaksempurnaan proses karbonisasi, yang berdampak pada menurunnya persentase karbon terikat (*fixed carbon*) sehingga membatasi ketersediaan situs aktif pada rongga pori.

4.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar Pencemar pada Air Limbah RPH

Kinerja arang biji salak teraktivasi dan tidak teraktivasi sebagai adsorben dievaluasi melalui perbandingan kualitas air limbah sebelum dan sesudah perlakuan. Parameter penentu yang dianalisis meliputi efisiensi penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta perubahan derajat keasaman (pH). Sebelum mengkaji lebih jauh mengenai efisiensi penurunan setiap parameter secara kuantitatif, tahapan pengaplikasian adsorben

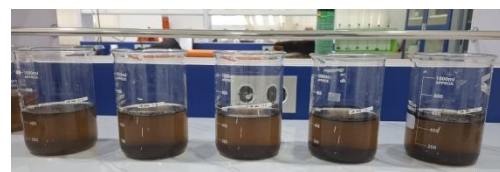
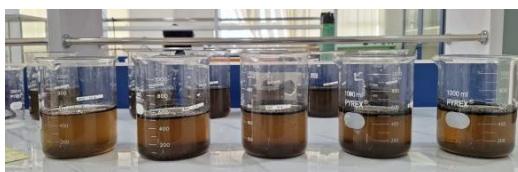
pada air limbah dalam penelitian ini dioperasikan menggunakan sistem *batch*, di mana media arang dicampurkan langsung ke dalam gelas *beaker* yang berisi air limbah RPH, lalu diberikan perlakuan pengadukan dengan menggunakan *jar test* pada kecepatan 50 rpm selama 60 menit.



Gambar 4.1 Proses Pengadukan Adsorben pada Air Limbah

Menurut studi Simbolon dkk. (2022), jika pengadukan terlalu lambat, kontak antara arang dan polutan menjadi kurang maksimal sehingga proses adsorpsi berjalan lambat. Sebaliknya, pengadukan yang terlalu cepat akan membuat polutan tidak memiliki waktu yang cukup untuk menempel dan berikatan kuat di permukaan arang, serta berisiko merusak struktur fisik arang itu sendiri. Sejalan dengan itu, proses pengadukan dengan *jar test* dilakukan pada kecepatan 50 rpm selama 60 menit bertujuan untuk menciptakan kondisi homogenitas antara air limbah dan arang sekaligus memberikan waktu kontak yang memadai agar proses penyerapan polutan berlangsung secara optimal.

Setelah waktu pengadukan selesai, sampel dibiarkan selama 60 menit untuk proses pengendapan. Pada fase ini, butiran arang yang memiliki massa jenis lebih berat secara perlahan turun ke dasar wadah sekaligus membawa material padatan tersuspensi yang menempel pada permukaannya. Perbandingan visual air limbah setelah pengendapan dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 berikut.



Gambar 4.2 Pengendapan Sampel Setelah Pengadukan, Arang Teraktivasi (kiri) dan Arang Tidak Teraktivasi (kanan)



Gambar 4.3 Filtrat Sampel Setelah Pengendapan, Arang Teraktivasi (kiri) dan Arang Tidak Teraktivasi (kanan)

Secara visual, perubahan kejernihan secara fisik tersebut menjadi indikasi awal yang positif bahwa arang biji salak mampu menjalankan fungsinya sebagai media pengikat polutan. Namun, kualitas air limbah pada dasarnya tidak dapat dipastikan hanya melalui pengamatan kasatmata. Guna membuktikan efektivitas perubahan visual tersebut, analisis lanjutan dilakukan terhadap sampel air untuk mengukur parameter COD, TSS, dan pH secara spesifik.

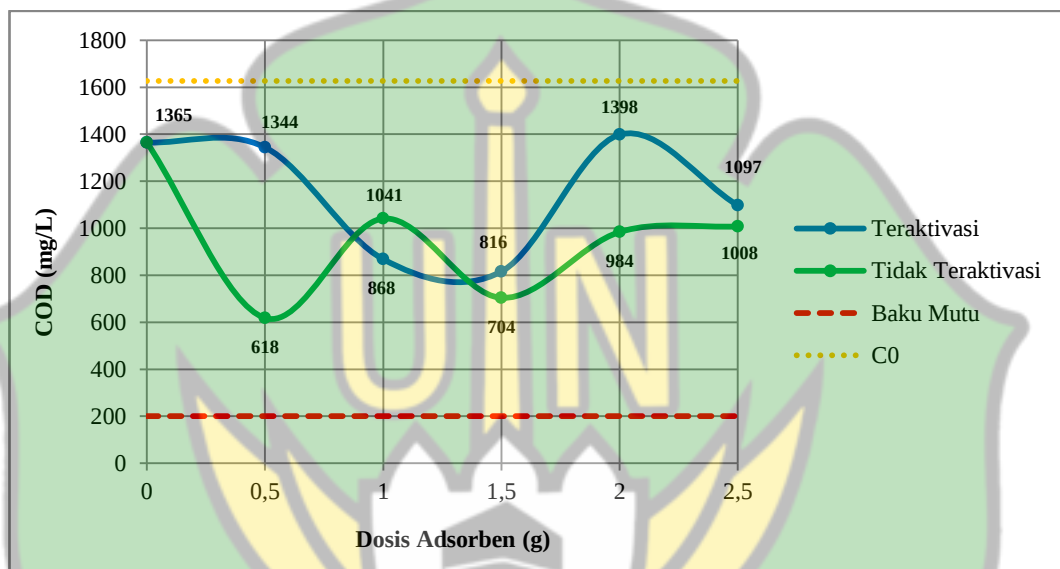
4.2.1 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar COD

Pengujian efektivitas penyisihan terhadap parameter COD dilakukan dengan menerapkan dua variabel, yaitu variasi jenis adsorben dan dosis adsorben. Hasil pengujian lebih lanjut terkait penyisihan kadar COD setelah diberikan perlakuan disajikan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar COD

