

**EFEKTIVITAS KARBON AKTIF
DALAM FILTRASI LIMBAH CAIR TAPIOKA**

(Hasil Penelitian)

Oleh

**Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri
2114231024**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF ACTIVATED CARBON IN THE FILTRATION OF TAPIOCA WASTEWATER

By

NASHRANANDA MARTHAYESHA LASUDIANA PUTRI

The production process of tapioca flour produced solid waste and liquid waste. This study aims to determine the optimal flow rate in the filtration process of tapioca liquid waste using activated carbon based on parameters such as Total Dissolved Solids (TDS), Turbidity, Chemical Oxygen Demand (COD), pH, and odor, as well as to evaluate the effectiveness of activated carbon in removing odor and the saturation level of the medium. The method used was a descriptive method with three flow rate variations: 0.0025 m³/hour, 0.0050 m³/hour, and 0.0075 m³/hour for five days, with three samples taken per day. The results showed that the flow rate of 0.0025 m³/hour was the most effective, with a 7.4% reduction in TDS, 80% reduction in Turbidity, 72.5% reduction in COD, and 100% of the panelists (15 people) reported normal odor of the wastewater on the first day. Activated carbon at flow rates of 0.0025 m³/hour and 0.0050 m³/hour was able to eliminate odor until the third day. A lower flow rate is recommended to enhance filtration effectiveness and prevent saturation of the activated carbon medium.

Keywords: *tapioca wastewater, filtration, activated carbon, flow rate, TDS, Turbidity, COD, odor*

ABSTRAK

EFEKTIVITAS KARBON AKTIF DALAM FILTRASI LIMBAH CAIR TAPIOKA

Oleh

NASHRANANDA MARTHAYESHA LASUDIANA PUTRI

Proses produksi tepung tapioka menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju alir terbaik dalam proses filtrasi limbah cair tapioka menggunakan karbon aktif berdasarkan parameter *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan aroma, serta mengevaluasi efektivitas karbon aktif dalam menyisihkan aroma dan tingkat kejenuhan media. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan perlakuan tiga variasi laju alir: 0,0025 m³/jam, 0,0050 m³/jam, dan 0,0075 m³/jam selama lima hari, dengan pengambilan sampel sebanyak tiga kali per hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir 0,0025 m³/jam merupakan yang paling efektif, dengan penurunan TDS sebesar 7,4%, *Turbidity* 80%, COD 72,5%, dan 100% panelis (15 orang) menyatakan aroma limbah normal pada hari pertama. Karbon aktif pada laju alir 0,0025 m³/jam dan 0,0050 m³/jam mampu menyisihkan aroma hingga hari ketiga. Laju alir rendah lebih disarankan untuk meningkatkan efektivitas filtrasi dan mencegah kejenuhan media karbon aktif.

Kata kunci: limbah cair tapioka, filtrasi, karbon aktif, laju alir, TDS, *Turbidity*, COD, aroma

**EFEKTIVITAS KARBON AKTIF
DALAM FILTRASI LIMBAH CAIR TAPIOKA**

Oleh

NASHRANANDA MARTHAYESHA LASUDIANA PUTRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS KARBON AKTIF DALAM
FILTRASI LIMBAH CAIR TAPIOKA**

Nama Mahasiswa : **Nashrananda Marthayesha Tasudiana Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2114231024**

Program Studi : **Teknologi Industri Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
NIP. 19640106 198803 1 002

Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.
NIP. 19910918 201903 2 023

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA
NIP. 19721006 198803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

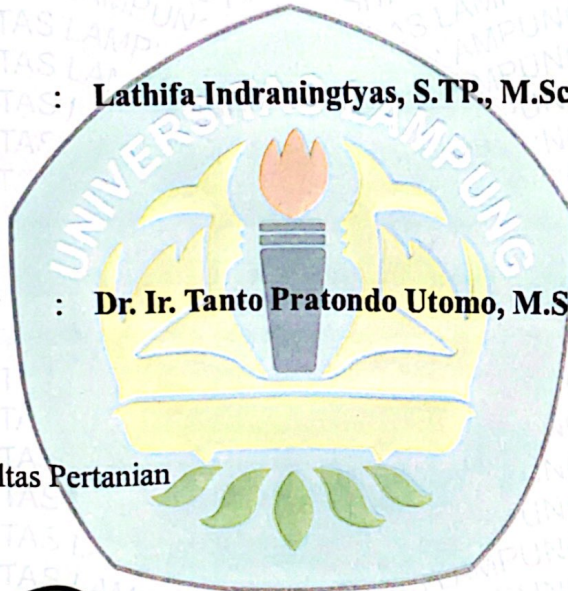
Ketua : Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.



Sekretaris : Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.



Anggota : Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 6 Agustus 2025

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri

NPM : 2114231024

Dengan ini saya menyatakan bahwa seluruh isi dari karya ilmiah ini merupakan hasil dari karya saya sendiri, yang disusun berdasarkan pengetahuan serta informasi yang telah saya peroleh. Karya ilmiah ini tidak memuat isi yang telah dipublikasikan sebelumnya dan bukan merupakan hasil plagiarisme dari karya orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan sepenuhnya dapat saya pertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya tindakan kecurangan dalam penyusunan karya ini, saya bersedia untuk menerima segala konsekuensi yang berlaku.

Bandar Lampung, 6 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Nashrananda

Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri
NPM. 2114231024

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri, lahir di Bandung pada 31 Maret 2003. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari pasangan bapak Firstendi Lasudiana Putra dan ibu Ipah Masripah. Penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Nurul Irsyad pada tahun 2009, sekolah dasar di SDN 2 Ciburuy pada tahun 2015, sekolah menengah pertama di SMPN 3 Padalarang pada tahun 2018, dan sekolah menengah akhir di SMA Negeri 1 Padalarang pada tahun 2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2021.

Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari-Februari 2024 di desa Aji Permai Talang Buah, Gedung Aji, Tulang Bawang. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) pada Juli-Agustus 2024 di PT Umas Jaya Agrotama, Terbanggi Besar, Lampung Tengah dengan judul “Analisis Penurunan Kualitas Terhadap *Retained Sample* Tepung Tapioka di PT. Umas Jaya Agrotama”. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi anggota kepengurusan Unit Kegiatan Mahasiswa Paduan Suara Mahasiswa Universitas Lampung (PSM UNILA) dan pernah menjabat sebagai ketua Bidang Perlengkapan pada tahun 2023.

SANWACANA

Alhamdulillah robbil aalamiin, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Efektivitas Karbon Aktif Dalam Filtrasi Limbah Cair Tapioka**”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) di Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku pembimbing utama sekaligus Pembimbing Akademik (PA) penulis yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Lathifa Indraningtyas, S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, saran, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran serta masukan terhadap skripsi ini.

7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung, yang telah mengajarkan, membimbing, dan membantu penulis dalam perkuliahan serta administrasi akademik.
8. Cinta pertama dan panutanku, Ayahanda Firstendi Lasudiana Putra dan pintu surgaku Ibunda Ipah Masripah. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan. Senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan, mengusahakan, memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial. Perjalanan hidup kita sebagai satu keluarga utuh memang tidak mudah, tetapi segala hal yang telah dilalui memberikan penulis pelajaran yang sangat berharga tentang menjadi seorang perempuan yang kuat, bertanggung jawab, selalu berjuang dan mandiri. Semoga dengan adanya skripsi ini membuat papa dan mama lebih bangga karena telah berhasil menjadikan anak perempuan pertamanya ini menyandang gelar Sarjana seperti yang diharapkan. Besar harapan penulis semoga papa dan mama diberikan umur panjang, sehat selalu, dan menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih di masa yang akan datang. Papa dan mama, anakmu kini Sarjana.
9. Om Marsan dan Tante Emilda, yang sudah seperti orang tua kedua penulis semasa diperantauan. Terima kasih atas semua dukungan dan perhatian yang diberikan kepada penulis.
10. Kedua adik penulis, Zaharani Firdanissa Lasudiana Putri dan Abiyu Safaraz Aufa Lasudian Jafier, yang selalu membuat penulis termotivasi untuk bisa terus belajar menjadi panutan kakak yang baik di masa yang akan datang kelak.
11. Galang Fairroman Sanda, selaku kakak sepupu penulis. Terima kasih sudah memberikan banyak arahan kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan.
12. Seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Komang Andre Wijaya. Terima kasih telah meluangkan waktu, tenaga dan memberikan semangat serta kebahagiaan kepada penulis selama masa perkuliahan hingga akhir

penyusunan skripsi ini. Besar harapan penulis untuk tumbuh dan berkembang bersama. Mari wujudkan harapan itu.

