

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI ASETON
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF TULANG AYAM
SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS KENDARAAN BERMOTOR**

SKRIPSI

REZA EKA PUTRA

20210110041



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER, DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI**

2025

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI ASETON TERHADAP
KARAKTERISTIK KARBON AKTIF TULANG AYAM SEBAGAI
ADSORBEN EMISI GAS KENDARAAN BERMOTOR
SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh

Gelar Sarjana Teknik Mesin

REZA EKA PUTRA

20210110041



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER, DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI**

2025

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI
ASETON TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON
AKTIF TULANG AYAM SEBAGAI ADSORBEN EMISI
GAS KENDARAAN BERMOTOR

NAMA : REZA EKA PUTRA

NIM 20210110041

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti-bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.

Sukabumi, 17 September 2025

REZA EKA PUTRA

Penulis

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI
ASETON TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON
AKTIF TULANG AYAM SEBAGAI ADSORBEN EMISI
GAS KENDARAAN BERMOTOR

NAMA : REZA EKA PUTRA

NIM 20210110041

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, 17 September 2025

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Zaid Sulaiman, M.T

NIDN. 0410109701



Heppi Familiana, S.St., M.T

NIDN. 0422098102

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Lazuardi Akmal Islami, M.Si

NIDN. 0415039402

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI ASETON
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF TULANG
AYAM SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS KENDARAAN
BERMOTOR

NAMA : REZA EKA PUTRA

NIM 20210110041

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan dewan penguji pada sidang skripsi 12 Agustus 2025. Menurut pandangan kami, skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik

Sukabumi, 17 September 2025

Pembimbing I

Pembimbing II

Zaid Sulaiman, M.T

NIDN. 0410109701

Ketua Penguji

Heppi Familiana, S.St., M.T

NIDN. 0422098102

Ketua Program Studi Akuntansi

Lazuardi Akmal Islami, M.Si

NIDN. 0415039402

Dekan Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain

Lazuardi Akmal Islami, M.Si

NIDN. 0415039402

Ir. Paikun, S.T., IPM., ASEAN Eng.

NIDN. 0402037401

MOTTO

“Never regret a day in your life. Good days give happiness, bad days give experiences, the worst days give lessons, and the best days give memories.”

-Reza Eka Putra-

"Whatever you lose, you'll find it again. But what you throw away, you'll never get back."

-Kenshin Himura-



PERSEMBAHAN

Skripsi Ini Dipersembahkan Untuk Keluarga Saya

Yang Sangat Saya Cintai



ABSTRACT

Air pollution from motor vehicles is the main contributor to pollution in Indonesia, accounting for 44% of emissions from the transportation sector. This study aims to develop activated carbon based on chicken bone waste as an adsorbent for CO and HC gas emissions from a Honda Karisma 125CC motorcycle manufactured in 2003. Chicken bones were carbonized at temperature variations of 400°C, 500°C, and 600°C, then activated using acetone with concentrations of 1M, 2M, and technical grade acetone. Characterization was performed using SEM-EDX, FTIR, and TGA to analyze morphology, elemental composition, and functional groups. Results showed the highest porosity of 3018.985 μm^2 at 400°C with 2M acetone activation, producing a carbon content of 22.33%. TGA analysis confirmed gradual degradation of bone mass with losses of 7.54% (0-200°C), 2.08% (200-400°C), and 1.33% (400-600°C). Gas emission adsorption tests showed optimal effectiveness under different conditions: CO reduction up to 70.97% from 1.86% to 0.54% with technical acetone activation at 500°C, and HC reduction up to 40.86% from 727 ppm to 430 ppm with 2M acetone activation at 400°C. The research results demonstrate the potential of chicken bone waste as an alternative activated carbon for reducing motor vehicle emissions.

Keywords: *Activated carbon, chicken bones, acetone, morphology, adsorption.*

ABSTRAK

Polusi udara dari kendaraan bermotor menjadi penyumbang utama pencemaran di Indonesia dengan kontribusi 44% dari sektor transportasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan karbon aktif berbahan dasar limbah tulang ayam sebagai adsorben emisi gas CO dan HC pada kendaraan bermotor Honda Karisma 125CC tahun 2003. Tulang ayam dikarbonisasi pada variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, kemudian diaktivasi menggunakan aseton dengan konsentrasi 1M, 2M, dan aseton teknis. Karakterisasi dilakukan menggunakan SEM-EDX, FTIR, dan TGA untuk menganalisis morfologi, komposisi unsur, dan gugus fungsi. Hasil menunjukkan porositas tertinggi 3018,985 μm^2 pada suhu 400°C dengan aktivasi aseton 2M, menghasilkan kadar karbon 22,33%. Analisis TGA mengkonfirmasi degradasi bertahap massa tulang dengan kehilangan 7,54% (0-200°C), 2,08% (200-400°C), dan 1,33% (400-600°C). Uji adsorpsi emisi gas menunjukkan efektivitas optimal pada kondisi berbeda, penurunan CO hingga 70,97% dari 1,86% menjadi 0,54% dengan aktivasi aseton teknis 500°C, dan penurunan HC hingga 40,86% dari 727 ppm menjadi 430 ppm dengan aktivasi aseton 2M 400°C. Hasil penelitian membuktikan potensi limbah tulang ayam sebagai alternatif karbon aktif untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor.

Kata kunci: Karbon aktif, tulang ayam, aseton, morfologi, adsorpsi.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu Dan Konsentrasi Aseton Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Tulang Ayam Sebagai Adsorben Emisi Gas Kendaraan Bermotor”** dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain Universitas Nusa Putra. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa terselesaikannya penelitian ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Paikun, S.T., IPM., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain Universitas Nusa Putra.
2. Bapak Lazuardi Akmal Islami M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
3. Bapak Zaid Sulaiman, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penyusunan skripsi.
4. Ibu Heppi Familiana, S.St., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, masukan, serta koreksi yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan dukungan selama masa perkuliahan
6. Bapak Muhammad Yunus, S.T., Bapak Yogi Angga Swasono, S.Si., M.Eng. dan para *staff* di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Kawasan Puspitek Serpong, Muncul, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten. Yang telah membantu dan memberi arahan dalam melakukan penelitian selama penyusunan skripsi.