Volume (L)	Jenis Adsorben	Dosis (g)	COD (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	q_e (mg/g)	q_r (mg/g)	E (%)
0,5	Tanpa Adsorben	C_0	1626	200	-	-	-
		0	1365		-	-	16,05
	Arang Teraktivasi	0,5	1344	200	282	218,76	17,34
		1	868		379		46,62
		1,5	816		270		49,82
		2	1398		57		14,02
		2,5	1097		105,8		32,53
		0,5	618		1008		61,99
	Arang Tidak Teraktivasi	1	1041	200	292,5	378,39	35,98
		1,5	704		307,3		56,70
		2	984		160,5		39,48
		2,5	1008		123,6		38,01

Nilai konsentrasi awal (C_0) COD pada sampel air limbah RPH tercatat sangat tinggi, yaitu sebesar 1626 mg/L. Menurut studi Mary dkk. (2022) tingginya nilai ini dikarenakan air limbah RPH memiliki kandungan polutan organik yang tinggi, polutan tersebut berasal dari darah, lemak, protein, dan kotoran hewan selama proses penyembelihan dan pembersihan. Fluktuasi nilai konsentrasi COD setelah perlakuan divisualisasikan melalui grafik pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Fluktuasi Kadar COD Air Limbah RPH

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa penurunan konsentrasi COD untuk kedua jenis adsorben cenderung sangat fluktuatif pada berbagai variasi dosis. Pada penggunaan arang teraktivasi, titik penurunan paling optimal terjadi pada dosis 1,5 gram dengan sisa konsentrasi COD 816 mg/L, namun kembali mengalami lonjakan tajam pada penambahan dosis 2 gram. Pola serupa juga terjadi pada penggunaan arang tidak teraktivasi, di mana titik terendah dicapai pada dosis 0,5 gram dengan konsentrasi COD 618 mg/L kemudian kembali berfluktuasi naik pada dosis-dosis berikutnya. Menurut Simbolon dkk. (2022) fenomena fluktuasi ini terjadi karena tingginya beban polutan organik awal yang membuat arang mengalami kejenuhan (*saturation*), yang pada akhirnya memicu proses desorpsi, yaitu terlepas kembali polutan (adsorbat) yang sebelumnya sudah menempel pada arang ke dalam air limbah.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, sisa konsentrasi COD pada seluruh variasi dosis masih berada di atas target baku mutu (200 mg/L). Penggunaan dosis maksimal sebesar 2,5 gram pada pengujian skala laboratorium ini ternyata belum cukup untuk mengimbangi tingginya beban polutan organik awal (1626 mg/L). Kondisi ini menunjukkan bahwa arang biji salak telah mengalami fase jenuh, di mana seluruh rongga pori penyerap telah terisi penuh oleh molekul COD bahkan sebelum waktu pengadukan berakhir. Guna mengatasi kondisi tersebut, nilai kapasitas adsorpsi rata-rata (q_r) pada Tabel 4.2 dapat difungsikan sebagai acuan perhitungan teoritis. Melalui nilai q_r , estimasi kebutuhan massa adsorben yang lebih proporsional dapat diproyeksikan. Hal ini dapat menjadi bahan evaluasi untuk menentukan penambahan dosis pada pengujian selanjutnya agar COD turun mencapai batas aman.

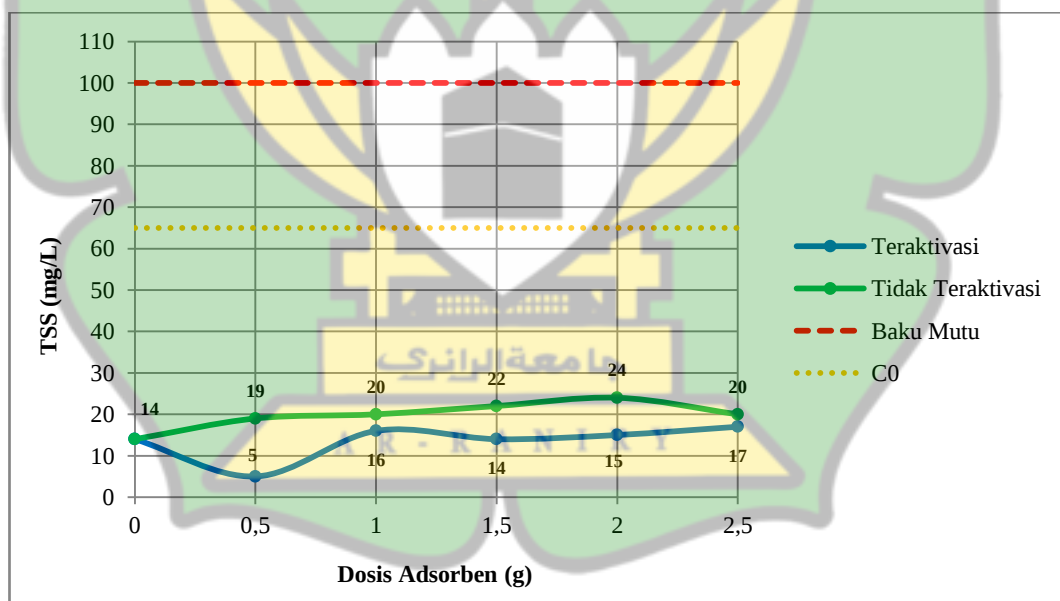
4.2.2 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar TSS

Pengujian efektivitas penyisihan terhadap parameter TSS dilakukan untuk mengetahui kemampuan arang biji salak dalam menyisihkan zat padat tersuspensi yang terdapat pada air limbah. Data hasil pengukuran kadar TSS setelah perlakuan disajikan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Efektivitas Arang Biji Salak dalam Menyisihkan Kadar TSS