13. Ketiga sahabat terbaik penulis, Giska Azkia Azzahra, Zahra Nabila Permata Arimbi, dan Naomi Yoshepine Siswanto. Terima kasih selalu menjadi pendengar dari setiap keluhan dan kesah penulis selama menjadi mahasiswa di perantauan ini. Terima kasih sudah banyak memberikan dukungan selama 7 tahun pertemanan kita.
14. Rekan-rekan penulis di masa perkuliahan, Diva Devalda Reyna Yolanda, Siti Nurtsaniyah Bastari, Elvia Anggraini, Nabila Tara Adienta, Reza Jibrani Novrizal dan Eka Wulandari yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini serta telah kebersamai penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.
15. Teman-teman THP dan TIP angkatan 2021 yang telah memberikan informasi, semangat dan dukungan dan kebersamaannya semasa perkuliahan.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
17. Terakhir, kepada diri saya sendiri. Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap memilih bertahan dan berusaha, walau sering kali merasa putus asa atas apa yang sudah diusahakan dan belum berhasil, namun tetap menjadi manusia yang selalu mau berusaha dan tetap mencoba. Terima kasih karena memutuskan untuk tidak menyerah sesulit apapun proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini. Pencapaian ini patut dirayakan untuk diri sendiri. Berbahagialah selalu dimanapun berada, Nashrananda. Apapun kurang dan lebihmu mari berbangga pada diri sendiri.

Bandar Lampung, 6 Agustus 2025

Nashrananda Marthayesha Lasudiana Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Limbah Cair Industri Tapioka	7
2.1.1 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Tapioka.....	7
2.1.2 Dampak Limbah Cair Terhadap Lingkungan	9
2.2 Karbon Aktif.....	11
2.3 Parameter Analisis Pengujian.....	14
2.3.1 Total Dissolved Solid (TDS)	15
2.3.2 <i>Turbidity</i>	15
2.3.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	15
2.3.4 pH	16
2.3.5 Aroma.....	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Metodologi Penelitian	18
3.4 Pelaksanaan Penelitian	19
3.5 Pengamatan.....	20
3.5.1 <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	20
3.5.2 <i>Turbidity</i>	20
3.5.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	21
3.5.4 pH	21
3.5.5 Aroma.....	22

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil Analisis Setelah Filtrasi.....	24
4.1.1 <i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	24
4.1.2 <i>Turbidity</i>	28
4.1.3 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	31
4.1.4 Derajat Keasaman (pH).....	36
4.1.5 Aroma.....	38
V. KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku mutu limbah cair tapioka	9
2. Persentase hasil uji sensori aroma.....	39
3. Hasil analisis sebelum filtrasi hari ke-1	53
4. Hasil analisis setelah filtrasi hari ke-1	53
5. Hasil analisis sebelum filtrasi hari ke-2	54
6. Hasil analisis setelah filtrasi hari ke-2	54
7. Hasil analisis sebelum filtrasi hari ke-3	55
8. Hasil analisis setelah filtrasi hari ke-3	55
9. Hasil analisis sebelum filtrasi hari ke-4	56
10. Hasil analisis setelah filtrasi hari ke-4	56
11. Hasil analisis sebelum filtrasi hari ke-5	57
12. Hasil analisis setelah filtrasi hari ke-5.....	57
13. Hasil uji aroma	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema kerangka pemikiran.....	6
2. Proses pembuatan tepung tapioka.....	8
3. Arah aliran air dalam filter karbon aktif	13
4. Karbon aktif	14
5. Diagram alir penelitian.....	19
6. Desain alat penelitian.....	19
7. Kuisisioner uji sensori	23
8. Nilai TDS setelah filtrasi	25
9. Removal Total Dissolved Solid (TDS)	27
10. Nilai <i>Turbidity</i> setelah filtrasi	29
11. Removal <i>Turbidity</i>	30
12. Nilai Chemical Oxygen Demand (COD) setelah filtrasi	32
13. Removal Chemical Oxygen Demand (COD).....	34
14. Nilai pH setelah filtrasi	37
15. Alat filtrasi	48
16. Pengambilan limbah.....	48
17. Limbah sebelum filtrasi	48
18. Limbah setelah filtrasi.....	48
19. Proses filtrasi.....	48
20. Proses penelitian	48
21. Proses pengambilan sampel	49
22. Uji aroma panelis 1	49
23. Uji aroma panelis 2	49
24. Uji aroma panelis 3	49
25. Uji aroma panelis 4	49
26. Uji aroma panelis 5	49
27. Uji aroma panelis 6	50
28. Uji aroma panelis 7	50
29. Uji aroma panelis 8	50
30. Uji aroma panelis 9	50
31. Uji aroma panelis 10	50

32. Uji aroma panelis 11	50
33. Uji aroma panelis 12	51
34. Uji aroma panelis 13	51
35. Uji aroma panelis 14	51
36. Uji aroma panelis 15	51
37. Uji COD	51
38. Uji pH.....	51
39. Uji TDS.....	52
40. Uji <i>Turbidity</i>	52

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Industri tapioka memiliki kontribusi yang besar terhadap penguatan perekonomian di sektor pertanian. Di Provinsi Lampung, sektor ini bukan hanya menjadi sumber penghidupan utama bagi petani singkong, tetapi juga telah berkembang menjadi salah satu industri pengolahan pangan berskala besar yang memberikan nilai tambah tinggi (Abdurachman dkk., 2022). Proses produksi tapioka membutuhkan pasokan air bersih dalam jumlah yang cukup signifikan untuk setiap tahap pengolahan. Proses pengolahan singkong, diperlukan sekitar 6 m³ hingga 9 m³ air bersih, di mana sekitar 85% dari total tersebut akan berubah menjadi limbah cair. Limbah yang dihasilkan ini diketahui mengandung senyawa beracun yang berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Volume limbah cair yang dihasilkan mencapai kurang lebih 4 hingga 5 m³ untuk setiap ton singkong yang diproses, sehingga pengelolaan dan pengolahan limbah menjadi aspek penting dalam menjaga keberlanjutan industri tapioka (Adnan dkk., 2020).

Proses produksi tepung tapioka menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat produksi tepung tapioka berupa onggok dan dapat dijadikan sebagai pakan ternak. Limbah cair biasanya akan langsung dibuang ke aliran sungai atau ditampung di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan singkong menjadi tapioka mencapai sekitar 4.000-6.000 liter per ton bahan baku. Limbah cair ini memiliki kandungan zat organik yang sangat tinggi, yang jika terdegradasi secara alami, menyebabkan air limbah menjadi keruh berwarna cokelat kehitaman. Limbah cair dari industri tapioka memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi, yaitu sekitar 1.400 NTU, dengan pH antara 4,0 hingga 6,5. Selain itu, kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada limbah cair ini berkisar antara 7.000-30.000 mg/L dan 3.000-7.500 mg/L (Hermida dkk., 2020).

Pengolahan limbah cair tapioka umumnya diawali dengan tahap *pre-treatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*. *Primary treatment* untuk memisahkan padatan tersuspensi dan mengurangi beban organik awal. *Secondary treatment* proses di mana pengolahan air limbah tapioka dilakukan melalui proses anaerob untuk menguraikan senyawa organik menjadi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk utama biogas. Proses pengolahan air limbah tapioka menjadi biogas menghasilkan *effluent* dengan karakteristik BODs $\pm 800 - 2.000$ mg/L, pH 6,5 – 8,0, warna coklat kekuningan. *Effluent* tersebut diharapkan tidak mencemari lingkungan atau memenuhi baku mutu dan dapat dimanfaatkan kembali pada proses produksi (Mai, 2015).

Tahap pengolahan tersier, dilakukan setelah proses sekunder dengan tujuan menghasilkan *effluent* yang memenuhi standar baku mutu pembuangan atau layak untuk digunakan kembali, misalnya untuk irigasi, pendinginan, maupun pencucian. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi senyawa organik yang sulit terurai (COD/BOD), menurunkan kadar warna dan *dissolved organic matter* (DOM), menghilangkan sisa nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, menguraikan sianida serta senyawa berbahaya lainnya, dan melakukan disinfeksi terhadap mikroorganisme (Zhang dkk., 2018). Salah satu proses yang dapat digunakan untuk mengurangi beban cemaran pada *effluent* limbah cair tapioka setelah produksi biogas adalah dengan filtrasi karbon aktif. Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif terbukti efektif dalam menghilangkan senyawa organik terlarut, mengurangi intensitas warna, serta menyerap berbagai senyawa beracun pada tahap tersier pengolahan limbah. Pemanfaatan bahan lokal ini tidak hanya mampu menekan biaya produksi dengan mengurangi ketergantungan pada bahan aktif impor, tetapi juga memberikan nilai tambah pada limbah padat yang sebelumnya tidak termanfaatkan. Selain itu, penggunaan adsorpsi sebagai tahap akhir akan semakin optimal apabila dilakukan setelah beban COD dan BOD berkurang secara signifikan pada tahap pengolahan sebelumnya, sehingga media adsorben

dapat bekerja lebih efisien dan memiliki umur pakai yang lebih panjang (Kayiwa dkk., 2019).

Karbon aktif merupakan material padat berpori yang mengandung sekitar 85–95% karbon dan diperoleh dari bahan-bahan yang kaya karbon melalui proses pemanasan bersuhu tinggi. Aktivasi yang dilakukan, baik secara fisik maupun kimia, membuka struktur pori-pori karbon sehingga meningkatkan luas permukaannya dan menjadikannya adsorben yang sangat efektif. Sifat adsorpsi karbon aktif bersifat selektif dan bergantung pada ukuran pori serta luas permukaannya, memungkinkan penyerapan gas maupun senyawa kimia tertentu. Karakteristik karbon aktif yang tidak berbau, tidak berasa, berwarna hitam, dan daya serap yang tinggi, karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai keperluan. Aplikasinya meliputi pemurnian air minum, pengolahan limbah cair, serta sebagai penghilang warna, rasa, dan bau dalam industri makanan. Oleh karena itu, karbon aktif sangat penting sebagai agen penyerap dalam berbagai proses pemurnian dan pengolahan, khususnya dalam bidang lingkungan dan industri (Febrina dan Rizki, 2023).