7. Keluarga tercinta, khususnya Bapak Andi Hariyanto dan Ibu Rini Elzerra, yang selalu menjadi tempat pulang terbaik dalam segala suka dan duka. Terima kasih atas doa, cinta, dan dukungan tanpa henti yang diberikan kepada penulis
8. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, khususnya angkatan 21 yang selalu memberikan dukungan dan rasa kebersamaan kepada penulis selama masa studi ini.
9. Sahabat penulis, yang selalu hadir sebagai tempat berbagi cerita. Terima kasih telah menjadi bagian penting dari perjalanan hidup dan tumbuh bersama selama ini.
10. Baby Anatasya, *partner* yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan motivasi tiada henti dalam setiap proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas doa, harapan, serta kehadiranmu yang selalu menjadi sumber inspirasi dan kekuatan bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap segala bentuk saran dan kritik yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik secara akademis maupun praktis, serta menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Mesin.

Sukabumi, 17 September 2025

Reza Eka Putra

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya bertanda tangan Di bawah ini:

Nama : Reza Eka Putra
NIM : 20210110041
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-Exclusive Royalti- Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul:

PENGARUH VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI ASETON TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF TULANG AYAM SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS KENDARAAN BERMOTOR.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di: Sukabumi

Pada, 17 September 2025

Yang menyatakan

Reza Eka Putra

DAFTAR ISI

JUDUL SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN PENULIS	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
10.1 Latar Belakang	1
10.2	Rumusan
Masalah Penelitian	4
10.3	Batasan
Masalah Penelitian	5
10.4	Tujuan
Penelitian	5
10.5	Manfaat
Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Reaksi Pembakaran Bahan Bakar.....	6
2.2 Emisi Gas Kendaraan Bermotor.....	7
2.2.1 Dampak Emisi Gas Kendaraan Bermotor	9
2.3 Karbon Aktif.....	10
2.3.1 Jenis-jenis Karbon Aktif.....	13
2.3.2 Sumber Bahan Baku Karbon Aktif.....	14
2.4 Tulang Ayam Sebagai Sumber Karbon Aktif.....	15
2.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	16
2.5.1 Dehidrasi	16
2.5.2 Karbonisasi	16
2.5.3 Aktivasi.....	17
2.6 Proses Aktivasi Dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Karbon Aktif...	19
2.7 Adsorpsi.....	21
2.8 Pengujian SEM-EDX (<i>Scanning Electron Microscope-Energy Despersive X-ray</i>)	22
2.9 Pengujian FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	23
2.10 Pengujian TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>)	23
2.11 Pengujian Adsorpsi Emisi Gas	24
2.12 Penelitian Sebelumnya	24
2.13 Profil Perusahaan.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Studi Literature.....	28
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	28

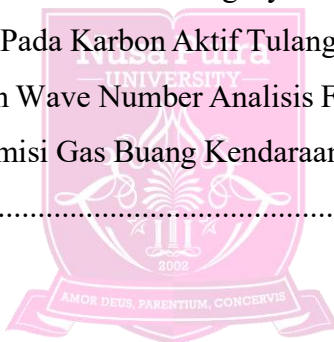
3.3.1 Alat	28
3.3.2 Bahan.....	29
3.4 Preparasi Tulang Ayam	30
3.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	30
3.5.1 Proses Karbonisasi Tulang Ayam.....	31
3.5.2 Proses Aktivasi Kimia dengan Aseton.....	33
3.6 Pembuatan Pellet Karbon Aktif.....	38
3.7 Pembuatan Tabung Karbon Aktif	40
3.8 Pengujian SEM-EDX	41
3.9 Pengujian FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	42
3.10 Pengujian TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>) Pada Tulang Ayam.....	43
3.11 Pengujian Adsorpsi Emisi Gas CO dan HC.....	43
3.12 Analisis Hasil Pengujian.....	44
BAB IV ANALILIS DATA DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Uji SEM-EDX Sebelum Aktivasi	46
4.2 Hasil Uji SEM-EDX Sesudah Aktivasi	48
4.2.1 Aktivasi karbon pada suhu 400°C.....	48
4.2.2 Aktivasi karbon pada suhu 500°C	50
4.2.3 Aktivasi karbon pada suhu 600°C	52
4.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Kadar Karbon Sebelum Aktivasi.....	54
4.4 Pengaruh Konsentrasi Aseton Terhadap Kadar Karbon Sesudah Aktivasi .	55
4.5 Porositas Karbon Aktif Tulang Ayam.....	57
4.6 Hasil Uji TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>).....	58
4.7 Hasil Uji FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	59
4.8 Hasil Uji Adsorpsi Emisi Gas.....	62

4.8.1 Hasil Pengujian Adsorpsi Gas CO.....	62
4.8.2 Hasil Pengujian Adsorpsi Gas HC.....	63
4.9 Pembahasan	64
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	77