Volume (L)	Jenis Adsorben	Dosis (g)	TSS (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	q_e (mg/g)	q_r (mg/g)	E (%)
0,5	Tanpa Adsorben	C_0	65	100	-	-	-
		0	14		-	-	78,46
	Arang Teraktivasi	0,5	5	100	60	24,72	92,31
		1	16		24,5		75,38
		1,5	14		17		78,46
		2	15		12,5		76,92
		2,5	17		9,6		73,85
		0,5	19		46		70,77
	Arang Tidak Teraktivasi	1	20	100	22,5	20,42	69,23
		1,5	22		14,3		66,15
		2	24		10,2		63,08
		2,5	20		9		69,23

Nilai konsentrasi awal (C_0) TSS pada sampel air limbah RPH tercatat sebesar 65 mg/L. Nilai tersebut secara regulasi telah memenuhi ambang batas baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014, yaitu maksimal 100 mg/L. Kondisi TSS yang sudah memenuhi baku mutu sejak awal ini berkaitan erat dengan lokasi pengambilan sampel yang dilakukan pada kolam akhir (*outlet*) unit IPAL RPH. Hal ini mengindikasikan bahwa unit IPAL bawaan RPH tersebut telah bekerja secara efektif dalam mengendapkan material padat tersuspensi melalui proses sedimentasi alami sebelum air dialirkan ke kolam pelepasan akhir. Meskipun baku mutu sudah tercapai, pengujian TSS tetap dilanjutkan untuk melihat seberapa jauh kemampuan maksimal arang dalam penjernihan air limbah, sekaligus memastikan bahwa penambahan adsorben apakah dapat membuat air limbah menjadi lebih keruh atau tidak. Fluktuasi nilai konsentrasi TSS dari tanpa penggunaan adsorben hingga variasi dosis maksimal 2,5 gram divisualisasikan melalui grafik pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Grafik Fluktuasi Kadar TSS Air Limbah RPH

Berdasarkan Gambar 4.5, pola penyisihan TSS menunjukkan bahwa arang teraktivasi mendominasi dengan kinerja yang baik, di mana titik penyisihan paling optimal tercapai pada penggunaan dosis terendah yaitu 0,5 gram. Pada titik tersebut, kadar TSS berhasil dijerap hingga tersisa 5 mg/L. Sebaliknya, arang

tidak teraktivasi menunjukkan performa yang kurang efektif. Pada seluruh variasi dosisnya, sisa kadar TSS berada pada rentang 19-24 mg/L. Angka tersebut secara faktual justru lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi TSS pada kontrol tanpa adsorben (14 mg/L). Sejalan dengan pernyataan Lestari dkk. (2024) bahwa arang tidak teraktivasi masih banyak menyimpan senyawa pengotor sisa pembakaran pada strukturnya. Ketika diaduk dalam air limbah, senyawa pengotor sisa pembakaran tersebut terlepas dan ikut terukur sebagai tambahan padatan tersuspensi, sehingga nilai TSS menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, pengotor fisik pada arang teraktivasi telah meluruh selama tahapan perendaman dan pencucian, di mana aktivator kimia berfungsi efektif melarutkan kotoran penyumbat pori dan permukaan adsorben (Nafa dan Khuzaimah 2024). Hal ini membuat material arang teraktivasi menjadi lebih bersih dan stabil secara fisik, sehingga tidak menyumbang kekeruhan tambahan saat diaplikasikan pada air limbah.

Lebih lanjut, penyisihan kadar TSS paling optimal tercapai pada dosis terendah yaitu 0,5 gram. Hal ini dipengaruhi oleh perbandingan yang seimbang antara sedikitnya polutan dengan ketersediaan situs aktif permukaan adsorben. Sebaliknya, kenaikan dosis hingga 2,5 gram justru menurunkan kinerja adsorben karena sisa TSS kembali naik. Menurut Simbolon dkk. (2022), tingginya kepadatan butiran memicu gesekan mekanis berlebihan selama pengadukan, yang berisiko merusak struktur fisik arang hingga terkikis menjadi serpihan debu dan melayang dalam air limbah. Sejalan dengan Anggraini dkk. (2023) menjelaskan bahwa material tersuspensi memicu kekeruhan air, serpihan debu yang melayang tersebut menyumbang kekeruhan baru hingga menaikkan nilai TSS. Dengan demikian, dosis kecil lebih menguntungkan karena serapan polutannya maksimal tanpa memicu kekeruhan baru dari terkikisnya partikel adsorben.

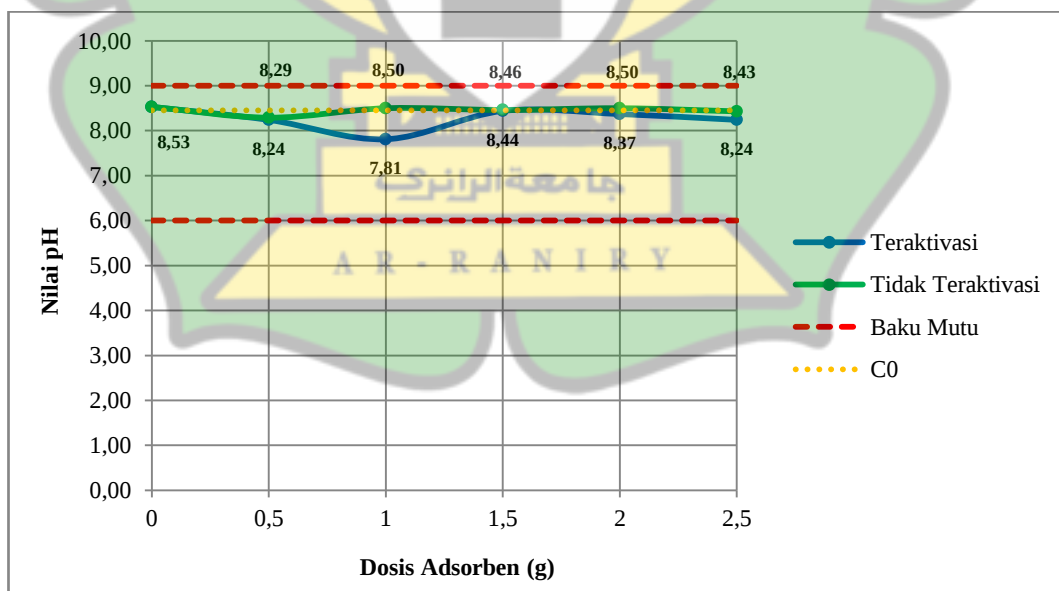
4.2.3 Analisis Perubahan Nilai pH Air Limbah