Penelitian Mulyono dkk. (2020) menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti koagulasi dan flokulasi, filtrasi pasir aktif, adsorpsi karbon aktif, serta kombinasi filtrasi pasir aktif dengan adsorpsi karbon aktif, yang terbukti efektif menurunkan kekeruhan hingga memenuhi standar air bersih. Pada kondisi operasi dengan tekanan 1 bar, limbah cair tapioka mengalami penurunan signifikan pada parameter warna sebesar 138 unit, COD sebesar 908 mg/L, dan TSS sebesar 215 mg/L, yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas air limbah secara nyata. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa proses pengolahan yang diterapkan mampu menghilangkan partikel tersuspensi dan senyawa organik secara efisien. Namun, efektivitas proses adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh laju alir filtrasi yang digunakan. Fitriyana (2018) menegaskan bahwa laju alir yang terlalu tinggi dapat mengurangi waktu kontak antara air limbah dengan permukaan butiran media filter, sehingga partikel halus dan senyawa terlarut tidak dapat tertahan secara optimal. Akibatnya, kualitas air hasil filtrasi dapat menurun meskipun

media yang digunakan memiliki kapasitas adsorpsi tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi efektivitas karbon aktif dalam proses filtrasi dengan tiga variasi laju alir, yaitu 0,0025 m³/jam, 0,0050 m³/jam, dan 0,0075 m³/jam, guna menentukan laju alir yang paling optimal untuk pengolahan limbah cair tapioka. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui laju alir terbaik dalam proses filtrasi limbah cair tapioka menggunakan karbon aktif berdasarkan persentase penurunan nilai *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan uji perbandingan aroma.
2. Mengetahui efektivitas karbon aktif sebagai media filtrasi dalam menyisihkan aroma pada limbah cair industri tapioka serta menentukan kejenuhan media karbon aktif dengan laju alir berbeda.

1.3 Kerangka Pemikiran

Limbah industri yang dibuang tanpa pengolahan dapat mencemari lingkungan dan berdampak buruk pada kehidupan biota sekitar, termasuk menghilangkan fungsi sungai sebagai habitat makhluk hidup. Sungai yang tercemar limbah industri tapioka sering mengeluarkan bau menyengat, sehingga mengganggu aktivitas masyarakat serta mencemari udara di sekitarnya. Pencemaran udara terjadi akibat konsentrasi bahan polutan di atmosfer yang mengganggu keseimbangan lingkungan dan berdampak negatif pada manusia (Zulaifah dkk., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto dan Larasati (2016) menunjukkan bahwa proses oksidasi limbah kimia anorganik, yang diukur dengan kebutuhan oksigen atau COD, akan menghasilkan panas. Salah satu pencemar anorganik yang berasal dari limbah tapioka adalah klorin, zat pemutih yang biasanya digunakan dalam proses pemutihan tepung.

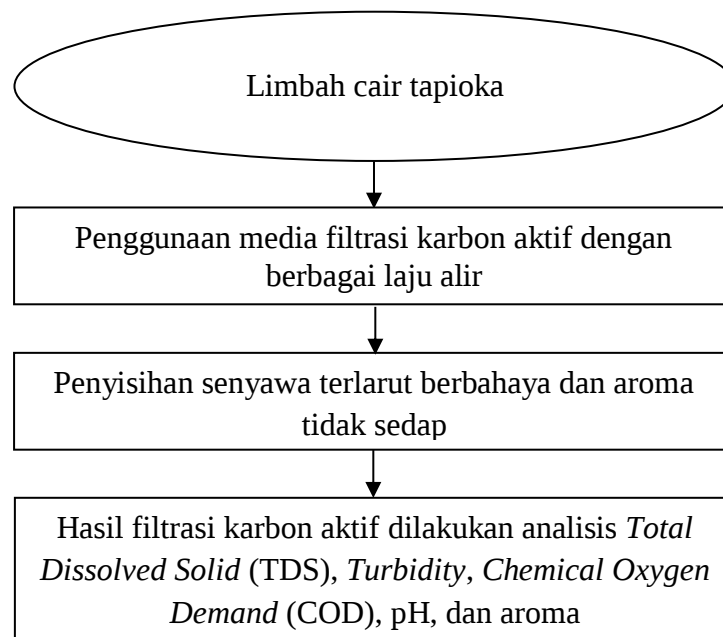
Berbagai metode yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair, antara lain koagulasi dan flokulasi, filtrasi menggunakan pasir aktif, adsorpsi dengan karbon aktif, serta kombinasi antara filtrasi pasir aktif dan adsorpsi karbon aktif.

Berdasarkan hasil penelitian, metode-metode tersebut terbukti efektif dalam menurunkan tingkat kekeruhan limbah hingga mencapai ambang batas maksimum yang diperbolehkan untuk air bersih. Karakteristik limbah cair dari industri tapioka juga menunjukkan penurunan signifikan dalam parameter warna, COD (Chemical Oxygen Demand), dan TSS (Total Suspended Solids), terutama pada tekanan 1 bar dan 2 bar. Pada tekanan 1 bar, penurunan terjadi dari menit ke-20 hingga menit ke-60, dengan hasil akhir berupa nilai warna 138, COD sebesar 908 mg/L, dan TSS sebesar 215 mg/L. Sementara itu, pada tekanan 2 bar, penurunan lebih signifikan tercatat, yakni nilai warna mencapai 40, COD turun menjadi 746 mg/L, dan TSS sebesar 210 mg/L. Meskipun air hasil olahan belum memenuhi standar air bersih, kualitasnya telah cukup baik dan dinyatakan aman untuk dibuang langsung ke lingkungan tanpa menimbulkan dampak pencemaran (Mulyono dkk., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi dan Amalia (2024) mengenai kombinasi karbon aktif alami untuk pengolahan air telaga, digunakan media pasir dan karbon aktif dengan variasi aktivator serta laju alir yang berbeda. Reaktor A dan C menggunakan aktivator HCl, sedangkan reaktor B dan D menggunakan H_3PO_4 , dengan masing-masing laju alir 0,1 m³/jam dan 0,3 m³/jam. Proses filtrasi diuji pada interval waktu 5, 10, 15, 20, dan 25 menit untuk mengevaluasi efisiensi penurunan pencemar, terutama *Biological Oxygen Demand* (BOD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada laju alir rendah (0,1 m³/jam), karbon aktif memiliki waktu kontak lebih lama dengan air, sehingga penyerapan senyawa organik lebih optimal dibandingkan dengan laju alir tinggi (0,3 m³/jam) yang memiliki waktu kontak lebih singkat. Reaktor B, yang menggunakan aktivator H_3PO_4 dengan laju alir 0,1 m³/jam, menunjukkan efisiensi terbaik dalam menurunkan BOD karena waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses adsorpsi berlangsung secara optimal. Dengan demikian, konsentrasi akhir BOD yang diperoleh dari reaktor B adalah 1,9 mg/L, menunjukkan efektivitas penggunaan karbon aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 dalam kondisi tertentu.

Untuk memaksimalkan potensi pada karbon aktif maka perlu dilakukan uji laju alir dengan perlakuan $0,0025 \text{ m}^3/\text{jam}$, $0,0050 \text{ m}^3/\text{jam}$, $0,0075 \text{ m}^3/\text{jam}$ dari limbah cair tapioka yang digunakan. Variabel yang akan diuji pada penelitian ini adalah perbedaan laju alir terhadap nilai *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan aroma.

