

**OPTIMALISASI LIMBAH
TEMPURUNG SIWALAN SEBAGAI ADSORBEN
DALAM MEREDUKSI EMISI GAS CO, HC, & NO_x
PADA KENDARAAN BERMOTOR**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Lingkungan.**



Diajukan Oleh :

RIKO FERDINAND ABDILLAH

NPM: 21034010092

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN
OPTIMALISASI LIMBAH
TEMPURUNG SIWALAN SEBAGAI ADSORBEN
DALAM MEREDUKSI EMISI GAS CO, HC, & NO_x
PADA KENDARAAN BERMOTOR

Disusun Oleh:



RIKO FERDINAND ABDILLAH
NPM. 21034010092

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian/Verifikasi Artikel Ilmiah

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Muhammad Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001

Mengetahui,

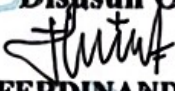
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur



Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN
OPTIMALISASI LIMBAH
TEMPURUNG SIWALAN SEBAGAI ADSORBEN
DALAM MEREDUKSI EMISI GAS CO, HC, & NO_x
PADA KENDARAAN BERMOTOR

Disusun Oleh:


RIKO FERDINAND ABDILLAH
NPM. 21034010092

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal
Serambi Engineering (Terakreditasi Sinta 4)

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Dosen Pembimbing


M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001


Dr. Okik Hendriyanto C. S.T., M.T.
NIP. 19750717 202121 1 007

2. Anggota


Firra Rosariawari. S.T., M.T.
NIP. 19750409 202121 2 004

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur


Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI
OPTIMALISASI LIMBAH
TEMPURUNG SIWALAN SEBAGAI ADSORBEN
DALAM MEREDUKSI EMISI GAS CO, HC, & NO_x
PADA KENDARAAN BERMOTOR

Disusun Oleh:



RIKO FERDINAND ABDILLAH
NPM. 21034010092

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 30 November 2025

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA



Dr. Okik Hendriyanto C, S.T., M.T.
NIP. 19750717 202121 1 007



Firra Rosariawari, S.T., M.T.
NIP. 19750409 202121 2 004

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riko Ferdinand Abdillah
NPM : 21034010092
Program : Sarjana (S1)
Fakultas : Teknik dan Sains
Program Studi : Teknik Lingkungan

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur – unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 30 November 2025



Yang Membuat Pernyataan

Riko Ferdinand Abdillah
NPM 21034010092

KATA PENGANTAR

Ad Mairoem Dei Gloria!, Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga selama proses pengerjaan penelitian ini, Penulis mampu untuk menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Optimalisasi Limbah Tempurung Siwalan Sebagai Adsorben Dalam Mereduksi Emisi Gas CO, HC, Dan NOx Pada Kendaraan Bermotor”** dengan lancar. Dalam penyusunan skripsi ini, Penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P, selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,
3. Muhammad Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc, selaku dosen pembimbing serta role model bagi penulis sedari awal mengenyam pendidikan di bangku perkuliahan, yang senantiasa meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan arahan, saran dan masukan, serta motivasi selama pengerjaan skripsi ini berlangsung,
4. Seluruh Dosen dan staff Tendik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang memberikan segenap ilmu dan pengalamannya selama masa perkuliahan,
5. Kedua Orang Tua, serta adik Penulis, yang tiada henti memberikan do’a, motivasi, dan dukungan materiil kepada penulis,
6. Sahabat seperjuangan sedari masa awal perkuliahan, Rafi Hakim, Rafel Emirruso, Naufal Syarif, Ivan Ardiansyah, Aditya Reyhan, Kresna Setyawan, Rafif, Fajar Shufi, Pedro Caesariano, Michel Adam, Farhan Auladana, dan teman – teman TL-28 lainnya yang senantiasa membantu dan memberi masukan baik dalam pengerjaan skripsi dan selama proses perkuliahan penulis,

7. Sahabat – sahabat penulis yang telah menemani sedari SMA, Glorio Davis Kristianto, Rafli Aquilero, Krisna Cahya Putra, Fathurizqi Nur Rasyid, Taufan Yusuf, Serta Febrian Dwitiyo, Satria Hertantyo, Adde Maulana yang telah memberikan semangat dan segala bantuan yang diberikan kepada penulis. Dukungan kalian sangat berarti bagi penulis.
8. Sahabat – sahabat penulis sejak SMP, M. Arifin Ilham, R. Kevin Khalid, dan Ken Aryangga Aji Wijaya yang telah memberikan semangat dan segala bantuan yang diberikan kepada penulis,
9. Senior – Senior warga Teknik Lingkungan Bagas Chrisma, Radityazty Dahayu, Taufik Albanjari, Firza Ramadhan, Komang Tegar, Andi Nurzamilov, serta adik – adik Tiyan Ihlasulamal, Anindya Loviantary, Alodisa Putri, Agges Bryan, dan Ahmad Faza yang selalu setia menemani dan memberikan semangat kepada penulis dalam mengerjakan skripsi,
10. Della Putri Adjani, S.T, yang selalu membersamai, memberikan semangat, doa yang kuat, dan kasih yang tak pernah putus. Kehadiran serta pengertiannya telah menjadi sumber motivasi yang sangat berarti bagi penulis selama berlangsungnya tugas akhir ini. Terima kasih telah membersamai dan selalu menyertai penulis dalam setiap langkah dan selalu membawa nama penulis dalam doa.