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Sumber Alami Karbon Aktif.....	14
Tabel 2. 2 Perbandingan Agen Pengaktif dalam Aktivasi Fisika [29].....	19
Tabel 3.1 Alat.....	28
Tabel 3. 2 Bahan.....	29
Tabel 3. 3 Daftar Sampel Karbon Aktif.....	30
Tabel 3. 4 Volume Aseton Untuk Pengenceran	37
Tabel 3. 5 Densitas Pellet Karbon Aktif Tulang Ayam.....	39
Tabel 4. 1 Hasil Uji EDX Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu 400°C, 500°C, dan 600°C.....	47
Tabel 4. 2 Hasil Uji EDX Karbon Aktif Tulang Ayam Variasi Suhu 400°C	49
Tabel 4. 3 Hasil Uji EDX Karbon Aktif Tulang Ayam Variasi Suhu 500°C	51
Tabel 4. 4 Hasil Uji EDX Karbon Aktif Tulang Ayam Variasi Suhu 600°C	53
Tabel 4. 5 Rata-Rata Unsur Pada Karbon Aktif Tulang Ayam.....	54
Tabel 4. 6 Gugus Fungsi dan Wave Number Analisis FTIR.....	60
Tabel 4. 7 Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama Kategori L	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Jumlah Kendaraan Bermotor Roda Dua Di Jawa Barat.....	2
Gambar 2. 1 Struktur Kimia Karbon Aktif.....	11
Gambar 2. 2 Karbon Aktif Granular.....	13
Gambar 2. 3 Karbon Aktif Serbuk	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Pengeringan Tulang Ayam Menggunakan Oven Elektrik.....	30
Gambar 3. 3 Proses Karbonisasi Tulang Ayam Dengan Suhu Yang Sudah Ditentukan	32
Gambar 3. 4 Tulang Ayam Setelah Karbonisasi	32
Gambar 3. 5 Penghalusan Arang Tulang Ayam.....	33
Gambar 3. 6 Bentuk Serbuk Arang Tulang Ayam.....	33
Gambar 3. 7 Larutan Aseton Yang Digunakan	34
Gambar 3. 8 Pengadukan Karbon Aktif Menggunakan Magnetic Stirrer	34
Gambar 3. 9 Proses Perendaman Serbuk Arang Tulang Ayam Menggunakan Larutan Aktivator	35
Gambar 3. 10 Proses Centrifugation Pada Karbon Aktif Tulang Ayam.....	35
Gambar 3. 11 Proses Pembuatan Pellet Karbon Aktif.....	38
Gambar 3. 12 Model 3D Tabung Adsorpsi.....	40
Gambar 3. 13 Gambar Kerja Model Tabung Adsorpsi	41
Gambar 3. 14 Pengujian SEM-EDX	42
Gambar 3. 15 Uji Fourier Transform Infrared.....	42
Gambar 4. 1 Morfologi Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu 400°C (A), 500°C (B), dan 600°C (C).....	46
Gambar 4. 2 Morfologi Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu 400°C 1M (A), 2M (B), dan Teknis (C)	48
Gambar 4. 3 Morfologi Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu 500°C 1M (A), 2M (B), dan Teknis (C)	50
Gambar 4. 4 Morfologi Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu 600°C 1M (A), 2M (B), dan Teknis (C)	52
Gambar 4. 5 Grafik Kadar Karbon Sebelum Aktivasi.....	55

Gambar 4. 6 Grafik Kadar Karbon Sesudah Aktivasi	56
Gambar 4. 7 Grafik Persentase Luas Pori Karbon Aktif	57
Gambar 4. 8 Grafik Pengujian TGA Pada Tulang Ayam.....	58
Gambar 4. 9 Grafik Hasil FTIR Tulang Ayam Sesudah Karbonisasi	59
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Adsorpsi Pada Gas CO.....	62
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengujian Adsorpsi Pada Gas HC.....	63
Gambar 4. 12 Mekanisme Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Emisi Gas.....	65



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis Software ImageJ Dalam Pengukuran Kuantitatif Pori Pada Karbon Aktif Tulang Ayam	77
Lampiran 2. Hasil Pengujian Ftir Pada Sampel Tulang Ayam Sebelum Diaktivasi.....	78
Lampiran 3. Hasil Pengujian SEM-EDX.....	80
Lampiran 4. Hasil Pengujian TGA.....	86
Lampiran 5. Hasil Uji Adsorpsi	87



BAB I

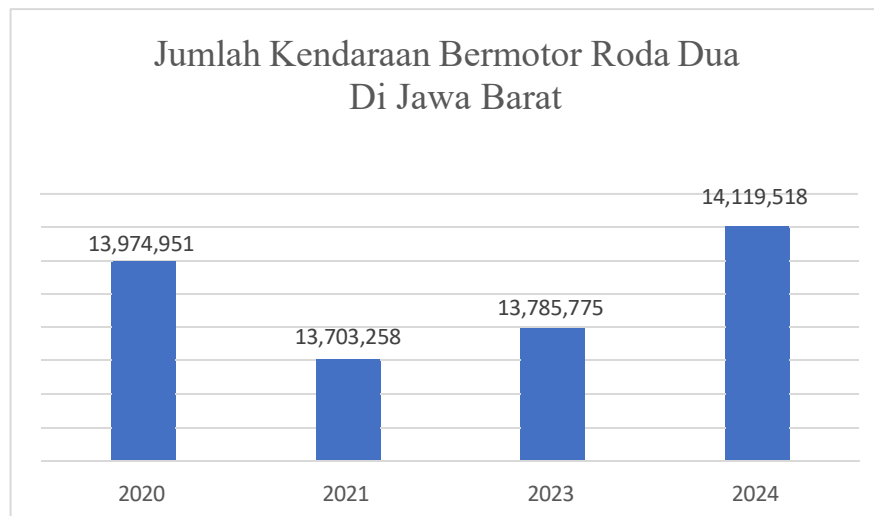
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara merupakan faktor yang sangat penting dalam hidup dan kehidupan. Polusi udara membunuh tujuh juta orang di seluruh dunia setiap tahun. Data WHO menunjukkan bahwa 9 dari 10 orang menghirup udara yang mengandung polutan tingkat tinggi. WHO bekerja sama dengan berbagai negara, termasuk Indonesia untuk memantau polusi udara dan meningkatkan kualitas udara. Dampak kombinasi polusi udara dari lingkungan luar dan dalam ruangan mengakibatkan sekitar tujuh juta kematian dini setiap tahunnya. Kematian tersebut terutama disebabkan oleh meningkatnya angka mortalitas yang berkaitan dengan stroke, penyakit kardiovaskular, penyakit paru obstruktif kronik, kanker paru, dan infeksi akut pada saluran pernapasan. Data menunjukkan bahwa lebih dari 80% penduduk di wilayah urban terekspos kualitas udara yang melampaui standar yang ditetapkan WHO, dimana negara-negara dengan ekonomi rendah hingga menengah mengalami tingkat paparan tertinggi, baik dalam lingkungan *indoor* maupun *outdoor* [1].