Berdasarkan uraian tersebut dapat dilihat skema kerangka pemikiran pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

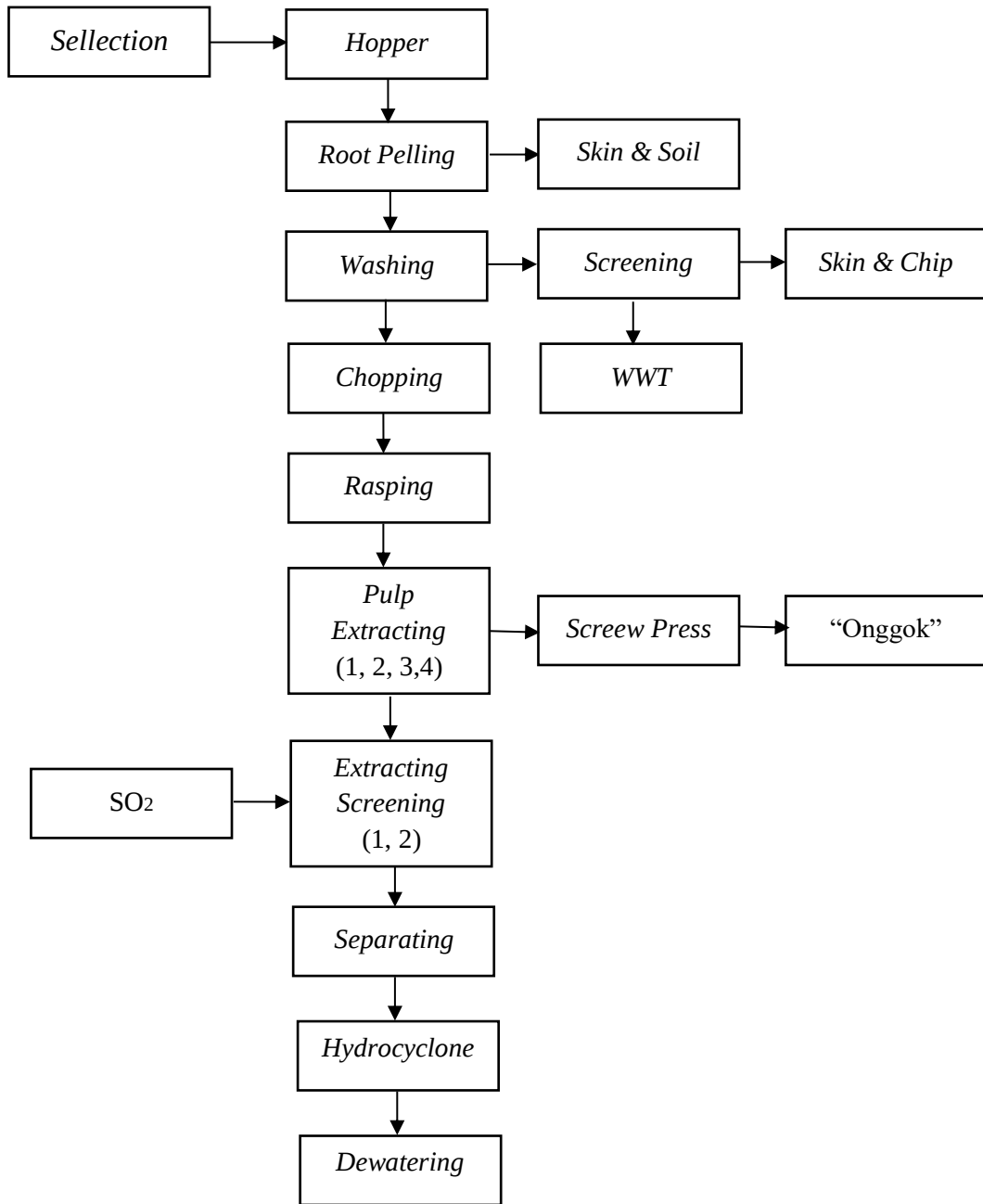
2.1 Limbah Cair Industri Tapioka

2.1.1 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Tapioka

Limbah cair adalah sisa dari proses produksi, domestik, atau aktivitas lainnya yang berbentuk cair dan dibuang ke lingkungan. Limbah cair dari industri tapioka dihasilkan selama proses produksi, mulai dari pencucian bahan baku hingga pemisahan pati dari air yang digunakan dalam pengendapan. Setiap tahapan ini menghasilkan sejumlah besar limbah, baik dalam bentuk padat maupun cair, yang cukup sulit untuk diolah. Industri tapioka yang terkenal sebagai penghasil limbah dalam jumlah yang melimpah, baik dari sisi volume maupun dampak lingkungan. Limbah yang dihasilkan ini sangat besar, mencapai sekitar 75% dari total proses produksi. Limbah tersebut terdiri dari limbah padat dan limbah cair yang harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

Pengolahan singkong menjadi tepung tapioka, setiap 1 ton singkong yang diproses dapat menghasilkan antara 4.000 hingga 6.000 liter limbah cair. Limbah ini terutama berasal dari air yang digunakan dalam proses pencucian, merendam, dan memisahkan pati dari singkong (Utami, 2017). Limbah cair tapioka dihasilkan dalam proses pembuatan tepung tapioka disajikan pada Gambar 2.

Utami (2017) juga menyatakan bahwa limbah cair banyak mengandung sisa organik, seperti partikel singkong yang tidak terpakai, pati yang terlepas selama proses, serta residu zat lain yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan benar. Oleh karena itu, industri tapioka sering menghadapi tantangan dalam mengelola limbah cairnya karena volume yang besar dan potensi pencemaran yang cukup tinggi. Limbah cair industri tapioka juga memerlukan teknik pengolahan khusus, seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).



Gambar 2. Proses pembuatan tepung tapioka
Sumber: PT. Umas Jaya Agrotama (2024)

Karakteristik limbah cair tapioka antara lain adalah warna, padatan tersuspensi, pH, COD, BOD, dan sianida (Utami, 2017). Air limbah dari industri tapioka memiliki warna putih kekuningan karena dihasilkan dari proses pemisahan pati. Limbah air yang berasal dari tahap pencucian biasanya berwarna putih kecoklatan, disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi seperti kotoran dan sisa kulit singkong. Padatan tersuspensi pada air limbah tapioka berasal dari endapan pati,

dan semakin tinggi kandungan padatan tersuspensi, semakin tinggi nilai BOD dan COD yang terkandung. pH air limbah tapioka segar biasanya berkisar antara 6 sampai 6,5, yang menunjukkan Tingkat keasamannya. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014, khususnya dalam Lampiran V yang mengatur tentang baku mutu air limbah dari proses pengolahan tapioka, ditetapkan bahwa batas maksimum parameter kualitas air limbah yaitu COD sebesar 300 mg/L, TSS sebesar 100 mg/L dan TDS sebesar 2000 mg/L. Baku mutu limbah cair tapioka disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu limbah cair tapioka

No.	Parameter	Baku Mutu Maksimum
1.	BOD ₅	150 mg/L
2.	COD	300 mg/L
3.	TSS	100 mg/L
4.	Sianida (HCN)	0,3 mg/L
5.	pH	6,0 – 9,0
6.	TDS	2000 mg/L
7.	Debit Limbah Maks.	30 m ³ /ton produksi tapioka

Sumber: Permen LHK No. 5 Tahun 2014

2.1.2 Dampak Limbah Cair Tapioka Terhadap Lingkungan

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tapioka mengandung jumlah bahan organik tersuspensi yang cukup tinggi. Karbohidrat, glukosa, vitamin C, protein serat, serta lemak terdapat dalam konsentrasi yang cukup besar. Komponen terbesar dalam limbah cair industri tapioka adalah karbohidrat, yang kadarnya mencapai sekitar 18,900%. Selain itu, glukosa ditemukan dalam jumlah yang cukup tinggi, yaitu sekitar 21,067%, disertai kandungan vitamin C yang signifikan sebesar 51,040%. Protein, serat, dan lemak yang terkandung di dalamnya bersifat mudah terurai, sehingga apabila tidak segera diolah dapat menimbulkan bau tidak sedap. Pembusukan bahan organik ini juga memperbesar potensi pencemaran lingkungan, terutama jika limbah dibuang langsung ke perairan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu (Islamawati dkk., 2018).

Islamawati dkk (2018) menyatakan bahwa tingginya kandungan bahan organik dalam limbah cair juga dapat merusak ekosistem air. Biota air seperti ikan dan organisme lain yang bergantung pada kualitas air yang bersih akan mengalami gangguan akibat penurunan kadar oksigen yang diakibatkan oleh tingginya kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD). Kehidupan biota air akan terancam, dan ekosistem perairan dapat terganggu, menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem ekologis. Limbah cair tapioka juga berpotensi merusak infrastruktur bangunan di sekitar lingkungan pembuangan, serta merusak kualitas tanah, yang dapat menyebabkan tanah menjadi tidak subur atau bahkan terkontaminasi.

Bau busuk yang ditimbulkan oleh pembusukan bahan organik dalam limbah cair ini juga berdampak negatif pada kenyamanan lingkungan sekitar. Selain mencemari udara dengan aroma yang tidak sedap, hal ini juga bisa merusak estetika lingkungan dan menyebabkan penurunan kualitas hidup bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair industri tapioka harus dilakukan dengan hati-hati dan tepat guna untuk menghindari dampak-dampak negatif tersebut, serta melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat (Islamawati dkk., 2018).

2.2 Filtrasi

Filtrasi merupakan suatu proses pemisahan partikel dari suatu campuran yang dilakukan melalui mekanisme fisik, kimia, maupun biologis, dengan memanfaatkan media berpori sebagai alat penyaring. Proses ini bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel halus yang tidak dapat mengendap secara alami dalam tahap sedimentasi. Dalam praktiknya, selama filtrasi berlangsung, zat-zat kontaminan atau kotoran yang terbawa oleh fluida akan tersaring dan terperangkap dalam pori-pori media penyaring. Akumulasi kotoran ini secara bertahap dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan (*clogging*), yang berdampak pada meningkatnya kehilangan tekanan (*pressure drop*) di dalam sistem. Peningkatan tekanan ini menandakan menurunnya efisiensi filtrasi dan perlunya pembersihan atau penggantian media filter secara berkala. Oleh karena itu, pemilihan jenis media filtrasi yang tepat serta pengendalian laju aliran sangat

penting untuk menjaga efektivitas dan umur pakai sistem filtrasi (Anggraini, 2021).