Penyusunan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar dapat selalu memperbaiki hasil penelitian dengan senang hati. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 30 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Umum	5
2.1.1 Siwalan (<i>Boreassus Flabellifer</i> L.).....	5
2.1.2 Karbon Aktif	7
2.1.3 Aktivator Agen Natrium Karbonat (Na_2CO_3)	15
2.1.4 Adsorpsi dan Emisi Gas Kendaraan Bermotor	15
2.1.5 Pencemaran Udara	18
2.2 Landasan Teori	19
2.2.1 Metode Pengujian.....	20
2.2.2 Referensi Penelitian Terdahulu	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29

3.1	Kerangka Penelitian	29
3.2	Persiapan Alat dan Bahan.....	31
3.2.1	Alat.....	31
3.2.2	Bahan.....	31
3.3	Variabel yang Digunakan	31
3.3.1	Variabel Terikat	31
3.3.2	Variabel Bebas.....	31
3.3.3	Variabel Tetap.....	31
3.4	Proses Pembuatan Karbon Aktif	33
3.5	Proses Pembuatan Reaktor	35
3.6	Pengujian Efektivitas Karbon Aktif dalam Mereduksi Emisi Gas.....	37
3.7	Analisis Kapasitas Adsorpsi.....	38
3.8	Analisis Kinetika Adsorpsi.....	39
3.9	Uji Morfologi Permukaan Adsorben (Uji SEM).....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Hasil Penelitian	42
4.1.1	Kemampuan Karbon Aktif Terhadap Efektivitas Adsorpsi Emisi Gas 43	
4.1.2	Kapasitas Adsorpsi dan Kecepatan Reaksi pada Karbon Aktif.....	51
4.1.3	Morfologi Permukaan Karbon Aktif	58
4.2	Pembahasan Penelitian.....	61
4.2.1	Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif.....	61
4.2.2	Kapasitas Adsorpsi dan Kecepatan Reaksi pada Karbon Aktif.....	75
4.2.3	Morfologi Permukaan Karbon Aktif	80
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		82

5.1	Kesimpulan	82
5.2	Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....		84
LAMPIRAN A HASIL ANALISIS		91
LAMPIRAN B PERHITUNGAN		97
LAMPIRAN C DOKUMENTASI KEGIATAN		108
LAMPIRAN D HASIL UJI LABORATORIUM.....		117

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Tempurung Siwalan.....	6
Tabel 2. 2 Syarat Mutu Karbon Aktif berdasarkan SNI 06 – 3730 - 1995	12
Tabel 2. 3 Sifat – sifat Natrium Karbonat (Na_2CO_3)	15
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 4. 1 Karakteristik Karbon Aktif Tempurung Siwalan	44
Tabel 4. 2 Pengaruh Variasi Massa Adsorben terhadap konsentrasi dan persentase penurunan Kadar emisi gas CO.....	45
Tabel 4. 3 Pengaruh Variasi Massa Adsorben terhadap konsentrasi dan persentase penurunan Kadar emisi gas HC.....	47
Tabel 4. 4 Pengaruh Variasi Massa Adsorben terhadap konsentrasi dan persentase penurunan Kadar emisi gas NOx.	49
Tabel 4. 5 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Menggunakan Pemodelan Thomas..	53
Tabel 4. 6 Perhitungan Kecepatan Adsorpsi Pseudo Orde Satu (1).....	56
Tabel 4. 7 Perhitungan Kecepatan Adsorpsi Pseudo Orde Dua (2)	58
Tabel 4. 8 Perbandingan Kemampuan Adsorpsi Gas Emisi Dengan Penelitian Lain	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tempurung Siwalan Muda dan Tua (Tambunan, 2010).....	7
Gambar 2. 2 Struktur Karbon Aktif	8
Gambar 2. 3 Granular Activated Carbon	9
Gambar 2. 4 Powdered Activated Carbon	10
Gambar 2. 5 Extruded Carbon Active	10
Gambar 2. 6 Alur Pengambilan Sampel Gas	23
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Posisi Reaktor Pada Knalpot Gas Buang.....	35
Gambar 3. 3 Reaktor Tabung Dalam dan Tabung Luar	36
Gambar 3. 4 Gambar 3D Rumah Adsorben.....	36
Gambar 3. 5 Alat Pengujian Emisi	38
Gambar 3. 6 Skema Pengambilan Sampel Pada Reaktor	38
Gambar 4. 1 Proses Persiapan Awal (Penjemuran Dengan Bantuan Sinar Dan Panas Matahari) Tempurung Siwalan	42
Gambar 4. 2 Proses Karbonisasi Tempurung Siwalan menggunakan Pirolisator.....	43
Gambar 4. 3 Pengaruh Penambahan Adsorben Terhadap Penurunan Kadar CO (ppm).....	46
Gambar 4. 4 Pengaruh Penambahan Adsorben Terhadap Penurunan Kadar HC (ppm).....	48
Gambar 4. 5 Pengaruh Penambahan Adsorben Terhadap Penurunan kadar Nox (ppm).....	50
Gambar 4. 6 Grafik Kapasitas Adsorpsi Menggunakan Model Perhitungan Thomas (a) 50 Gram; (b) 75 Gram; (c) 100 Gram.....	53
Gambar 4. 7 Grafik Kinetika Adsorpsi Menggunakan Perhitungan Pseudo Orde Pertama (a) 50 Gram; (b) 75 Gram; (c) 100 Gram.....	55
Gambar 4. 8 Grafik Kinetika Adsorpsi Menggunakan Perhitungan Pseudo Orde Kedua (a) 50 Gram; (b) 75 Gram; (c) 100 Gram	57
Gambar 4. 9 Morfologi Permukaan Tempurung Siwalan Sebelum Proses Adsorpsi pada Perbesaran 10.000x. (a) Spot 1; (b) Spot 2; (c) Spot 3.....	59