Berdasarkan pernyataan dari Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), sektor transportasi menjadi kontributor utama penurunan kualitas udara di Indonesia dengan kontribusi sebesar 44%. Setelah itu, disusul oleh sektor energi (25,17%), industri manufaktur (10%), sektor perumahan (14%), dan aktivitas komersial (1%). Selaras dengan data tersebut, Katadata *Insight Center* melakukan survei pada Agustus 2023 terkait pandangan masyarakat terhadap sumber pencemaran udara. Hasil survei menunjukkan bahwa mayoritas responden menilai transportasi sebagai penyebab utama polusi udara (82,2%), diikuti oleh aktivitas pembakaran sampah (72,3%), asap rokok (57%), dan kebakaran hutan (54,4%) [2].

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Barat, pada akhir 2023 ada sekitar 13,7 juta unit motor yang tersebar di Jawa Barat, lalu mengalami peningkatan pada tahun 2024 menjadi 14.1 juta kendaraan bermotor roda dua. Korlantas Polri mencatat sampai 9 Februari 2023, ada 153.400.392 kendaraan bermotor aktif di Indonesia, dengan 127.976.339 sepeda motor (87%) [3].



Gambar 1. 1 Grafik Jumlah Kendaraan Bermotor Roda Dua Di Jawa Barat

Peningkatan jumlah kendaraan motor roda dua yang signifikan dari tahun 2021 sampai 2024 menimbulkan kekhawatiran mengenai dampak negatif terhadap kualitas udara, mengingat polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dapat meningkatkan risiko masalah kesehatan dan kerusakan lingkungan. Gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar motor mengandung hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan senyawa nitrogen oksida (NO_x) [4]. Peningkatan ini juga menunjukkan perlunya kebijakan dan tindakan yang lebih tegas dalam mengelola dan mengurangi zat emisi, salah satu solusi yang dapat membantu menekan peningkatan polusi udara adalah penggunaan karbon aktif dalam sistem pembuangan gas kendaraan.

Karbon aktif adalah material berbasis karbon yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi untuk meningkatkan daya adsorpsinya. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben emisi gas CO, HC, NO, dan NO_x karena tersedia jumlah besar dan memiliki harga yang murah [5]. Bahan karbon aktif adalah sebagai bahan yang mampu menyerap gas karena memiliki pori-pori halus di permukaannya, bahan ini sebagai bahan yang dapat menurunkan kadar HC [6]. Adsorben kimia (berupa karbon aktif/arang aktif) secara teoritis dapat digunakan untuk mereduksi pencemar udara [7]. Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, limbah ataupun mineral yang mengandung karbon.

Salah satu limbah yang dapat menjadi sumber bahan baku karbon aktif adalah tulang hewan [8]. Penggunaan tulang hewan sebagai bahan baku karbon aktif menawarkan inovasi dalam penanggulangan limbah organik, khususnya tulang ayam yang sering kali diabaikan sebagai limbah padat di industri pangan[9].

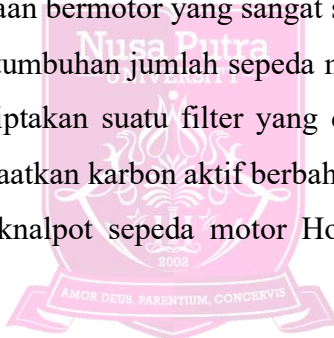
Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Barat pada tahun 2023 melaporkan bahwa jumlah populasi ayam ras pedaging di Kabupaten Sukabumi mengalami peningkatan sebesar 72.812.982 ekor, sedangkan pada tahun 2022 populasinya tercatat sebanyak 48.434.340 ekor. Peningkatan jumlah populasi ternak ini berkonsekuensi pada meningkatnya limbah yang dihasilkan, salah satunya limbah tulang ayam. Secara anatomis, tulang menyusun sekitar 30,27% dari total berat tubuh ayam[10][11]; dengan komposisi utama terdiri dari 85% mineral, kalsium fosfat, 14% kalsium karbonat, dan 1% magnesium [12]. Tulang ayam juga mengandung hidroksiapatit, suatu material berpori yang memiliki potensi besar sebagai adsorben. Dengan karakteristik ini, pemanfaatan limbah tulang ayam sebagai bahan baku adsorben tidak hanya berkontribusi terhadap pengelolaan limbah, tetapi juga membuka peluang dalam aplikasi material berpori untuk keperluan industri dan lingkungan.

Studi terdahulu mengungkapkan bahwa aktivasi karbon aktif dari tulang ayam menggunakan HCl 2M meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Ukuran pori karbon aktif tersebut termasuk dalam kategori makropori, dan permukaan strukturnya yang berpori luas memungkinkan proses adsorpsi berlangsung secara optimal [13].

Pada penelitian ini arang tulang ayam nantinya akan diaktifasi menggunakan aseton dengan variasi konsentrasi 1 Molar (M), 2 Molar (M) dan aseton teknis, memilih konsentrasi tersebut memungkinkan untuk mengeksplorasi bagaimana variasi konsentrasi aseton mempengaruhi sifat dan performa karbon aktif juga dapat menentukan konsentrasi optimal yang menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi tertinggi. Pemilihan aseton sebagai agen aktivasi dalam penelitian ini didasarkan pada pertimbangan karakteristiknya yang praktis dalam penggunaannya, memiliki tingkat keamanan yang relatif tinggi

apabila digunakan sesuai prosedur, serta tidak tergolong sebagai bahan kimia yang berisiko tinggi. Selain itu, aseton mudah diakses dan tersedia secara luas di pasaran dengan harga yang ekonomis, sehingga menjadikannya pilihan yang efisien dan layak untuk digunakan dalam proses aktivasi karbon. Suhu memegang peran krusial dalam proses karbonisasi tulang ayam. Pemanasan pada rentang suhu 400–600°C memungkinkan terbentuknya senyawa karbon dari material tulang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan suhu 400°C, 500°C, dan 600°C untuk mengubah tulang ayam menjadi arang. Selain itu, pemanasan pada suhu tersebut juga berfungsi untuk menghilangkan zat pengotor dari hasil karbonisasi, sehingga pori-pori arang menjadi lebih banyak dan strukturnya lebih terbuka [13].