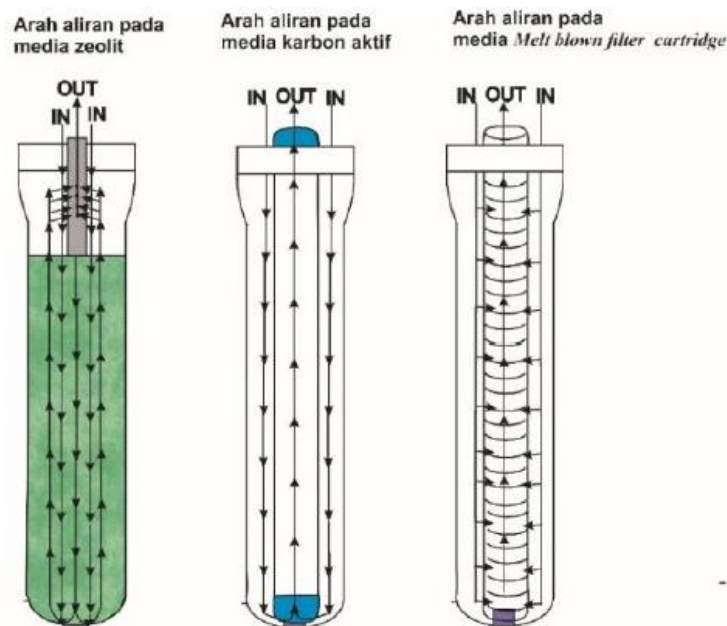
Contoh alat filtrasi yaitu Slow Sand Filter (SSF) adalah alat filtrasi sederhana yang terdiri dari beberapa lapisan pasir, kerikil, dan media biologis yang terbentuk secara alami di permukaan atas pasir (Guchi, 2015). *Granular Activated Carbon* (GAC) adalah filter berbasis karbon aktif granular yang menyerap bahan organik, pestisida, klorin, dan bau dari air (Dwivedi dkk., 2018). Zeolit menggunakan mineral zeolite alami yang memiliki kemampuan pertukaran ion tinggi, efektif dalam menghilangkan ammonia, logam berat, dan bahan kimia anorganik dari air (Maghfiroh dkk., 2023). Biofilter (*Constructed Wetlands & trickling filters*) mengandalkan aktivasi mikroorganisme pada media berpori (kerikil, pasir, tanaman air) untuk mendegradasi senyawa organik (Vymazal, 2018). *Membrane Filtration*, ada beberapa jenis yaitu UF (*Ultrafiltration*) untuk menyaring partikel besar dan virus, NF (*Nanofiltration*) untuk menyaring molekul organik kecil, dan RO (*Reverse Osmosis*) untuk menyaring garam dan logam berat (Shirazi dan Chen, 2017).

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif memiliki struktur berpori yang diselubungi senyawa karbon. Proses aktivasi arang bertujuan untuk memperbesar pori dengan memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan, sehingga sifat fisika dan kimianya berubah serta daya adsorpsinya meningkat. Karena sifatnya yang berpori, karbon aktif banyak dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna, logam berat, dan berbagai aplikasi lainnya. Dalam filtrasi air, karbon aktif dapat digunakan dengan ketebalan 60 cm, 70 cm, atau 80 cm, di mana semakin tebal lapisannya, semakin efektif fungsinya. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan alami, baik dari tumbuhan maupun hewan yang tidak terpakai, karena kandungan karbonnya yang tinggi. Oleh karena itu, karbon aktif menjadi material penting dalam berbagai proses pemurnian dan penyaringan (Purwanti dkk., 2021).

Karbon aktif adalah material berpori yang memiliki kemampuan dalam menyerap berbagai jenis kontaminan atau pengotor dalam air, sehingga sering digunakan sebagai media penyaring atau filter. Material ini bekerja dengan memanfaatkan luas permukaannya yang besar, yang dihasilkan oleh struktur pori-porinya yang kecil dan rapat, sehingga mampu menjerat dan menahan berbagai partikel dan senyawa kimia yang terlarut dalam air. Karbon aktif efektif dalam menghilangkan zat-zat seperti klorin, senyawa organik, logam berat, dan berbagai senyawa kimia yang dapat menimbulkan bau atau rasa tidak sedap pada air. Karbon aktif dapat berfungsi untuk mengurangi senyawa berbahaya tertentu, seperti peptisida atau senyawa volatil, yang dapat mencemari air dan berpotensi berbahaya bagi kesehatan (Nustini dan Allwar, 2019).

Proses adsorpsi karbon aktif secara umum terbagi menjadi dua mekanisme utama, yaitu adsorpsi fisika (physisorption) dan adsorpsi kimia (chemisorption), yang keduanya berperan penting dalam penghilangan kontaminan dari air limbah. Adsorpsi fisika terjadi akibat adanya gaya Van Der Waals antara permukaan karbon dan molekul-molekul zat terlarut, yang bersifat lemah dan fleksibel sehingga memungkinkan molekul teradsorpsi untuk dilepaskan kembali. Mekanisme ini tidak memerlukan energi aktivasi yang tinggi, sehingga umum digunakan dalam aplikasi penyaringan bau, senyawa organik volatil, dan zat non-ionik seperti dijelaskan oleh Wang dkk. (2023). Sementara itu, adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia antara gugus fungsional pada permukaan karbon aktif dengan molekul adsorbat, yang bersifat lebih kuat dan bersifat irreversible. Proses ini sangat efektif untuk mengadsorpsi ion logam berat dan senyawa ionik, karena keterikatan molekul yang lebih stabil dan selektif. Efektivitas kedua mekanisme ini sangat dipengaruhi oleh struktur mikro karbon aktif, yang memiliki jaringan pori-pori kompleks berupa mikropori, mesopori, dan makropori. Pori-pori tersebut menyediakan luas permukaan yang sangat besar, bahkan dapat mencapai hingga $3000 \text{ m}^2/\text{g}$, sehingga memungkinkan terjadinya adsorpsi dalam jumlah besar dan secara efisien, sebagaimana dijelaskan oleh Zhu dan Zhong (2020). Arah aliran filter karbon aktif disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Arah aliran air dalam filter karbon aktif
Sumber : Hasbiah dkk (2019)

Karbon aktif dengan angka iodine sekitar 800 mg/g diklasifikasikan sebagai karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi sedang, yang terutama efektif untuk menangkap molekul-molekul kecil seperti senyawa organik ringan. Jenis karbon ini umumnya digunakan dalam aplikasi filtrasi ringan hingga menengah, seperti pengolahan air minum, penyaringan limbah domestik, dan penjernihan bahan pangan skala rumah tangga. Dengan luas permukaan yang cukup memadai, karbon aktif ini mampu mengurangi kandungan klorin, bau, warna, serta beberapa senyawa volatil organik dari air atau larutan. Meskipun cukup efektif untuk kebutuhan non-kritis, karbon aktif iodine 800 kurang optimal jika digunakan untuk filtrasi limbah industri atau senyawa kompleks dengan berat molekul tinggi. Untuk aplikasi yang membutuhkan kapasitas adsorpsi lebih tinggi dan spesifik, seperti penanganan limbah industri berat atau kontaminan berbahaya, lebih disarankan menggunakan karbon aktif dengan iodine number ≥ 1000 mg/g (Ma'ruf dan Saputri, 2023). Bentuk karbon aktif disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Karbon aktif
Sumber : Nustini dan Alwar (2019)

Karakteristik air limbah domestik dan air sumur berdasarkan penelitian Tanjungsari dkk. (2016) menunjukkan bahwa nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) berkisar antara 89 hingga 194 mg/L. Kisaran ini masih berada dalam batas wajar untuk air bersih, namun mengindikasikan adanya kandungan zat terlarut dari aktivitas rumah tangga. Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) tercatat antara 17,27 hingga 34,23 mg/L, yang menunjukkan keberadaan bahan organik terlarut dalam jumlah sedang. Nilai COD ini mencerminkan potensi pencemaran ringan dari limbah domestik, seperti limbah dapur, sabun, dan sisa bahan organik lainnya. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa meskipun air sumur dan limbah domestik mengandung zat pencemar, tingkatannya masih relatif rendah dan berpotensi untuk diolah lebih lanjut agar memenuhi standar kualitas air.

Desorpsi merupakan proses kebalikan dari adsorpsi, di mana molekul atau partikel yang sebelumnya menempel pada permukaan adsorben dilepaskan kembali ke fase fluida. Pada kondisi kesetimbangan, laju adsorpsi yang terjadi akan sama dengan laju desorpsi, sehingga tidak ada perubahan bersih pada jumlah partikel yang menempel. Partikel yang terikat secara fisik pada permukaan adsorben dapat mengalami getaran termal, yang menyebabkan melemahnya gaya tarik antar

partikel dan permukaan adsorben. Getaran ini berpotensi mengguncang partikel tersebut hingga terlepas dan kembali ke lingkungan sekitarnya. Proses ini sangat penting dalam regenerasi adsorben, karena memungkinkan media filtrasi digunakan kembali dengan efektivitas yang optimal (Adawiah dkk., 2021).