Pengukuran parameter derajat keasaman (pH) dilakukan untuk memantau kestabilan sifat asam-basa air limbah setelah berinteraksi dengan media arang biji salak. Hasil pengukuran fluktuasi nilai pH sebelum dan setelah perlakuan disajikan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Perubahan Nilai pH Air Limbah RPH

Jenis Adsorben	Dosis (g)	pH	Baku Mutu
Tanpa Adsorben	C_0	8,45	6–9
	0	8,53	
Arang Teraktivasi	0,5	8,24	6–9
	1	7,81	
	1,5	8,44	
	2	8,37	
	2,5	8,24	
Arang Tidak Teraktivasi	0,5	8,29	6–9
	1	8,50	
	1,5	8,46	
	2	8,50	
	2,5	8,43	

Nilai pH awal (C_0) pada sampel air limbah tercatat sebesar 8,45. Kondisi ini secara regulasi menunjukkan bahwa air limbah tergolong aman karena berada tepat di dalam rentang baku mutu Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014, yaitu pada nilai 6-9. Fluktuasi derajat keasaman (pH) air limbah RPH, divisualisasikan melalui grafik garis pada Gambar 4.6 berikut.

**Gambar 4.6** Grafik Fluktuasi Nilai pH pada Air Limbah RPH

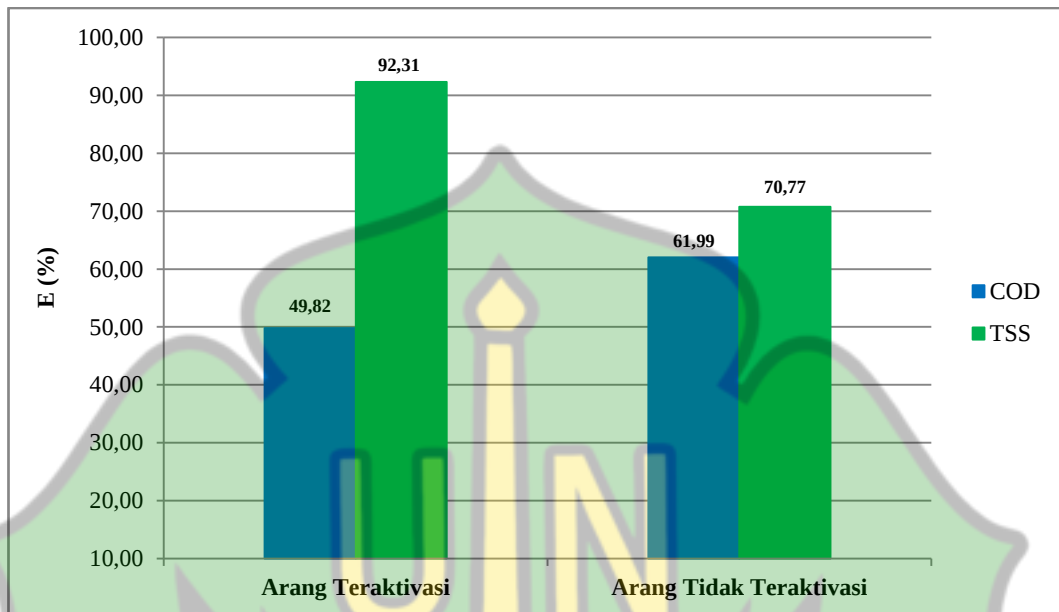
Berdasarkan Gambar 4.6, seluruh variasi perlakuan tidak menyebabkan perubahan pH ekstrem dan konsisten berada pada zona aman baku mutu. Nilai pH pada kedua jenis arang cenderung sangat stabil. Menurut Izan dkk. (2015) dalam Nafa dan Khuzaimah (2024) menjelaskan bahwa arang teraktivasi memiliki stabilitas fisik dan kimia yang baik karena adanya proses penetralan setelah perendaman. Sementara arang tidak teraktivasi keseimbangan muatan alami tetap utuh karena tidak terpapar oleh zat asam. Dengan demikian, selama proses pengadukan berlangsung, tidak terjadi pelepasan ion berlebih yang berpotensi mengganggu keseimbangan asam-basa pada air limbah.

Nilai pH sempat mengalami penurunan 7,81 pada penggunaan 1 gram arang teraktivasi, namun kembali stabil pada dosis berikutnya. Mengacu pada Nafa dan Khuzaimah (2024), pencucian arang setelah aktivasi bertujuan menetralkan larutan asam, fluktuasi sementara ini terjadi akibat sebagian kecil residu aktivator (HCl) di pori arang yang belum ternetralkan sepenuhnya terlarut selama pengadukan, sehingga memengaruhi nilai keasaman air limbah. Secara keseluruhan, dinamika perubahan pH berada dalam batas toleransi yang baik. Variasi dosis adsorben tidak memicu fluktuasi berbahaya, dengan nilai pH tergolong stabil pada kisaran 8. Sisnayati dkk. (2021) menegaskan bahwa pH yang terlalu asam berpotensi memperburuk pencemaran perairan. Kestabilan ini mengonfirmasi bahwa arang biji salak sangat aman diaplikasikan sebagai pengolahan alternatif air limbah RPH tanpa menimbulkan risiko asidifikasi (pengasaman) lanjutan karena tidak memengaruhi nilai derajat keasaman (pH).