Gambar 4. 10 Morfologi Permukaan Tempurung Siwalan Sebelum Proses Adsorpsi pada Perbesaran 10.000x (a) Spot 1; (b) Spot 2; (c) Spot 3.	61
Gambar 4. 11 Proses Pengambilan Data Emisi Kendaraan Bermotor.	64
Gambar 4. 12 Nilai Efisiensi Penyisihan (%) Parameter CO Pada Kendaraan Bermotor.	65
Gambar 4. 13 Hasil Analisis Anova Two Way Parameter CO.	67
Gambar 4. 14 Nilai Efisiensi Penyisihan (%) Parameter HC Pada Kendaraan Bermotor.	68
Gambar 4. 15 Hasil Analisis Anova Two Way Parameter HC.	70
Gambar 4. 16 Nilai Efisiensi Penyisihan (%) Parameter NOx Pada Kendaraan Bermotor.	71
Gambar 4. 17 Hasil Analisis Anova Two Way Parameter NOx	73
Gambar 4. 18 Nilai Lambda pembakaran terukur pada Sepeda Motor	78

ABSTRAK

Proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna pada mesin kendaraan bermotor menghasilkan berbagai zat pencemar berbahaya, di antaranya karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan nitrogen oksida (NO_x). Sehingga diperlukan teknologi pengolahan atau pereduksi yang efisien agar parameter emisi gas ini tidak membahayakan bagi kesehatan masyarakat. Adsorben terbaik diperoleh dari aktivasi menggunakan larutan Na₂CO₃ 25%, dengan efisiensi penyisihan maksimum pada menit-menit awal sebesar 56,93% (CO), 79,54% (HC), dan 36,96% (NO_x). Variasi massa menunjukkan bahwa adsorben 100 gram memiliki kestabilan penjerapan tertinggi hingga menit ke-120 dengan efisiensi 18% (CO), 45,6% (HC), dan 38,40% (NO_x), menegaskan bahwa peningkatan massa adsorben meningkatkan kapasitas dan ketahanannya terhadap kejenuhan. Berdasarkan model Thomas, kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 959,87 mg/g pada massa 100 gram. Analisis kinetika menunjukkan kesesuaian dengan model Pseudo Orde Satu, mengindikasikan bahwa proses berlangsung secara fisika melalui gaya Van der Waals. Hasil pengamatan morfologi adsorben memperlihatkan pori karbon aktif tertutup partikel hasil penjerapan, menandakan terjadinya interaksi langsung dengan emisi gas. Secara keseluruhan, tempurung siwalan terbukti sebagai adsorben murah, efektif, dan potensial untuk mengurangi emisi kendaraan, terutama kendaraan bermotor keluaran lama.

Kata Kunci : Karbon Monoksida, Adsorpsi, Kinetika Reaksi

ABSTRACT

Incomplete combustion of fossil fuels in motor vehicle engines produces various harmful pollutants, including carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and nitrogen oxides (NOx). Therefore, efficient treatment or reduction technologies are needed to ensure that these emission parameters do not pose risks to public health. The best adsorbent was obtained through activation using a 25% Na₂CO₃ solution, yielding maximum removal efficiencies in the initial minutes of 56.93% (CO), 79.54% (HC), and 36.96% (NOx). Mass variation tests showed that the 100-gram adsorbent had the highest adsorption stability up to the 120th minute, with removal efficiencies of 18% (CO), 45.6% (HC), and 38.40% (NOx), confirming that increasing adsorbent mass enhances adsorption capacity and resistance to saturation. Based on the Thomas model, the maximum adsorption capacity reached 959.87 mg/g at a mass of 100 grams. Kinetic analysis indicated that the process followed the Pseudo First-Order model, suggesting that adsorption occurred physically through Van der Waals forces. Morphological observations showed that the pores of the activated carbon were covered by particles resulting from adsorption, indicating direct interaction with the gas emissions. Overall, siwalan shell-based activated carbon proves to be an affordable, effective, and promising adsorbent for reducing vehicle emissions, especially from older motor vehicles.

Keyword : Carbon monoxide, Adsorption, Reaction Kinetics