2.4 Parameter Analisis Pengujian

2.4.1 Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) adalah parameter fisik yang digunakan untuk mengukur kandungan zat-zat terlarut dalam air. Tingginya konsentrasi TDS menunjukkan adanya akumulasi berbagai senyawa terlarut yang dapat berdampak buruk pada kualitas air. TDS dapat berasal dari senyawa organik dan anorganik yang terlarut, seperti residu pati, gula, dan garam yang dihasilkan selama proses produksi. Tingginya kadar TDS dapat mengganggu ekosistem perairan dengan meningkatkan tekanan osmotik di lingkungan air (Anggraini dkk, 2023).

2.4.2 Turbidity

Turbidity atau kekeruhan adalah parameter yang mengukur sejauh mana partikel dalam air memengaruhi transmisi cahaya, baik dengan menyerap maupun memantulkan cahaya. Air dianggap keruh jika mengandung banyak partikel tersuspensi, seperti lumpur, sedimen atau bahan organik. Partikel ini tidak hanya mengurangi kejernihan air, tetapi juga berkontribusi terhadap masalah kualitas air yang lebih besar. Kekeruhan yang tinggi dapat berdampak pada ekosistem perairan, terutama dengan mengurangi penetrasi cahaya matahari ke lapisan air yang lebih dalam. Hal ini dapat menghambat proses fotosintesis pada tanaman air dan fitoplankton, yang merupakan dasar rantai makanan akuatik (Anggraini dkk, 2023).

2.4.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Total Chemical Oxygen Demand (T-COD) mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam satu liter sampel air

menggunakan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) atau kalium permanganat ($KMnO_4$) sebagai oksidator. Proses ini menentukan seberapa besar kebutuhan oksigen untuk mengurai bahan organik melalui reaksi kimia, yang berperan dalam menilai tingkat pencemaran air. COD yang tinggi menunjukkan keberadaan zat organik dalam jumlah besar, yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Pengujian COD umumnya dilakukan dengan menggunakan $K_2Cr_2O_7$ dalam lingkungan asam untuk memastikan oksidasi berlangsung secara maksimal. Reaksi ini dilakukan pada suhu mendidih agar efisiensi penguraian zat organik meningkat dan hasil pengukuran lebih akurat. Dengan demikian, nilai COD menjadi indikator penting dalam pemantauan kualitas air dan pengelolaan limbah organik (Hermawan, 2022).

2.4.4 pH

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat dalam suatu larutan. Nilai pH dalam air sangat berpengaruh terhadap berbagai proses fisik, kimia, dan biologis yang berlangsung di dalam ekosistem perairan serta organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar dari 1 hingga 14, di mana nilai pH di bawah 7 menunjukkan sifat asam, nilai di atas 7 menunjukkan sifat basa, sedangkan pH 7 dianggap sebagai kondisi netral. Pemantauan pH sangat penting dalam pengelolaan limbah cair karena dapat menentukan kebutuhan perlakuan awal (pretreatment) untuk mencegah gangguan pada proses pengolahan lebih lanjut. Ketidakseimbangan pH dalam limbah dapat menyebabkan dampak negatif, seperti korosi pada peralatan, gangguan aktivitas mikroorganisme, serta pencemaran lingkungan perairan (Hermawan, 2022).

2.4.5 Aroma

Aroma yang muncul pada limbah cair umumnya berasal dari senyawa volatil yang terbentuk akibat dekomposisi bahan organik maupun reaksi kimia tertentu. Senyawa seperti hidrogen sulfida, amonia, dan berbagai senyawa organik lainnya

sering kali menjadi penyebab utama bau tidak sedap. Keberadaan senyawa ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, terutama jika konsentrasinya tinggi. Bau yang kuat dari limbah cair dapat menjadi indikator tingginya pencemaran yang terjadi. Oleh karena itu, pengolahan limbah harus dilakukan secara efektif untuk mengurangi kandungan senyawa penyebab bau. Berbagai metode seperti aerasi, adsorpsi, dan pengolahan biologis dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan aroma pada limbah cair (Rahayu dkk., 2021).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2025 di Laboratorim Pengolahan Limbah Agroindustri dan Laboratorium Analisis Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tangki air 1.000 L, botol semprot, botol kaca, toples, gelas ukur, tisu kering, *beaker glass*, corong, erlenmeyer, turbidimeter, TDS meter, pompa, tabung filter air Nanotec, pipa, pipa L, selang, pipet volumetrik, *rubber bulb*, pH meter HI 2550pH/ORP, COD *reactor* DRB 200, dan kertas label.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aquades, limbah cair tapioka, karbon aktif iodine 800, Hanna HI 93754-25 Reagen COD Rentang Tinggi.

3.3 Metodologi Penelitian

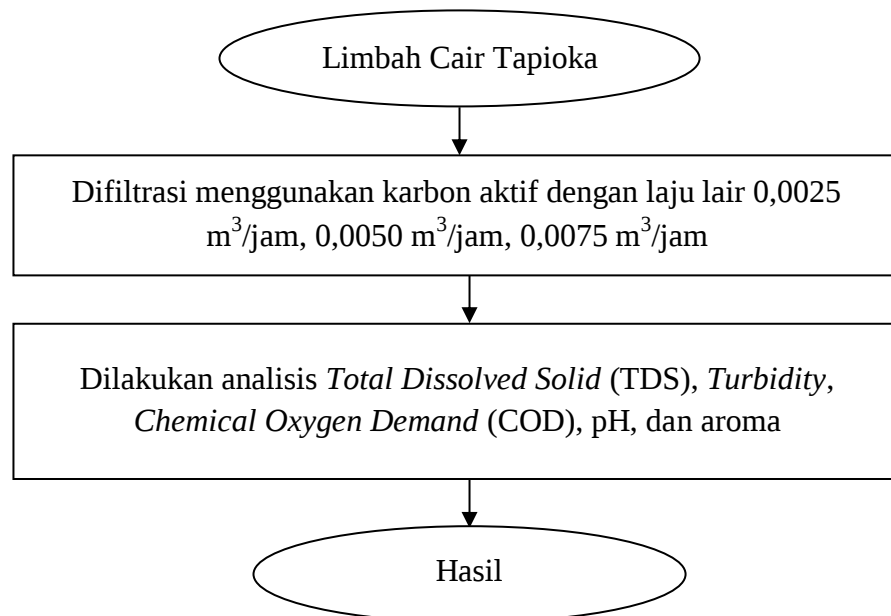
Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif dengan menyajikan hasil observasi dalam bentuk grafik yang kemudian dianalisis secara deskriptif.

Penelitian ini dilakukan dengan perlakuan perbedaan laju alir yaitu 0,0025 m³/jam, 0,0050 m³/jam, dan 0,0075 m³/jam. Penelitian ini dilakukan selama 5 hari dengan 3 kali pengambilan sampel pada pukul 10.00, 13.00, dan 16.00 dalam waktu 12 jam. Penelitian ini dilakukan 2 kali ulangan untuk *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, dan pH, sedangkan analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan aroma dilakukan pada sekali pengambilan sampel pukul 16.00 dengan hasil

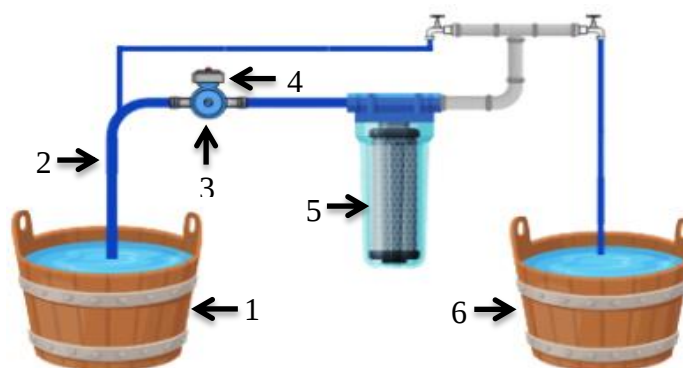
pengamatan akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Parameter yang diamati yaitu *Total Dissolved Solid (TDS)*, *Turbidity*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, pH, dan aroma.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah tapioka yang diperoleh dari industri tapioka yang terdapat di Pesawaran, Provinsi Lampung. Setelah dilakukan pengambilan sampel akan dilakukan analisis terhadap berbagai perlakuan. Diagram penelitian disajikan pada Gambar 5. Desain alat penelitian disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram alir penelitian



Gambar 6. Desain alat penelitian

Keterangan :

1 = Air limbah tapioka sebelum filtrasi

2 = Selang

3 = Pompa

4 = Pengatur laju alir

5 = Karbon aktif

6 = Air limbah tapioka setelah difiltrasi

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan adalah pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan aroma.

3.5.1 *Total Dissolved Solid* (TDS)

Pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) dilakukan untuk mengukur jumlah partikel terlarut dalam air, sehingga dapat memastikan air yang digunakan bersih dan bebas dari zat berbahaya. Pengukuran dilakukan dengan mencelupkan alat TDS meter kedalam *beaker glass* yang sudah terisi dengan limbah cair tapioka yang sudah melalui proses filtrasi. Hasil dari pengukuran padatan akan terlihat pada layar yang ada pada alat TDS meter.