Penelitian ini secara khusus memfokuskan pada kendaraan bermotor sebagai penyumbang utama pencemaran udara di Indonesia. Hal ini didasari oleh peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang sangat signifikan dalam satu dekade terakhir, terutama pada pertumbuhan jumlah sepeda motor. Maka dari itu, penulis berkontribusi untuk menciptakan suatu filter yang dapat mengurangi emisi gas kendaraan, dengan memanfaatkan karbon aktif berbahan dasar limbah tulang ayam yang akan dipasangkan diknalpot sepeda motor Honda Karisma 125CC tahun produksi 2003.



1.2 Rumusan Masalah Penelitian

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

1. Bagaimana variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aseton memengaruhi morfologi karbon aktif tulang ayam?
2. Bagaimana variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aseton memengaruhi komposisi kimia karbon aktif tulang ayam?
3. Bagaimana karbon aktif berbahan tulang ayam dalam adsorpsi gas HC dan CO pada kendaraan bermotor?

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kendaraan bermotor yang diuji emisi gas buangnya adalah motor Honda Karisma 125CC tahun produksi 2003.
2. Gas yang akan diadsorpsi hanya gas CO dan HC hasil gas buang kendaraan bermotor.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dari permasalahan diatas adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan morfologi yang terdapat pada karbon aktif tulang ayam.
2. Mendapatkan komposisi unsur kimia yang terdapat pada karbon aktif tulang ayam
3. Mendapatkan persentase kandungan emisi hasil uji dengan penggunaan karbon aktif serta mengetahui karakteristik karbon aktif dalam menyerap emisi CO dan HC pada kendaraan bermotor.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya riset ini, diharapkan dapat mengembangkan ilmu pengetahuan tentang karbon aktif berbahan dasar tulang ayam dalam membantu mengatasi, memecahkan dan mencegah masalah yang timbul dari dampak buruk kualitas udara yang tercemar oleh gas buang atau emisi yang sebagian besar berasal dari kendaraan bermotor.

B V PENUTUP

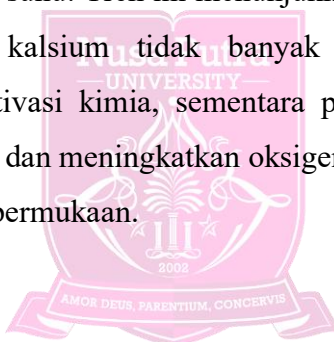
B A

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aseton terhadap karakteristik karbon aktif tulang ayam serta kemampuan adsorpsinya terhadap emisi gas CO dan HC kendaraan bermotor, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil SEM sebelum aktivasi menunjukkan morfologi permukaan karbon yang masih kasar dan tidak beraturan, dengan pori-pori yang belum terbuka secara optimal. Setelah dilakukan aktivasi kimia menggunakan aseton, citra SEM memperlihatkan peningkatan pembentukan pori dan distribusi yang lebih merata pada permukaan karbon aktif. Analisis kuantitatif pori

menggunakan *software ImageJ* menunjukkan bahwa aktivasi dengan larutan aseton meningkatkan persentase pori pada karbon aktif. Persentase pori tertinggi tercapai pada sampel dengan suhu karbonisasi 400°C dan aktivasi aseton 2M, yaitu sebesar 3.018,985 μm^2 . Sebaliknya, pada suhu 600°C dan aktivasi 2M, persentase pori hanya 139,205 μm^2 , menunjukkan bahwa suhu terlalu tinggi dapat merusak struktur pori.

2. Unsur karbon (C) meningkat pada suhu 400°C dan 500°C, terutama dengan aktivator 2M, mencapai puncak 24,21% pada 500°C, namun menurun pada 600°C, akibat degradasi struktur karbon atau penutupan permukaan oleh senyawa lain. Sebaliknya, kandungan oksigen (O) naik seiring suhu meningkat, dengan nilai tertinggi 41,89% pada 600°C 2M. Fosfor (P) relatif stabil di kisaran 14-18% pada semua kondisi. Kalsium (Ca) adalah unsur dominan, paling tinggi pada 400°C 1M sebesar 61,61%, lalu menurun dengan peningkatan suhu. Tren ini menunjukkan bahwa senyawa pengotor anorganik seperti kalsium tidak banyak berkurang selama proses karbonisasi dan aktivasi kimia, sementara peningkatan suhu cenderung menurunkan karbon dan meningkatkan oksigen sebagai tanda oksidasi atau perubahan struktur permukaan.