4.3 Perbandingan Efisiensi Penyisihan Kadar Pencemar antara Arang Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi

Berdasarkan hasil pengujian, evaluasi menyeluruh perlu dilakukan untuk membandingkan kinerja kedua jenis media adsorben. Secara umum, kedua jenis arang menunjukkan kemampuan yang sangat baik sebagai adsorben dalam pengolahan air limbah RPH, namun keduanya memiliki keunggulan yang spesifik pada parameter yang berbeda. Perbandingan tingkat efisiensi optimum dari kedua

jenis adsorben terhadap penyisihan parameter COD dan TSS air limbah disajikan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Perbandingan Efisiensi Optimum Penyisihan COD dan TSS

Mengacu pada Gambar 4.7, arang tidak teraktivasi menunjukkan performa yang secara signifikan lebih unggul dalam penyisihan parameter COD. Efisiensi penurunan COD tertinggi oleh arang tidak teraktivasi dicapai dengan persentase penyisihan 61,99 %. Sebaliknya, arang teraktivasi mampu mencapai efisiensi optimum sebesar 49,82 %. Secara teoritis, arang yang teraktivasi asam klorida (HCl) mampu melarutkan pengotor sisa pembakaran dan pori-pori arang menjadi lebih terbuka sehingga daya adsorpsi menjadi lebih baik.

Namun, fenomena efisiensi COD yang justru lebih unggul pada arang tidak teraktivasi berkaitan erat dengan perubahan muatan elektrostatis pada permukaan adsorben. Menurut Hudayarizka dkk. (2025) penggunaan asam kuat pada proses aktivasi memicu terjadinya protonasi pada gugus fungsional karbon aktif, kondisi ini menimbulkan gaya tolak-menolak (*electrostatic repulsion*) terhadap polutan air limbah RPH. Sebaliknya, ketiadaan intervensi kimia menjaga keseimbangan muatan alami arang tidak teraktivasi. Mengacu pada Lestari dkk. (2024), arang tidak teraktivasi memiliki daya jerap yang baik berkat gugus fungsi

alami di permukaannya, sehingga interaksi tarik-menarik dengan polutan pada air limbah berlangsung lebih optimal.

Kondisi berkebalikan terjadi pada penyisihan TSS, di mana arang teraktivasi tampil dominan dengan efisiensi 92,31 %, dibandingkan arang tidak teraktivasi sebesar 70,77 %. Menurut Nafa dan Khuzaimah (2024), aktivator kimia (HCl) efektif melarutkan kotoran penyumbat, menghasilkan struktur adsorben yang lebih bersih dan stabil untuk menjerap padatan tersuspensi. Secara keseluruhan, pemanfaatan kedua varian ini saling melengkapi. Arang teraktivasi efektif untuk target penjernihan fisik (TSS), disisi lain arang tidak teraktivasi tetap efektif menurunkan beban organik (COD) berkat gugus fungsi alaminya (Lestari dkk., 2024). Secara keseluruhan, pemanfaatan kedua jenis arang biji salak ini menunjukkan kemampuan yang saling melengkapi untuk menghadirkan alternatif pengolahan yang solutif.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Persentase rendemen karbonisasi arang biji salak sebesar 40 % dan setelah aktivasi 88,71 %. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar air arang teraktivasi (2,71 %) telah memenuhi standar maksimal 4,4 %, sedangkan arang tidak teraktivasi belum memenuhi (5,10 %). Adapun hasil analisis kadar abu kedua jenis arang (58,7 % dan 59,5 %) belum memenuhi batas maksimal 2,5 %.
2. Penggunaan adsorben ini mampu menurunkan konsentrasi awal COD dari 1626 mg/L menjadi 618 mg/L, serta menurunkan konsentrasi awal TSS dari 65 mg/L menjadi 5 mg/L. Selain itu, pengaplikasian kedua jenis arang tidak memberikan dampak fluktuasi yang ekstrem terhadap nilai pH, air limbah stabil pada rentang baku mutu lingkungan, yaitu 6–9.
3. Arang tidak teraktivasi lebih efisien dalam menurunkan kadar COD sebesar 61,99 % karena keseimbangan muatan alami permukaannya. Sebaliknya, arang teraktivasi lebih efektif dalam penyisihan kadar TSS sebesar 92,31 % karena kondisi materialnya lebih bersih dan stabil setelah melalui proses perendaman dan pencucian.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dan keterbatasan dalam penelitian ini, beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Disarankan menggunakan metode pirolisis pada tahap karbonisasi untuk meminimalisasi kadar abu sekaligus mencegah kerusakan kerangka karbon, sehingga luas permukaan pori adsorben dapat terbentuk secara lebih maksimal.

2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat mengkaji variasi kecepatan pengadukan dan durasi waktu kontak guna menganalisis kinetika adsorpsi, sehingga laju penyerapan polutan serta waktu kesetimbangan yang paling optimal dapat diketahui.
3. Mengingat penelitian ini masih menggunakan metode *batch* skala laboratorium, disarankan untuk mengevaluasi adsorpsi menggunakan metode kolom (sistem dinamis) guna menguji kinerja adsorben dengan aliran limbah yang kontinu.



DAFTAR PUSTAKA

- Adlin, I. A., Ismet, R., Amalia, S., Putri, A., & Jufrinaldi. (2025). Optimasi Suhu Pembuatan Arang Aktif dari Ampas Kopi Terhadap Penurunan Kadar COD dan BOD pada Air Limbah Tahu. *Jurnal Ristera*, 3(2), 2–6.
- Adriani, E., Surono, Y., Budiningtyas, D. P., & Azizah. (2024). Penyuluhan Sertifikasi Halal dalam Meningkatkan Produktivitas Rumah Potong Hewan. *Pengabdian Deli Sumatera*, 3(2), 91–96.
- Aini, N., Rahayu, A., & Jamilatun, S. (2022). Potensial Biosorben dalam Removal Fosfat dengan Metode Adsorpsi : A Review. *Seminar Nasional Penelitian*.
- Al Qory, D. R., Ginting, Z., & Bahri, S. (2021). Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Adsorben Alami dengan Aktivator H_2SO_4 . *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*.
- Anggraini, I. F., Kusniawati, E., & Mayangsari, M. (2023). Pemanfaatan Tongkol Jagung pada Pembuatan Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivator (Na_2CO_3) Serta Pengaruhnya Terhadap Sampel Air Sumur Gali Menggunakan Parameter Ph, Turbidity, Total Suspended Solid (TSS) & Total Disolved Solid (TDS). *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(5), 2261–2272.
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Batu, M. S., Naes, E., & Kolo, M. M. (2022). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Sabut Pinang Asal Pulau Timor Sebagai Biosorben Logam Ca dan Mg dalam Air Tanah. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), 21–25.
- Botahala, L. (2019). *Perbandingan Efektivitas Daya Adsorpsi Sekam Padi dan Cangkar Kemiri Terhadap Logam Besi (Fe) pada air Sumur Gali*. Deepublish.
- Cahyani, N. A., & Rosariawari, F. (2025). Efektifitas Metode Elektrokoagulasi dengan Penambahan Medan Magnet dalam Menyisihkan TSS dan COD Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan. *Jurnal Serambi Engineering*, X(1).
- Carlose, J. (n.d.). *Ilustrasi Buah*. <https://id.pinterest.com/jokarlos47/>