3.5.2 *Turbidity*

Pengukuran *Turbidity* atau kejernihan air dilakukan untuk mengetahui tingkat kekeruhan yang merupakan indikator penting dalam penelitian filtrasi limbah cair. Tingkat kejernihan air bisa mencerminkan keberhasilan proses filtrasi dalam mengurangi partikel tersuspensi, sedimen, atau zat padat lainnya yang terdapat dalam limbah cair. Alat yang digunakan dalam analisis kejernihan air yaitu turbidimeter. Sebelum dilakukan analisis kejernihan air pada sampel, alat turbidimeter harus dikalibrasi terlebih dahulu. Setelah proses kalibrasi selesai, masukan sampel menggunakan pipet pada tabung sebanyak 10 ml. Lap permukaan tabung menggunakan lap halus hingga lemak dan kotoran yang

menempel pada permukaan tabung hilang, karena kotoran dan lemak tersebut akan mempengaruhi pengukuran pada alat turbidimeter. Tabung dimasukan kedalam alat turbidimeter. Hasil dari pengukuran kejernihan air akan terlihat pada layar yang ada pada alat turbidimeter.

3.5.3 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengukuran *Chemical Oxygen Demand (COD)* dilakukan untuk menentukan total kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam proses oksidasi bahan organik padatan secara kimiawi. Pengambilan sampel pada pukul 10.00, 13.00, dan 16.00 dalam waktu 24 jam dan dihomogenkan sebelum dilakukannya pengujian pada sampel untuk setiap perlakuan dengan laju alir sebesar 0,0025 m³/jam, 0,0050 m³/jam, dan 0,0075 m³/jam. Proses pengukuran COD diawali dengan pengenceran sampel sebanyak 100 kali, yaitu dengan mengambil 5 ml sampel yang telah dihomogenkan, lalu memasukkannya ke dalam labu ukur berkapasitas 500 ml. Aquades ditambahkan hingga mencapai garis batas, kemudian larutan dihomogenkan dengan cara membolak-balikkan labu ukur. Selanjutnya, sampel yang telah homogen dituangkan ke dalam gelas beaker berkapasitas 50 ml, lalu diambil sebanyak 0,2 ml menggunakan pipet volumetrik 1 ml. Sampel tersebut dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah berisi reagen COD, kemudian dicampur dengan vortex dan dipanaskan dalam reaktor DRB 200 pada suhu 150°C selama 120 menit. Setelah proses pemanasan selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian dilakukan pengukuran nilai COD menggunakan spektrofotometer HACH DR 4000 (SNI 06-6989.2-2004).

3.5.4 pH

Pengukuran sampel dilakukan menggunakan pH meter dengan mengikuti prosedur yang terdiri dari beberapa tahap. Pertama, elektroda dibilas dengan air aquades untuk menghilangkan sisa zat yang menempel. Selanjutnya, elektroda dikeringkan menggunakan kertas tisu agar tidak ada sisa air yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Setelah itu, elektroda dicelupkan ke dalam sampel uji hingga pH meter menunjukkan nilai yang stabil. Hasil pengukuran

kemudian dicatat sesuai dengan angka yang tertera pada layar pH meter. Setelah proses pengukuran selesai, elektroda kembali dibilas dengan air aquades dan dikeringkan menggunakan kertas tisu untuk memastikan kebersihan dan keakuratan alat dalam pengukuran berikutnya (SNI 06-6989.11-2004).

3.5.5 Aroma

Uji sensori terhadap air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi menggunakan karbon aktif dilakukan pada aroma air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi oleh 15 panelis tidak terlatih. Panelis berusia sekitar 17-45 tahun. Panelis bersifat bebas tanpa ada ketentuan pekerjaan atau jenis kelamin. Pada saat uji sensori panelis diberikan lembar kuisisioner untuk memberikan penilaian terhadap parameter aroma pada air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi menggunakan karbon aktif. Syarat menjadi panelis untuk uji sensori yaitu harus sehat, tidak mengalami sakit yang dapat menyebabkan lemahnya indra penciuman yang dapat mempengaruhi penilaian. Uji sensori air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi ini dilakukan dua kali, karena adanya dua kali pengulangan untuk tiga sampel air limbah yang sudah terfiltrasi. Air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi disajikan dengan takaran yang sama di wadah yang berbeda dan diberi label penomoran agar sampel tidak tertukar, para panelis menghirup aroma sampel satu persatu. Kuisisioner uji sensori air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi disajikan pada Gambar 7.

Kuisisioner Uji Sensori

Nama : Tanggal :

Produk : Air Limbah Tapioka yang Sudah Terfiltrasi

Petunjuk :

Di hadapan anda disajikan 58 buah sampel air limbah tapioka yang sudah terfiltrasi dengan kode tertentu. Anda diminta untuk menghirup aroma dan memberikan skor uji sensori aroma. Setelah menghirup aroma sampel panelis diwajibkan memberikan keterangan pada masing-masing sampel.

No.	KODE SAMPEL		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Keterangan :

Aroma :

1 = Normal

0 = Tidak Normal

Gambar 7. Kuisisioner uji sensori

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Laju alir terbaik dalam proses filtrasi limbah cair tapioka menggunakan karbon aktif yaitu laju alir $0,0025 \text{ m}^3/\text{jam}$ pada hari ke-1 dengan persentase penurunan TDS 7,4%, *Turbidity* 80%, COD 72,5%, dan uji perbandingan aroma dari 15 panelis menyatakan 100% aroma normal.
2. Efektivitas karbon aktif sebagai media filtrasi dalam menyisihkan aroma pada limbah cair tapioka adalah pada laju alir $0,0025 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $0,0050 \text{ m}^3/\text{jam}$ dapat menyisihkan aroma hingga hari ke-3, sedangkan pada laju alir $0,0075 \text{ m}^3/\text{jam}$ dapat menyisihkan aroma hingga hari ke-2.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penggunaan karbon aktif dalam filtrasi limbah cair tapioka dilakukan setelah tahap filtrasi menggunakan media lain, misalnya ultrafiltrasi. Hasil setelah melalui tahap ultrafiltrasi kadar TDS, *Turbidity*, COD, sudah rendah dan bisa langsung difiltrasi menggunakan karbon aktif sehingga hasilnya lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., Triwiyono, B., Marjono, A., dan Yulianto, A. 2022. Kajian Potensi, Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Onggok untuk Industri Pangan. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*. 4(4): 5807-5815.
- Adawiah, S. R., Sutarno, S., Nur, A., Gani, R., dan Andriani, T. 2021. Studi Perbandingan Adsorpsi-Desorpsi Anion Nitrat dan Sulfat pada Bentonit Termomodifikasi. *Walisongo Journal of Chemistry*, 4(1): 23-31.
- Adnan, A. A., Ismayana, A., Sailah, I., Shobi, I., dan Indrasti, N. S. 2020. *The potential usage of recycled waste water in small scale tapioca industry in Bogor*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1): 012033.
- Agrawal, V. R., Vairagade, V. S., dan Kedar, A. P. 2017. *Activated carbon as adsorbent in advance treatment of wastewater*. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(4): 36-40.
- Agustira, R., dan Lubis, K. S. 2015. Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka. *Jurnal Agroekoteknologi. Universitas Sumatera Utara*, 1(3): 95191.
- Alfian Putra, S. T., Satriananda, S. T., Syafruddin, I., Suryani, S. T., Zuhra Amalia, S. T., dan Sust, M. E. M. 2024. Teknologi Bioindustri dan Penerapannya. *Ebukune Litera Media*, 1(3): 91.
- Andarista, F. F., Huda, M. M., dan Dewati, R. 2023. Adsorpsi logam timbal pada limbah cair artifisial menggunakan arang aktif eceng gondok. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1): 33-39.
- Anggraini, A. A. L. 2021. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Kayu Dengan Metode Filtrasi Menggunakan Media Arang Aktif, Zeolit Dan Pasir. *Doctoral dissertation*. Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, 1(2): 51.
- Anggraini, I. F., Kusniawati, E., dan 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.
- Du, H., Wang, Z., Sun, Y., dan Shah, K. J. 2024. *An Overview Of The Progress Made In Research On Odor Removal In Water Treatment Plants*. *Journal MDPI*, 16(2): 280.
- Dwivedi, K., Morone, A., Chakrabarti, T., dan Pandey, R. A. 2018. *Evaluation And Optimization Of Fenton Pretreatment Integrated With Granulated Activated Carbon (GAC) Filtration For Carbamazepine Removal From Complex Wastewater Of Pharmaceutical Industry*. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 6(3): 3681-3689.
- Febrina, I., dan Rizki, P. S. 2023. Pengaruh Karbon Aktif Dari Kulit Pisang Tanduk Terhadap Limbah Cair Tahu Menggunakan Parameter Ph, COD (*Chemical Oxygen Demand*), DO (*Disolved Oxygen*) & *Chlorida*. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(10): 4249-4262.
- Fitriyana, S. 2018. Efektivitas Aerasi dan Filtrasi terhadap Penurunan Kadar Mangan (Mn) pada Air Sumur Bor berdasarkan Lama Kontak dan Ketebalan Media. *Doctoral dissertation*. Universitas Muhammadiyah Semarang, 1(3): 19-33.
- Guchi, E. 2015. *Review on slow sand filtration in removing microbial contamination and particles from drinking water*. *American Journal of Food and Nutrition*, 3(2): 47-55.
- Hasbiah, A. W., Mulyatna, L., dan Pahilda, W. R. 2019. Penyisihan Total *Coliform* Dalam Air Hujan Menggunakan Media Filter *Zeolite* Termodifikasi, Karbon Aktif, dan *Melt Blown Filter Cartridge*. *Infomatek*, 21(1): 15-26.
- Hariyanto, B., dan Larasati, D. A. 2016. Dampak pembuangan limbah tapioka terhadap kualitas air tambak di Kecamatan Margoyoso Kabupaten Pati. *Fakultas Ilmu Sosial dan hokum*. Universitas Negeri Surabaya, 1(2): 13.
- Harmawan, T. 2022. Analisis Kandungan Minyak dan Lemak pada Limbah Outlet Pabrik Kelapa Sawit di Aceh Tamiang. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 4 (1): 15–19.
- Hermida, L., Kustiani, I., dan Suharno, S. 2020. Evaluasi Kinerja Sistem *Elektrokoagulasi Batch Recycle* Dengan Susunan Elelroda Monopolar Dalam Mengolah Limbah Cair Tapioka. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 1(1): 20-28.
- Irmanto, I., dan Suyata, S. 2015. Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Molekul*, 5(1): 22-32.

