

**OPTIMASI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF BERBASIS
LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
TERSULFURISASI TERHADAP KADMIUM DALAM AIR
MENGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

SKRIPSI



Oleh

RINTANG WANDA SEPTIYANA

NPM 22034010079

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

2026

**OPTIMASI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF
BERBASIS LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH TERSULFURISASI TERHADAP KADMIUM
DALAM AIR MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY***

SKRIPSI

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

Diajukan Oleh.

RINTANG WANDA SEPTIYANA

NPM.22034010079

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

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

OPTIMASI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF BERBASIS LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH TERSULFURISASI TERHADAP KADMIUM DALAM AIR MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Disusun Oleh



Rintang Wanda Septivana

NPM. 22034010079

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyerujui,

Pembimbing



Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc.

NIP. 19930416 202506 2005

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

OPTIMASI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF
BERBASIS LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH TERSULFURISASI TERHADAP KADMIUM
DALAM AIR MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY*

Disusun Oleh:


Rintang Wanda Septiyana
NPM. 22034010079

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada *Asian Journal
of Applied Research for Community Development and Empowerment*
(AJARCADE) (Terakreditasi Sinta 2)

Menyetujui,

Pembimbing


Restu Hikmah Ayu Mukti, S.ST., M.Sc.
NIP./NPT. 19930416 202506 2005

TIM PENGUJI

1. Ketua


M. A. S. Jawwad, ST., M.Sc.
NIP./NPT. 199407272024061001

2. Anggota


Syadzadhiya O.Z. Nisa, ST., MT.
NIP./NPT. 21219940930296

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

OPTIMASI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF BERBASIS LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH TERSULFURISASI TERHADAP KADMIUM DALAM AIR MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Disusun Oleh:


Rintang Wanda Septivana
NPM. 22034010079

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 28 Agustus 2026

TIM PENILAI

KETUA


M. A. S. Jaywad, ST., M.Sc.
NIP./NPT. 199407272024061001

ANGGOTA


Svadzadhiya O. Z. Nisa, ST., MT.
NIP./NPT. 21219940930296

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rintang Wanda Septiyana
NPM : 22034010079
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dokumen skripsi ini sepenuhnya bebas dari materi karya ilmiah yang pernah diajukan untuk meraih gelar akademik di institusi mana pun. Tidak ada karya atau pendapat pihak lain yang diklaim sebagai milik saya, semua rujukan telah disitasi dengan benar sesuai kaidah penulisan ilmiah dan tercantum pada daftar pustaka.

Dengan demikian, saya menjamin orisinalitas karya ini dan sepenuhnya bebas dari tindakan plagiat. Jika di kemudian hari ditemukan bukti yang bertentangan dengan pernyataan ini, saya siap menerima sanksi akademik maupun hukum yang berlaku.

Surat pernyataan ini disusun secara jujur dan tanpa paksaan dari siapa pun, untuk digunakan sesuai dengan keperluannya.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan




Rintang Wanda Septiyana

22034010079

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Berbasis Lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah Tersulfurisasi Terhadap Kadmium Dalam Air Menggunakan *Response Surface Methodology*”** dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Dalam proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis memperoleh berbagai bentuk dukungan, doa, bimbingan, bantuan, serta motivasi dari banyak pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang 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, ST., MT., selaku koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian laporan. Penulis mengucapkan terima kasih atas waktu, tenaga, dan pemikiran yang telah dicurahkan, serta atas setiap masukan, kritik, saran, dukungan, dan kepercayaan yang diberikan. Berkat bimbingan tersebut, penulis memperoleh banyak pembelajaran dan pengalaman yang mendukung proses penyelesaian Tugas Akhir.
4. Teruntuk kedua orang tua penulis yang senantiasa menjadi sumber dukungan, kekuatan, dan motivasi dalam setiap proses yang penulis jalani. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, kepercayaan, serta pengorbanan yang

telah diberikan dengan penuh ketulusan. Segala bentuk dukungan yang diberikan menjadi kekuatan bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir.

5. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2022 yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis serta memberikan bantuan, dan semangat selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir.
6. Wira Pambudi Luhur, Bintang Widayanti, Adinda Rahma, Aisyah Alvira, Gladies Bintang, Elvia Hanantha, Auraria Rahma, Sherly Eka, Asna Fariha, Auraning Mustika, dan Nadia Hasna yang senantiasa hadir memberikan semangat dalam setiap keadaan dan menghadirkan berbagai kebaikan yang membuat setiap proses panjang yang dilalui terasa lebih ringan. Semoga segala ketulusan, perhatian, dan kebaikan yang telah diberikan senantiasa dibalas dengan hal-hal baik dan kebahagiaan.
7. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi kepada penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis menyampaikan terima kasih atas segala kebaikan, perhatian, dan ketulusan yang telah diberikan selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
8. Terakhir, penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada diri sendiri atas keteguhan untuk terus berusaha, bertahan, dan menyelesaikan setiap tahapan dalam perjalanan ini hingga mencapai akhir. Terima kasih telah mampu menghadapi berbagai tantangan, melewati rasa lelah dan keraguan, serta tetap melangkah dalam berbagai keadaan yang tidak selalu mudah. Setiap pengalaman dan proses yang telah dilalui menjadi pembelajaran berharga bahwa pencapaian tidak semata-mata ditentukan oleh hasil akhir, tetapi juga oleh usaha, doa, ketekunan, dan proses yang menyertainya.

Penulis telah berusaha menyelesaikan dan menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Namun demikian, penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki berbagai keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi

dan perbaikan untuk penyusunan karya selanjutnya. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi referensi yang berguna bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, 26 Agustus 2026

Penulis,

Rintang Wanda Septiyana

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.1.1 Logam Berat Kadmium.....	5
2.1.2 Pencemaran Air	6
2.1.3 Akibat Pencemaran Air oleh Kadmium	6
2.2 Tinjauan Teori	7
2.2.1 Adsorpsi	7
2.2.2 Adsorben	12
2.2.3 Karbon Aktif	13
2.2.4 Potensi Lumpur IPAL Sebagai Bahan Baku Adsorben	14
2.2.5 Karbonisasi.....	15
2.2.6 Aktivasi	15
2.2.7 Sulfurisasi.....	16
2.2.8 <i>Hard and Soft Acids and Bases</i> (HSAB).....	17
2.2.9 <i>Atomic Adsorption Spectrophotometry</i> (AAS).....	18
2.2.10 Kinetika Adsorpsi.....	19
2.2.11 Kapasitas Adsorpsi	20

2.2.12	Efisiensi Removal	21
2.2.13	Karakterisasi Adsorben	21
2.2.14	<i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	24
2.2.15	Uji Kualitas Karbon Aktif	25
2.3	Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Kerangka Penelitian	28
3.2	Bahan dan Alat	29
3.3	Cara Kerja	30
3.3.1	Uji Awal Kandungan Kadmium Dalam Lumpur IPAL	30
3.3.2	Pembuatan Larutan Induk	31
3.3.3	Pembuatan Karbon Aktif <i>Sludge</i> IPAL Teraktivasi (AC)	31
3.3.4	Pembuatan Karbon Aktif <i>Sludge</i> IPAL Tersulfurisasi (SAC)	32
3.3.5	Uji Adsorpsi Batas Atas dan Bawah Karbon Aktif Tersulfurisasi	33
3.3.6	Pengujian Menggunakan RSM Dengan <i>Desigen Expert</i> 13	34
3.3.7	Uji Adsorpsi Validasi Hasil	40
3.3.8	Uji Karakterisasi Karbon Aktif	41
3.3.9	Pengujian Kualitas Adsorben sesuai SNI 06-3730-1995	41
3.3.10	Analisa Data	42
3.4	Variabel	43
3.5	Desain Penelitian	44
3.6	Rancangan Anggaran Biaya (RAB)	44
3.7	Jadwal Kegiatan	45
3.8	Matriks Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Penyisihan Kadmium	52
4.2	Optimasi Karbon Aktif Berbasis Lumpur IPAL Tersulfurisasi Menggunakan RSM	58
4.2.1	Analisis Model RSM	59
4.2.2	Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na_2S terhadap Efisiensi Penyisihan Cd	69
4.2.3	Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na_2S terhadap Koefisien <i>Yield</i>	72