- Depositphotos. (n.d.). *Bagian dari Tanaman Salak atau Snake Fruit*.
https://st4.depositphotos.com/5918862/31357/v/1600/depositphotos_313577606-stock-illustration-parts-salak-snake-fruit-salacca.jpg
- Ernawati, L. (2022). *Kajian Dasar Adsorpsi dan Difusi pada Media Berpori*. Institut Teknologi Kalimantan (ITK) Press.
- Gaznur, Z. M., Amran, W., Resthu, M., Rahly, F., Fitri, C. A., & Koesmara, H. (2026). Environmental Impact Analysis of Wastewater from Keudah Slaughterhouse in Banda Aceh City. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 16(1), 167–169.
- Herman, H., Setianto, Y. A., & Sulistyowati, L. (2023). Analisis Pengelolaan Air Limbah Rumah Potong Hewan dan Dampaknya Terhadap Lingkungan Ditinjau dari Perspektif One Health (Studi kasus pada UPTD Rumah Potong Hewan Jone). *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan*, 17(4), 2784.
- Hudayarizka, R., Putri, R. T., Purwanto, M., & Ariani, I. K. (2025). Analisis Pengaruh Variasi Aktivator Kimia Pada Karbon Aktif Kayu Sengon Untuk Pengolahan Filtrasi Air Asam Tambang. *SPECTA Journal of Technology*, 9(2), 180–186.
- Irmayanti, N. I., & Mirwan, M. (2025). Uji Efektivitas Kombinasi Filter-Adsorpsi Arang Tempurung Kelapa pada Penurunan COD dan TSS Limbah Cair RPH. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(2), 13007–13018.
- Izmah, A., Suprayogi, D., & Nengse, S. (2023). Reduksi Bahan Organik (Amonia) pada Air Limbah Menggunakan Limbah Bulu Ayam sebagai Alternatif Adsorben. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 7(1), 46–53.
- Jatmiko, A. R., Parwanti, A., Junaedi, Ali, M., Putra, A. Y. A., & Setyawan, R. (2025). Pemberdayaan Masyarakat dalam Mengelola Limbah Rumah Potong Hewan Berbasis Smart Farming Desa Candimulyo, Jombang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 4(2), 7166–7172.
- Kholif, M. Al, Rohmah, M., Nurhayati, P. I., & Walujo, A. (2022). Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 14(72), 100–113.

- Komala, R., Dewi, D. S., & Pandiyah, N. (2021). Proses Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Kacang Tanah Terhadap Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Redoks*, 6(51), 139–148.
- Lawal, I. M., Soja, U. B., Jagaba, A. H., Hayder, G., Abubakar, S., & Umaru, I. (2023). Adsorption of Abattoir Wastewater Contaminants by Coconut Shell-Activated Carbon. *Sustainability challenges and delivering practical engineering solutions: resources, materials, energy, and buildings*.
- Lestari, R. A. S., Firyanto, R., & Sitompul, H. (2024). Uji Daya Adsorpsi Adsorben Arang Biji Salak untuk Menjerap Methylen Blue. *Inovasi Teknik Kimia*, 9(1), 1–8.
- Mary, N., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., Djelal, H., Assadi, A. A., Nguyen-tri, P., & Kane, A. (2022). Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. *Processes*, 10(7), 1–28.
- Maulidiyah, T., Rahmayanti, A., & Hamidah, L. N. (2021). Efektifitas Biosorben Arang Biji Salak (*Salacca zalacca*) dalam Mengurangi Pewarna Remazol Brilliant Blue dengan Variasi Konsentrasi. *Jurnal*, 4(1), 80–88.
- Nafa, K., & Khuzaimah, S. (2024). Pengaruh Aktivator HCL dalam Arang Tempurung Kelapa Guna Menurunkan Kadar COD, BOD, dan TSS pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Integrasi*, 16(1), 41–47.
- Narulitas, I., Saragih, G. M., Marhadi, & Kalsum, S. U. (2025). Penurunan Kadar Pencemar Limbah Cair Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Environmental Pollution Journal*, 5, 230–238.
- Novitasari, D., Lamuru, A. S., & Mahirullah. (2024). Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet Melalui Karbonasi Suhu 600 °C dengan Aktivator KOH. *Jurnal Crystal*, 6(1), 35–44.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Purnamawati, N., Novrianti, Husbani, A., Melysa, R., & Mashitta, N. (2023). Uji Kualitas Sintesis Karbon Aktif dari Pelepah Aren Teraktivasi Asam Fosfat. *Journal of Research and Education Chemistry (JREC)*, 5(2), 120–129.