- Islamawati, D., Darundiati, Y. H., dan Dewanti, N. A. Y. 2018. Studi Penurunan Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) Menggunakan Ferri Klorida (FeCl_3) Pada Limbah Cair Tapioka di Desa Ngemplak Margoyoso Pati. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6): 69-78.
- Jaya, D., Anisa, A., Basuki, D. P., dan Widayati, T. W. 2022. *Leaching SiO_2 On Coal Fly Ash As Ammonium Adsorbent In Tofu Liquid Waste Using Hydrothermal Method*. *Eksergi*, 19(3): 153-159.
- Kayiwa, R., Olupot, P. W., dan Lubwama, M. 2019. *Production And Potential Of Activated Carbon From Cassava Peels For Remediation Of Active Pharmaceutical Ingredients From Wastewater: A Review*. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 4(4): 1-24.
- Kusniawati, E., Sari, D. K., dan Putri, M. K. 2023. Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar pH, *Turbidity*, TSS, dan TDS. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(10): 4183-4198.
- Ma'ruf, A., dan Saputri, S. L. 2023. Pembuatan Karbon Aktif Bunga Pinus Menggunakan Aktivasi Mekanik Dengan Metode High Energy Milling. *J. Techno*, 24(1): 11-18.
- Maghfiroh, M., Park, N., Chang, H., Lim, H., dan Kim, W. 2023. *Ammonium Removal And Recovery From Greywater Using The Combination Of Ion Exchange And Air Stripping: The Utilization Of NaOH For The Regeneration Of Natural Zeolites*. *Journal Of Water Process Engineering*, 52: 103581.
- Mahapatra, U., Chatterjee, A., Das, C., dan Manna, A. K. 2023. *Chemically Activated Carbon Preparation From Natural Rubber Biosludge For The Study Of Characterization, Kinetics And Isotherms, Thermodynamics, Reusability During Cr (VI) And Methylene Blue Adsorption*. *Water Science & Technology*, 87(3): 635-659.
- Mai, H. N. P. 2015. *Integrated treatment of tapioca processing industrial wastewater based on environmental bio-technology*. Wageningen University and Research, 2(3): 2-162.
- Manaf, D. S., Dewi, E., dan Jaksen, J. 2021. Proses Pengolahan Air pada Alat Filtrasi dengan Variasi Laju Alir, Perbandingan Volume antara Pasir dan Karbon Aktif di PLTG Borang. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(8): 321-327.
- Metcalf dan Eddy. 2015. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education, 1(3): 12-22.
- Mohtar, S. S., Sharuddin, S. S. N., Saman, N., Lye, J. W. P., Othman, N. S., dan Mat, H. 2020. *A simultaneous removal of ammonium and Turbidity via an*

adsorptive coagulation for drinking water treatment process. Environmental Science and Pollution Research, 27, 20173-20186.

- Mulyono, R. A., Sapta, W. A., dan Putri, N. I. 2022. Teknologi Elektroflokulasi Bertingkat Kombinasi Media Pasir-Arang Aktif sebagai Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka. *Jurnal Kesehatan*, 13(1): 140-149.
- Munagapati, V. S., Yarramuthi, V., Nadavala, S. K., Alla, S. R., dan Abburi, K. 2015. *Biosorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) by Acacia leucocephala bark powder: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. Chemical Engineering Journal*, 157, 357–365.
- Nustini, Y., dan Allwar, A. 2019. Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa dan Granular Karbon Aktif Guna Meningkatkan Kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo, 1(2): 22-30.
- Pratiwi, S. W., dan Amalia, A. 2025. Pengaruh Aktivator dan Laju Alir dengan Metode Slow Sand Filter Menggunakan Kombinasi Karbon Aktif Alami untuk Pengolahan Air Telaga. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(1): 78-105.
- Purwanti, E., Ramdani, D., Rahmadewi, R., Nugraha, B., Efelina, V., dan Dampang, S. 2021. Sosialisasi Manfaat Karbon Aktif Sebagai Media Filtrasi Air Guna Meningkatkan Kesadaran Akan Pentingnya Air Bersih di SMK PGRI Cikampek. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(2): 381-386.
- Rahayu, A., Fadhillah Hanum, F., Aldilla Fajri, J., Dwi Anggraini, W., dan Khasanah, U. 2021. Pengolahan Limbah cair Industri dengan Menggunakan Silika: *A Review: Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica. Opscitech. Com*, 2(1): 2776-169.
- Rara, A. 2022. Efektivitas Karbon Aktif dari Batu Bara Muda (*Lignite*) dalam Menurunkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Air Limbah Industri Tahu. Skripsi. Universitas Jambi, 1(3): 20-25.
- Shirazi, S., Lin, C. J., dan Chen, D. 2017. *Inorganic Fouling Of Pressure-Driven Membrane Processes—A Critical Review. Desalination*, 250(1): 236-248.
- Suliesyah, S., dan Astuti, A. D. 2021. Optimasi aktivator ZnCl₂ dalam pembuatan karbon aktif dari batubara dan pengujian karbon aktif sebagai adsorben. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 6(2): 191-201.
- Sultana, M., Rownok, M. H., Sabrin, M., Rahaman, M. H., dan Alam, S. N. 2022. *A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. Cleaner engineering and technology*, 6(3): 90-122.

- Suprianti, Y., dan Kurniasetyawati, A. S. 2019. Regenerasi In-Situ Adsorben Karbon Aktif Tipe Granul dengan Metode Termal. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 3(1): 1-9.
- Syukri, M., Yuliani, R. 2020. Kinerja Karbon Aktif dalam Penyisihan Senyawa Pencemar Volatil dari Limbah Pangan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1): 15-21.
- Tanjungsari, H., Sudarno, S., dan Andarani, P. 2016. Pengaruh Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sumur ditinjau dari Konsentrasi TDS, Klorida, Nitrat, COD dan Total Coliform (Studi Kasus: RT 01, RW 02, Pemukiman Tanjungsari, Kelurahan Tembalang). *Doctoral dissertation*. Diponegoro University, 1(3): 33-39.
- Torres-Lozada, P., Amezcua-Marroquín, C. P., Agudelo-Martínez, K. D., Ortiz-Benítez, N., dan Martínez-Ducara, D. S. 2018. *Evaluation Of Turbidity And Dissolved Organic Matter Removal Through Double Filtration Technology With Activated Carbon*. DYNA, 85(205): 234-239.
- Utami, F. 2017. Optimasi Proses Pembuatan Nata De Cassava Dari Limbah Cair Tapioka Menggunakan *Placket-Burman Screening Design* dan *Response Surface Methode Doctoral dissertation*. Universitas Muhammadiyah Purwokerto, 1(2): 20-35.
- Vymazal, J. 2018. *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Five Decades Of Experience*. *Environmental science & technology*, 45(1): 61-69.
- Wang, B., Lan, J., Bo, C., Gong, B., dan Ou, J. 2023. *Adsorption Of Heavy Metal Onto Biomass-Derived Activated Carbon*. *RSC Advances*, 13(7): 4275-4302.
- Wirosoedarmo, R., Haji, A. T. S., dan Hidayati, E. A. 2018. Pengaruh konsentrasi dan waktu kontak pada pengolahan limbah domestik menggunakan karbon aktif tongkol jagung untuk menurunkan BOD dan COD. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 3(2): 31-38.
- Zhang, M., Chen, Y., Xie, L., dan Zhou, Q. 2018. *Enhanced Removal Of Bio-Refractory Dissolved Organic Matter From Cassava Distillery Wastewater By Powdered Activated Carbon-Ballasted Coagulation: Detailed Study Of Separation Characteristics And Mechanisms*. *Chemosphere*, 211: 1054-1064.
- Zhu, L., dan Zhong, Z. 2020. *Effects Of Cellulose, Hemicellulose And Lignin On Biomass Pyrolysis Kinetics*. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 37(10): 1660-1668.