4.2.4	Penentuan dan Verifikasi Kondisi Optimum.....	74
4.3	Karakteristik Karbon Aktif Berbasis Lumpur IPAL Tersulfurisasi	77
4.3.1	Karakteristik Awal Lumpur IPAL Terhadap Kandungan Kadmium 78	
4.3.2	Analisa FTIR.....	79
4.3.3	Analisa SEM-EDX.....	86
4.3.4	Analisa Kadar Abu dan Kadar Air	93
4.4	Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Berbasis Lumpur IPAL Tersulfurisasi	94
4.5	Integrasi Hasil Penelitian	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		103
5.1	Kesimpulan	103
5.2	Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....		106
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Asam-Basa Menurut Pearson, 1963	18
Tabel 2. 2 Kualitas Arang Aktif	25
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3. 1 Faktor dan Level RSM-CCD	36
Tabel 3. 2 Matriks Coded CCD	37
Tabel 3. 3 Matriks Aktual CCD	38
Tabel 3. 4 Rancangan Anggaran Biaya (RAB).....	44
Tabel 3. 5 Jadwal Kegiatan.....	45
Tabel 3. 6 Matriks Penelitian Optimasi Material.....	46
Tabel 3. 7 Matriks Penelitian Optimasi Perlakuan	50
Tabel 4. 1 Efisiensi Penyisihan Batas Atas dan Bawah	54
Tabel 4. 2 Efisiensi Penyisihan Kadmium.....	55
Tabel 4. 3 Nilai Yield Batas Atas dan Bawah	57
Tabel 4. 4 Koefisien yield.....	57
Tabel 4. 5 Pemilihan Model Efisiensi Penyisihan.....	59
Tabel 4. 6 Pemilihan Model Koefisien Yield.....	61
Tabel 4.7 Hasil Anova Efisiensi Penyisihan.....	62
Tabel 4. 8 Hasil Anova Koefisien Yield	63
Tabel 4. 9 Verifikasi Kondisi Optimum.....	75
Tabel 4. 10 Hasil Interpretasi FTIR	82
Tabel 4. 11 Hasil Analisa EDX Sebelum dan Sesudah Adsorpsi.....	91
Tabel 4. 12 Data Hasil Adsorpsi Untuk Analisa Kinetika	95
Tabel 4. 13 Hasil Perbandingan kedua model kinetika	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Logam Kadmium	5
Gambar 2. 2 Proses Adsorpsi.....	8
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	29
Gambar 3. 2 Proses Adsorpsi Laboratorium.....	34
Gambar 3. 3 Running RSM Dengan Design Expert 13.....	40
Gambar 4. 1 Grafik Normal Plot of Residuals pada Respon Efisiensi Removal	65
Gambar 4. 2. Uji Normalitas Residual Model Kuadratik pada Respon Koefisien Yield.....	66
Gambar 4. 3 Grafik Predicted versus Actual pada Respon Efisiensi Penyisihan Kadmium.....	67
Gambar 4. 4 Grafik Predicted versus Actual pada Respon Koefisien Yield.....	68
Gambar 4. 5 Grafik 3D Surface Plot Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na ₂ S terhadap Efisiensi Penyisihan Cd.....	70
Gambar 4. 6 Grafik Contour Plot Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na ₂ S terhadap Efisiensi Penyisihan Cd.....	71
Gambar 4. 7 Grafik 3D Surface Plot Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na ₂ S terhadap Koefisien Yield.....	72
Gambar 4. 8 Grafik Contour Plot Pengaruh Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Na ₂ S terhadap Koefisien Yield.....	73
Gambar 4. 9 Interpretasi Analisa FTIR	80
Gambar 4. 10 Hasil Analisa SEM Sebelum Adsorpsi Dengan Perbesaran 2000x (A), 3000x (B), 4000x (C), dan 5000x (D)	86
Gambar 4. 11 Hasil Analisa SEM Setelah Adsorpsi Dengan Perbesaran 2000x (A), 3000x (B), 4000x (C), dan 5000x (D)	88
Gambar 4. 12 Hasil Analisa EDX Sebelum Adsorpsi	90
Gambar 4. 13 Hasil Analisa EDX Setelah Adsorpsi.....	90
Gambar 4. 14 Grafik Model Kinetika Pseudo First Order	96
Gambar 4. 15 Grafik Model Kinetika Pseudo Second Order	97

LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Analisis

Lampiran B. Perhitungan

Lampiran C. Dokumentasi

Lampiran D. Data Pendukung

ABSTRAK

Pencemaran logam berat, khususnya kadmium (Cd), menjadi permasalahan lingkungan karena sifatnya yang toksik dan sulit terdegradasi. Penelitian ini bertujuan menentukan kondisi optimum pembuatan karbon aktif berbasis lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tersulfurisasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), mengkarakterisasi material hasil optimasi, serta menganalisis kinetika adsorpsi Cd. Karbon aktif dibuat melalui karbonisasi pada suhu 400–800°C, aktivasi menggunakan KOH 2,5 M dengan rasio sludge 1:1, dan sulfurisasi menggunakan variasi konsentrasi Na₂S. Optimasi dilakukan menggunakan RSM dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD) dua faktor, yaitu suhu karbonisasi dan konsentrasi Na₂S, dengan respon efisiensi penyisihan Cd dan koefisien *yield*. Konsentrasi Cd dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), sedangkan karakterisasi material dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Analisis kinetika dilakukan menggunakan model *Pseudo First Order* (PFO) dan *Pseudo Second Order* (PSO). Kondisi optimum diperoleh pada suhu karbonisasi 712,7°C dan konsentrasi Na₂S 1,56 M, dengan prediksi efisiensi penyisihan Cd dan koefisien *yield* masing-masing sebesar 90,114% dan 66,643%. Hasil verifikasi menghasilkan efisiensi penyisihan Cd sebesar 92,37% dan koefisien *yield* sebesar 68,097%. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang berpotensi berinteraksi dengan Cd, sedangkan SEM-EDX menunjukkan perubahan morfologi dan komposisi unsur setelah adsorpsi. Model PSO memberikan kesesuaian lebih baik dibandingkan PFO dengan nilai R² masing-masing 0,9845 dan 0,508, serta konstanta laju adsorpsi (k₂) sebesar 1,888 mg/g·min. Karbon aktif berbasis lumpur IPAL tersulfurisasi hasil optimasi berpotensi digunakan sebagai adsorben alternatif untuk penyisihan Cd dari larutan.

Kata Kunci : adsorpsi, karbon aktif tersulfurisasi, lumpur IPAL, kinetika adsorpsi, *response surface methodology*.

ABSTRACT

Heavy metal contamination, particularly cadmium (Cd), is an environmental concern due to its toxicity and persistence. This study aimed to determine the optimum conditions for producing sulfurized activated carbon derived from wastewater treatment plant (WWTP) sludge using Response Surface Methodology (RSM), characterize the optimized material, and investigate the adsorption kinetics of Cd. Activated carbon was prepared through carbonization at temperatures ranging from 400–800°C, chemical activation using 2.5 M KOH at a sludge-to-KOH ratio of 1:1, and sulfurization using various Na₂S concentrations. Optimization was performed using RSM based on a two-factor Central Composite Design (CCD), with carbonization temperature and Na₂S concentration as independent variables and Cd removal efficiency and yield coefficient as responses. Cd concentration was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), while material characterization was conducted using Fourier Transform Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). Adsorption kinetics were evaluated using the Pseudo-First-Order (PFO) and Pseudo-Second-Order (PSO) models. The optimum conditions were obtained at a carbonization temperature of 712.7°C and an Na₂S concentration of 1.56 M, with predicted Cd removal efficiency and yield coefficient of 90.114% and 66.643%, respectively. Experimental verification resulted in a Cd removal efficiency of 92.37% and a yield coefficient of 68.097%. FTIR analysis indicated the presence of functional groups potentially involved in interactions with Cd, while SEM-EDX revealed changes in surface morphology and elemental composition after adsorption. The PSO model provided a better fit than the PFO model, with R² values of 0.9845 and 0.508, respectively, and an adsorption rate constant (k_2) of 1.888 mg/g-min. The optimized sulfurized activated carbon derived from WWTP sludge demonstrates potential as an alternative adsorbent for Cd removal from aqueous solutions.

Keywords: *adsorption, sulfurized activated carbon, wastewater treatment plant sludge, adsorption kinetics, response surface methodology.*