- Putri, T. M. (2026). *RPH Siapkan 50 Ton Daging untuk Meugang*. RRI. <https://rri.co.id/banda-aceh/regional/2173934/rph-siapkan-50-ton-daging-untuk-meugang>
- Simbolon, L. A., Widarti, B. N., & Sarwono, E. (2022). Pemanfaatan Sabut Kelapa sebagai Bioadsorben untuk Penurunan Konsentrasi Besi (Fe) dan Kromium (Cr) Air Lindi dengan Variasi Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan Menggunakan Sistem Batch. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 6(1), 12–24.
- Sisnayati, S., Dewi, D. S., Apriani, R., & Faizal, M. (2021). Penurunan BOD, TSS, Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Proses Aerasi Plat Berlubang. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(2).
- SNI 06-3730-1995 tentang Arang Aktif Teknis.
- SNI 6989.11:2019 tentang Cara Uji pH dengan Menggunakan pH meter.
- SNI 6989.2:2009 tentang Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri.
- SNI 6989.3:2019 tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) Secara Gravimetri.
- SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.
- Suwarso, T., & Hasibuan, A. R. (2021). Pengaruh Pajak Restoran dan Pajak Hotel Terhadap Pendapatan Asli Daerah Kota Padangsidempuan Periode 2018-2020. *Jurnal Akuntansi*, 14(54).
- Wangi, D. S., Wibi, D. A., & Kusuma, R. M. (2025). Pengaruh Variasi Zeolit terhadap Adsorpsi H_2S di Kilang PPSDM Migas Cepu : Tinjauan Visual dan Perspektif Fisika Material. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 15(2).
- Wulandari, D. T., Prihatini, N. S., & Nilawati, I. N. (2022). Penyisihan COD pada Limbah Cair Rumah Potong Hewan Martapura dengan Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Horizontal Bawah Permukaan Menggunakan Tanaman *Cyperus Alternifolius* dan *Canna Indica*. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(2).
- Yasril, A. I. (2018). Perbedaan Arang Biji Kelor Dan Arang Biji Salak dalam Penurunan Kadar Timbal (Pb) pada Air Limbah. *Jurnal ilmiah Kesehatan Media Husada*, 7, 11–24.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Karakteristik Arang Biji Salak

1.1 Rendemen

a) Arang Tidak Teraktivasi

- massa biji salak = 2500 g
- massa arang biji salak = 1000 g

$$\begin{aligned}\text{Rendemen (\%)} &= \frac{\text{massa karbon}}{\text{massa bahan}} \times 100 \% \\ &= \frac{1000 \text{ g}}{2500 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 40 \%\end{aligned}$$

b) Arang Teraktivasi

- massa arang biji salak = 100,1198 g
- massa arang aktif = 88,8118 g

$$\begin{aligned}\text{Rendemen (\%)} &= \frac{88,8118 \text{ g}}{100,1198 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 88,71 \%\end{aligned}$$

1.2 Kadar Air

a) Arang Teraktivasi

- massa awal = 1,1079 g
- massa akhir = 1,0779 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air} &= \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{1,1079 \text{ g} - 1,0779 \text{ g}}{1,1079 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 2,71 \%\end{aligned}$$

b) Arang Tidak Teraktivasi

- massa awal = 1,1108 g
- massa akhir = 1,0542 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air} &= \frac{1,1108 \text{ g} - 1,0542 \text{ g}}{1,1108 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 5,10 \%\end{aligned}$$

1.3 Kadar Abu

a) Arang Teraktivasi

- massa awal = 2,0917 g
- massa akhir = 0,8478 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar Abu} &= \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{2,0917 \text{ g} - 0,8478 \text{ g}}{2,0917 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 59,5 \%\end{aligned}$$

b) Arang Tidak Teraktivasi

- massa awal = 2,0687 g
- massa akhir = 0,8545 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar Abu} &= \frac{2,0687 \text{ g} - 0,8545 \text{ g}}{2,0687 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= 58,7 \%\end{aligned}$$

Lampiran 2 Perhitungan Parameter TSS pada Air Limbah RPH

Perhitungan TSS menggunakan persamaan:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(W_1 - W_0)}{V} \times 1000$$

Keterangan:

W_0 : Massa media penyaring awal (mg)

W_1 : Massa media penyaring dan residu kering (mg)

V : Volume contoh uji (mL) = 100 mL

2.1 Tanpa Adsorben

a) Nilai awal (C_0)

- $W_0 = 0,2697 \text{ g} = 269,7 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2762 \text{ g} = 276,2 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(276,2 \text{ mg} - 269,7 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 65 \text{ mg/L}$$

b) 0 gram

- $W_0 = 0,2708 \text{ g} = 270,8 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2722 \text{ g} = 272,2 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(272,2 \text{ mg} - 270,8 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 14 \text{ mg/L}$$

2.2 Arang Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

- $W_0 = 0,2673 \text{ g} = 267,3 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2678 \text{ g} = 267,8 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(267,8 \text{ mg} - 267,3 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 5 \text{ mg/L}$$

b) Dosis 1 gram

- $W_0 = 0,2638 \text{ g} = 263,8 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2654 \text{ g} = 265,4 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(265,4 \text{ mg} - 263,8 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 16 \text{ mg/L}$$

c) Dosis 1,5 gram

- $W_0 = 0,2655 \text{ g} = 265,5 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2669 \text{ g} = 266,9 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(266,9 \text{ mg} - 265,5 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 14 \text{ mg/L}$$

d) Dosis 2 gram

- $W_0 = 0,2694 \text{ g} = 269,4 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2709 \text{ g} = 270,9 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(270,9 \text{ mg} - 269,4 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 15 \text{ mg/L}$$

e) Dosis 2,5 gram

- $W_0 = 0,2684 \text{ g} = 268,4 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2701 \text{ g} = 270,1 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(270,1 \text{ mg} - 268,4 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 17 \text{ mg/L}$$

2.3 Arang Tidak Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

- $W_0 = 0,2626 \text{ g} = 262,6 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2645 \text{ g} = 264,5 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(264,5 \text{ mg} - 262,6 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 19 \text{ mg/L}$$

b) Dosis 1 gram

- $W_0 = 0,2690 \text{ g} = 269,0 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2710 \text{ g} = 271,0 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(271,0 \text{ mg} - 269,0 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 20 \text{ mg/L}$$

c) Dosis 1,5 gram

- $W_0 = 0,2709 \text{ g} = 270,9 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2731 \text{ g} = 273,1 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(273,1 \text{ mg} - 270,9 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 22 \text{ mg/L}$$

d) Dosis 2 gram

- $W_0 = 0,2662 \text{ g} = 266,2 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2686 \text{ g} = 268,6 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(268,6 \text{ mg} - 266,2 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 24 \text{ mg/L}$$

e) Dosis 2,5 gram

- $W_0 = 0,2703 \text{ g} = 270,3 \text{ mg}$
- $W_1 = 0,2723 \text{ g} = 272,3 \text{ mg}$

$$\text{TSS} = \frac{(272,3 \text{ mg} - 270,3 \text{ mg})}{100 \text{ mL}} \times 1000 = 20 \text{ mg/L}$$