3. Karbon aktif tulang ayam terbukti efektif dalam menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor. Untuk gas CO, efisiensi penurunan tertinggi mencapai 70,97% (dari 1,86% menjadi 0,54%) yang dicapai oleh sampel aktivasi aseton teknis pada suhu 500°C. Untuk gas HC, penurunan tertinggi mencapai 40,86% (dari 727 ppm menjadi 430 ppm) yang dicapai oleh sampel aktivasi aseton 2M pada suhu 400°C. Hasil pengujian menunjukkan korelasi positif antara luas pori dengan kemampuan adsorpsi HC, sementara untuk CO dipengaruhi oleh faktor lain selain porositas.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan uji karakterisasi tambahan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan volume pori karbon aktif secara lebih detail menggunakan uji BET (*Brunauer Emmett Teller*).
2. Menggunakan furnace dengan gas inert pada saat karbonisasi agar material karbon yang terbentuk tidak teroksidasi menjadi gas CO₂ atau CO, yang mengakibatkan hasil karbon aktif akan terbakar habis atau kehilangan massa karbon secara signifikan.
3. Pengujian adsorpsi jangka panjang perlu dilakukan untuk mengevaluasi durabilitas dan efektivitas karbon aktif dalam penggunaan berulang serta mengetahui kapasitas regenerasi material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. PUSPITASARI, “PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN KARBON AKTIF DALAM MENYERAP CO DAN HC PADA EMISI KENDARAAN BERMOTOR,” *SKRIPSI Univ. Indones. Fak. Tek. Progr. Stud. Tek. Kim.*, p. 75, 2017.
- [2] I. SAFITRI, “POLEMIK SUMBER POLUSI UDARA PEMERINTAH VS NONPEMERINTAH: PENTINGNYA KETERBUKAAN DATA EMISI PLTU,” *Univ. GADJAH MADA Fak. ILMU Sos. DAN ILMU Polit.*, p. 11, 2023.
- [3] A. Wicaksana, “Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif pada Saluran Buang Terhadap Emisi Gas Buang Sepedamotor,” *Skripsi Fak. Tek. Univ. Negeri Semarang*, p. 17, 2016, [Online]. Available: <https://lib.unnes.ac.id/27713/>
- [4] S. Machmud, “Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *J. Mesin Nusantara*, vol. 4, no. 1, pp. 21–29, 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [5] A. Febryanti and A. W. Wahab, “POTENSI ARANG AKTIF SEKAM PADI SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS CO , NO , DAN NO X PADA KENDARAAN BERMOTOR PENDAHULUAN Di Indonesia kualitas udara telah mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor (Irawan , 2008). Hal itu terjadi,” no. x.
- [6] Purwo Subekti, “PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PENYERAP GAS BUANG PADA ALAT PENGENDALI PENCEMARAN UDARA UNTUK KENDARAAN BERMESIN DIESEL,” *J. APTEK Vol. 1 No. 1 Juli 2009*, p. 11, 2011.
- [7] S. Zulaiha, “The utilization of chicken bone activated carbon as an adsorbent and its implementation in chemistry learning,” *Chempublish J.*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019, doi: 10.22437/chp.v4i1.6795.
- [8] S. Wardani, E. Rosa, and R. Mirdayanti, “Pengolahan Limbah Tulang Kambing Sebagai Produk Arang Aktif Menggunakan Proses Aktivasi Kimia dan Fisika,” *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 67–72, 2020, doi: 10.14710/jil.18.1.67-72.
- [9] M. Maulina *et al.*, “Pemanfaatan Tulang Ayam Sebagai Adsorben Methylene Blue,” *J. Zarah*, vol. 10, no. 2, pp. 73–79, 2022, doi: 10.31629/zarah.v10i2.3980.
- [10] P. Patriani and H. Hafid, “Persentase Boneless, Tulang, Dan Rasio Daging – Tulang Ayam Broiler Pada Berbagai Bobot Potong,” *J. Galung Trop.*, vol. 8, no. 3, pp. 190–196, 2019, doi: 10.31850/jgt.v8i3.511.
- [11] D. Agustin, L. O. Nafiu, and H. Has, “Rasio Daging dan Tulang Ayam Kampung Super yang Diberi Pakan Mengandung Hasil Ikutan Perikanan

- dengan Imbangan yang Berbeda,” *J. Ilm. Peternak. Halu Oleo*, vol. 5, no. 3, p. 178, 2023, doi: 10.56625/jipho.v5i3.29534.
- [12] P. K. Agarwal, A., & Gupta, “Adsorption study of Cr(II) from aqueous solution using animal bone charcoal as low cost adsorbent.,” *Chem. Environ. Sci.*, 2015, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:28812143>
- [13] V. Amalia, F. Layyinah, F. Zahara, and E. P. Hadisantoso, “Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd,” *al-Kimiya*, vol. 4, no. 1, pp. 31–37, 2019, doi: 10.15575/ak.v4i1.5081.
- [14] I. P. Kristanto, *Motor Bakar Torak Teori & Aplikasinya*. Andi, 2015.
- [15] Arifin Zainal dan Sukoco, *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta.
- [16] D. Maryanto, S. A. Mulasari, and D. Suryani, “Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif,” *Kesehat. Masy.*, vol. 3, no. 3, pp. 198–204, 2009.
- [17] R. D. Atmoko, “Pemanfaatan Karbon Aktif Batu Bara Termodifikasi TiO₂ pada Proses Reduksi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran,” *J. Teknol.*, pp. 1–111, 2012.
- [18] H. W. Sudarwanto, I. W. Utami, R. Asmoro, and A. A. Wulandari, “Bahaya Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bensin dan Menumbuhkan Lingkungan Hijau di Perkotaan,” *Semin. Nas. Call Pap. Hubisintek 2020*, pp. 101–105, 2020.
- [19] M. Yudhantoko, “Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *Komisi Penghapusan Bensin Bertimbel*, vol. 1, pp. 1–11, 2008, [Online]. Available: www.kbpp.org/makalah-Ind/emisi.
- [20] U. Nurullita and Mifbakhuddin, “Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dalam Ruangan dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kulit Durian,” *2nd Univ. Res. Coloquium 2015*, pp. 297–306, 2015.
- [21] A. Rahman, “Analisis Efisiensi Penggunaan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Media Filter Pengganti Walnut Shells Pada Proses Oil Removal Filter,” 2020, [Online]. Available: <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/8073%0Ahttps://repository.uir.ac.id/8073/1/133210284.pdf>
- [22] A. E. Fadri, “Adsorpsi Logam Besi (Fe) pada Air Gambut Menggunakan Karbo Aktif Cangkang Kelapa Sawit Serta Potensinya sebagai Bahan Ajar,” *Skripsi*, pp. 12–36, 2018.
- [23] M. Eko Rustanto, Y. Yudita, A. Ilcham, J. Teknik Kimia UPN, and Y. Jl Lingkar Utara Condongcatur Yogyakarta, “Manufacture of Capacitors from Activated Carbon from Used Batteries, Chicken Bones and Banana Skins,”

Reprokimia, vol. 9211, no. 2, 2022.