Lampiran 3 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dan Efisiensi Penyisihan

Perhitungan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan menggunakan persamaan:

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{W} \right) \times V$$

$$E (\%) = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \%$$

Keterangan:

- E : Efisiensi penyisihan adsorpsi (%)
 q_e : Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)
 C_0 : Konsentrasi awal zat polutan sebelum adsorpsi (mg/L)
 C_e : Konsentrasi akhir zat polutan setelah kesetimbangan (mg/L)
 V : Volume larutan limbah yang digunakan (L)
 W : Massa adsorben (arang) yang digunakan (gram)

3.1 Perhitungan pada Parameter COD

Diketahui:

Konsentrasi awal (C_0) = 1626 mg/L

Volume limbah (V) = 0,5 L

3.1.1 Tanpa Adsorben (Dosis 0 gram)

Diketahui sisa C_e = 1365 mg/L

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1365 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 16,05 \%$$

3.1.2 Arang Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

Diketahui sisa C_e = 1344 mg/L

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1344 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 282 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1344 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 17,34 \%$$

b) Dosis 1 gram

Diketahui sisa $C_e = 868 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 868 \text{ mg/L}}{1 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 379 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 868 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 46,62 \%$$

c) Dosis 1,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 816 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 816 \text{ mg/L}}{1,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 270 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 816 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 49,82 \%$$

d) Dosis 2 gram

Diketahui sisa $C_e = 1398 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1398 \text{ mg/L}}{2 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 57 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1398 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 14,02 \%$$

e) Dosis 2,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 1097 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1097 \text{ mg/L}}{2,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 105,8 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1097 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 32,53 \%$$

3.1.3 Arang Tidak Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 618 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 618 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 1008 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 618 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 61,99 \%$$

b) Dosis 1 gram

Diketahui sisa $C_e = 1041 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1041 \text{ mg/L}}{1 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 292,5 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1041 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 35,98 \%$$

c) Dosis 1,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 704 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 704 \text{ mg/L}}{1,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 307,3 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 704 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 56,70 \%$$

d) Dosis 2 gram

Diketahui sisa $C_e = 984 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 984 \text{ mg/L}}{2 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 160,5 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 984 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 39,48 \%$$

e) Dosis 2,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 1008 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1008 \text{ mg/L}}{2,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 123,6 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{1626 \text{ mg/L} - 1008 \text{ mg/L}}{1626 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 38,01 \%$$

3.2 Perhitungan pada Parameter TSS

Diketahui:

Konsentrasi awal (C_0) = 65 mg/L

Volume limbah (V) = 0,5 L

3.2.1 Tanpa Adsorben (Dosis 0 gram)

Diketahui sisa $C_e = 14 \text{ mg/L}$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 14 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 78,46 \%$$

3.2.2 Arang Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 5 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 5 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 60 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 5 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 92,31 \%$$

b) Dosis 1 gram

Diketahui sisa $C_e = 16 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 16 \text{ mg/L}}{1 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 24,5 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 16 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 75,38 \%$$

c) Dosis 1,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 14 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 14 \text{ mg/L}}{1,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 17 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 14 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 78,46 \%$$

d) Dosis 2 gram

Diketahui sisa $C_e = 15 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 15 \text{ mg/L}}{2 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 12,5 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 15 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 76,92 \%$$

e) Dosis 2,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 17 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 17 \text{ mg/L}}{2,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 9,6 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 17 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 73,85 \%$$

3.2.3 Arang Tidak Teraktivasi

a) Dosis 0,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 19 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 19 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 46 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 19 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 70,77 \%$$

b) Dosis 1 gram

Diketahui sisa $C_e = 20 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{1 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 22,5 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 69,23 \%$$

c) Dosis 1,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 22 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 22 \text{ mg/L}}{1,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 14,3 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 22 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 66,15 \%$$

d) Dosis 2 gram

Diketahui sisa $C_e = 24 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 24 \text{ mg/L}}{2 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 10,2 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 24 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 63,08 \%$$

e) Dosis 2,5 gram

Diketahui sisa $C_e = 20 \text{ mg/L}$

$$q_e = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{2,5 \text{ g}} \right) \times 0,5 \text{ L} = 9 \text{ mg/g}$$

$$E (\%) = \left(\frac{65 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{65 \text{ mg/L}} \right) \times 100 \% = 69,23 \%$$

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian

4.1 Preparasi Bahan dan Pembuatan Arang Biji Salak

	
Pengumpulan biji salak	Pembersihan biji salak dari sisa daging buah
	
Pencucian biji salak	Pemotongan biji salak
	
Penjemuran biji salak	Proses karbonisasi dan pengecekan suhu
	
Penggerusan arang biji salak	Pengayakan arang biji salak

4.2 Proses Aktivasi Arang Biji Salak

	
Pembuatan larutan HCl 3N	Perendaman arang dengan HCl selama 24 jam
	
Pencucian arang dengan aquades	Pengeringan dengan oven

4.3 Proses Adsorpsi pada Air Limbah RPH

	
Pengambilan sampel air limbah RPH	Pengisian air limbah ke dalam gelas <i>beaker</i>
	
Penambahan adsorben ke dalam sampel	Pengaturan kecepatan pengadukan

4.4 Proses Pengukuran Parameter

	
Pengukuran pH	Pengujian parameter TSS
	
Penimbangan kertas saring	Pembuatan larutan uji COD
	
Pengujian parameter COD	Sampel COD limbah (arang tidak teraktivasi)
	
Sampel COD limbah (arang teraktivasi)	COD meter