- [24] A. Mathematics, *Alternatif Bahan Baku Arang Aktif*. 2023.
- [25] H. Nurdiansah and D. Susanti, “Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor,” *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 13–18, 2013.
- [26] R. Achmad, S. Fauziah, and M. Zakir, “Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Cocos nucifera* L.) Sebagai Adsorben Metilen Biru,” *Indones. J. Pure Appl. Chem.*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2021.
- [27] Z. Octarya and A. Fernando, “PENINGKATAN KUALITAS MINYAK GORENG BEKAS DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN ARANG AKTIF DARI AMPAS TEBU YANG DIAKTIVASI DENGAN NaCl,” *Phot. J. Sain dan Kesehat.*, vol. 6, no. 02, pp. 139–148, 2016, doi: 10.37859/jp.v6i02.494.
- [28] T. C. Chandra, M. M. Mirna, Y. Sudaryanto, and S. Ismadji, “Adsorption of basic dye onto activated carbon prepared from durian shell: Studies of adsorption equilibrium and kinetics,” *Chem. Eng. J.*, vol. 127, no. 1–3, pp. 121–129, 2007, doi: 10.1016/j.cej.2006.09.011.
- [29] A. A. and D. D., “THE PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM,” *Carbon Vol. 35, No. 12, pp. 1723-1732, I*, vol. 35, no. 12, pp. 1723–1732, 1997.
- [30] L. E. Laos, M. Masturi, and I. Yulianti, “Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri,” vol. V, pp. SNF2016-MPS-135-SNF2016-MPS-140, 2016, doi: 10.21009/0305020226.
- [31] M. Turmuizi and A. Syaputra, “Pengaruh suhu dalam pembuatan karbon aktif dari kulit salak (*Salacca edulis*) dengan impregnasi asam fosfat (H_3PO_4),” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 1, pp. 42–46, 2015.
- [32] W. Spencer, G. Senanayake, M. Altarawneh, D. Ibana, and A. N. Nikoloski, “Review of the effects of coal properties and activation parameters on activated carbon production and quality,” *Miner. Eng.*, vol. 212, no. February, p. 108712, 2024, doi: 10.1016/j.mineng.2024.108712.
- [33] O. Ioannidou and A. Zabaniotou, “Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 11, no. 9, pp. 1966–2005, 2007, doi: 10.1016/j.rser.2006.03.013.
- [34] D. Prahastika, Y. Kartika, N. Indraswati, and S. Ismadji, “Activated carbon from jackfruit peel waste by H_3PO_4 chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization,” *Chem. Eng. J.*, vol. 140, no. 1–3, pp. 32–42, 2008, doi: 10.1016/j.cej.2007.08.032.
- [35] W. M. A. W. Daud and W. S. W. Ali, “Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell,” *Bioresour.*

- Technol.*, vol. 93, no. 1, pp. 63–69, 2004, doi: 10.1016/j.biortech.2003.09.015.
- [36] Y. Sudaryanto, S. B. Hartono, W. Irawaty, H. Hindarso, and S. Ismadji, “High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation,” *Bioresour. Technol.*, vol. 97, no. 5, pp. 734–739, 2006, doi: 10.1016/j.biortech.2005.04.029.
- [37] P. González-García, T. A. Centeno, E. Urones-Garrote, D. Ávila-Brandé, and L. C. Otero-Díaz, “Microstructure and surface properties of lignocellulosic-based activated carbons,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 265, pp. 731–737, 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2012.11.092.
- [38] J. L. Figueiredo, M. F. R. Pereira, M. M. A. Freitas, and J. J. M. Órfão, “Modification of the surface chemistry of activated carbons,” *Carbon N. Y.*, vol. 37, no. 9, pp. 1379–1389, 1999, doi: 10.1016/S0008-6223(98)00333-9.
- [39] J. O. Dirisu *et al.*, “Development of eco-friendly brake pads using industrial and agro-waste materials,” *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 71, no. 1, pp. 1–42, 2024, doi: 10.1186/s44147-023-00345-y.
- [40] A. Wahyudi, “Karakterisasi Komposit TiO₂ Karbon Aktif Tandan Pisang Menggunakan FTIR Dan SEM-EDX,” *Skripsi*, 2021.
- [41] D. Kimia and F. Sains, “Komposit Dengan Matriks Kitosan / Phthaloyl Chitosan Dan Dengan Filler Multi Walled Carbon Nanotube / Montmorillonite Synthesis and Characterization of Composite Membranes With Chitosan / Phthaloyl Chitosan Matrix and Filler Multi Walled Carbon Nanotube /,” 2019.
- [42] A. Nurul Huda, “Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Superkapasitor,” *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 6, no. 2, pp. 102–113, 2022, doi: 10.24198/jiif.v6i2.39639.
- [43] N. Saadatkhan *et al.*, “Experimental methods in chemical engineering: Thermogravimetric analysis—TGA,” *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 98, no. 1, pp. 34–43, 2020, doi: 10.1002/cjce.23673.
- [44] denny akbar Tanjung and M. Sirmas, *Pembuatan Komposit Bioplastik dari Pati Sagu Kombinasi Polietilen*. 2023.
- [45] J. Winarno, “Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan Dan Tahun Pembuatan,” *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 55, pp. 1–9, 2014, [Online]. Available: <http://jurnalteknik.janabadra.ac.id/wp-content/uploads/2015/01/6-Joko-Winarno-April-2014.pdf>
- [46] T. Akbar and C. A. Saputro, “Pengukur Emisi Mobil Portabel Berbasis Android,” no. 20524185, pp. 10–86, 2024.
- [47] K. T. Basuki, “Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang

- dengan Menggunakan Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif,” *J. Forum Nukl.*, vol. 1, no. 1, pp. 45–64, 2007.
- [48] A. HARIS, O. NURHILAL, and S. SURYANINGSIH, “Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Daya Serap Iodin Arang Aktif Dari Limbah Daun Ki Sabun Dan Daun Mahoni (*Swietenia Mahagoni*),” *J. Mater. dan Energi Indones.*, vol. 9, no. 01, p. 01, 2019, doi: 10.24198/jmei.v9i1.23103.
- [49] A. D. Pratama and Aminatun, “Pelapisan Hidroksiapatit dari Tulang Sotong (*Sepia* sp.) pada SS316L untuk Aplikasi Implan Tulang Prostetik,” pp. 1–7, 2014.
- [50] A. van Hoesel, F. H. Reidsma, B. J. H. van Os, L. Megens, and F. Braadbaart, “Combusted bone: Physical and chemical changes of bone during laboratory simulated heating under oxidising conditions and their relevance for the study of ancient fire use,” *J. Archaeol. Sci. Reports*, vol. 28, no. October, 2019, doi: 10.1016/j.jasrep.2019.102033.
- [51] F. F. Polii, “PENGARUH SUHU DAN LAMA AKTIFASI TERHADAP MUTU ARANG AKTIF DARI KAYU KELAPA.(Effects of Activation Temperature and Duration Time on the ...,” *J. Ind. Has. Perkeb.*, 2017, [Online]. Available: <http://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/view/1672%0Ahttp://bpkimi1.kemenperin.go.id/bbihp/article/download/1672/2744>
- [52] F. Ronsse, S. van Hecke, D. Dickinson, and W. Prins, “Production and characterization of slow pyrolysis biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions,” *GCB Bioenergy*, vol. 5, no. 2, pp. 104–115, 2013, doi: 10.1111/gcbb.12018.
- [53] S. I. Tokio Kai, Shimpei Yamamoto, “The Effect of Carbonization Temperature on the Properties of Wood Charcoal,” *Shigen Shori Gijutsu*, no. 16, pp. 16–23, 2000.
- [54] P. Taylor, L. Li, Z. Sun, H. Li, and T. C. Keener, “Effects of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds Effects of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds,” no. January 2014, pp. 37–41, doi: 10.1080/10962247.2012.700633.
- [55] C. O. Ania and T. J. Bandoz, “Importance of structural and chemical heterogeneity of activated carbon surfaces for adsorption of dibenzothiophene,” *Langmuir*, vol. 21, no. 17, pp. 7752–7759, 2005, doi: 10.1021/la050772e.
- [56] M. Gayathiri, T. Pulingam, K. T. Lee, and K. Sudesh, “Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism,” *Chemosphere*, vol. 294, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133764.

- [57] E. Budi, U. Umiatin, H. Nasbey, R. A. Bintoro, F. Wulandari, and E. Erlina, "Adsorption and Pore of Physical-Chemical Activated Coconut Shell Charcoal Carbon," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 335, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012007.
- [58] A. Rawal *et al.*, "Mineral-Biochar Composites: Molecular Structure and Porosity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 14, pp. 7706–7714, 2016, doi: 10.1021/acs.est.6b00685.
- [59] A. Rezaee, H. Rangkooy, A. Jonidi-Jafari, and A. Khavanin, "Surface modification of bone char for removal of formaldehyde from air," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 286, pp. 235–239, 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2013.09.053.
- [60] A. S. Gayatri, "Pengaruh Suhu Pembakaran Limbah Tulang Ayam Broiler Dan Volume Surfaktan Terhadap Proses Sintesis Graphene Oxide Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation Skripsi Aura Salvia Gayatri Nim. 11170970000067 Program Studi Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Unive," 2021.
- [61] S. Maryam, N. Effendi, and K. Kasmah, "Produksi dan Karakterisasi Gelatin dari Limbah Tulang Ayam dengan Menggunakan Spektrofotometer Ftir (Fourier Transform Infra Red)," *Maj. Farm.*, vol. 15, no. 2, p. 96, 2019, doi: 10.22146/farmaseutik.v15i2.47542.
- [62] C. de C. A. Lopes, P. H. J. O. Limirio, V. R. Novais, and P. Dechichi, "Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) application chemical characterization of enamel, dentin and bone," *Appl. Spectrosc. Rev.*, vol. 53, no. 9, pp. 747–769, 2018, doi: 10.1080/05704928.2018.1431923.
- [63] J. H. Muyonga, C. G. B. Cole, and K. G. Duodu, "Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*)," *Food Chem.*, vol. 86, no. 3, pp. 325–332, 2004, doi: 10.1016/j.foodchem.2003.09.038.
- [64] T. J. U. Thompson, M. Gauthier, and M. Islam, "The application of a new method of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to the analysis of burned bone," *J. Archaeol. Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 910–914, 2009, doi: 10.1016/j.jas.2008.11.013.
- [65] Y. Haba, M. Kockerling, C. Schick, and R. Bader, "Determination of bone density and bone composition using thermoaravimetric analysis," *2019 Proc. 12th Int. Conf. Meas. Meas. 2019*, pp. 178–181, 2019, doi: 10.23919/measurement47340.2019.8780092.
- [66] M. D. Puspitasari and S. E. Cahyaningrum, "Uji Degradasi Termal Pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosankolagen Sebagai Bonegraft," *Unesa J. Chem.*, vol. 10, no. 1, pp. 12–15, 2021, doi: 10.26740/ujc.v10n1.p12-15.
- [67] A. Pratama, *Evaluasi Hasil Uji Emisi Gas Buang*. 2023.
- [68] T. Penyusun, "Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05

Tahun 2006,” *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*, pp. 1–23, 2006.



