

**ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN
LOGAM BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI
PELAPISAN LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN*
IMMOBILIZED PHOTOCATALYST TiO₂**

SKRIPSI



Oleh :

MOCH. ANDY WIBISONO

NPM 21034010035

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

**ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN
LOGAM BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI
PELAPISAN LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN*
*IMMOBILIZED PHOTOCATALYST TiO₂***

SKRIPSI



Oleh :

MOCH. ANDY WIBISONO

NPM 21034010035

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

2025

JAWA
2025

**ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN
LOGAM BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI
PELAPISAN LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN
IMMOBILIZED PHOTOCATALYST* TiO₂**

SKRIPSI

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

JAWA
2025

Diajukan Oleh :

MOCH. ANDY WIBISONO

NPM: 21034010035

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

2025

LEMBAR PERSETUJUAN**ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN
LOGAM BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI
PELAPISAN LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN*
IMMOBILIZED PHOTOCATALYST TiO₂****Disusun Oleh:****Moch. Andy Wibisono****NPM. 21034010035****Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian****Menyetujui,****Pembimbing****Prof. Euis Nurul Hidayah, M.T., Ph.D****NIP./NPT. 19771023 202121 2 004****Mengetahui,****Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur****Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.****NIP. 19650403 199103 2 001****Mengetahui**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN LOGAM BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI PELAPISAN LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN IMMOBILIZED* *PHOTOCATALYST TIO₂*

Disusun Oleh:



Moch. Andy Wibisono
NPM. 21034010035

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal
Cheesa: Chemical Engineering Research Articiel (Terakreditasi Sinta 3)

Menyetujui,

Pembimbing



Prof. Euis Nurul Hidayah, M.T., Ph.D
NIP./NPT. 19771023 202121 2 004

TIM PENGUJI

1. Ketua



Mohamad Mirwan, S.T., M.T.
NIP./NPT. 19760212 202121 1 004

2. Anggota



Raden Kokoh Harvo Putro, S.T., M.T.
NIP./NPT. 19900905 201903 1 026

Mengetahui,

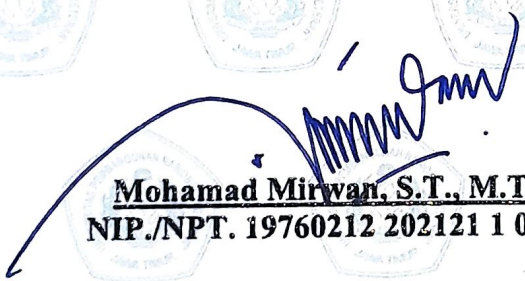
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur




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

LEMBAR REVISI**ANALISIS KINETIKA REAKSI PENURUNAN LOGAM
BERAT Cr (VI) PADA LIMBAH INDUSTRI PELAPISAN
LOGAM MENGGUNAKAN *RESIN IMMOBILIZED*
*PHOTOCATALYST TIO₂*****Disusun Oleh:**
Moch. Andy Wibisono
NPM. 21034010035**Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 09 September 2025****TIM PENILAI**

650403

KETUA**ANGGOTA**
Mohamad Mirwan, S.T., M.T.
NIP./NPT. 19760212 202121 1 004
Raden Kokoh Harvo Putro ST., MT.
NIP./NPT. 19900905 201903 1 026

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Moch. Andy Wibisono
NPM : 21034010035
Program : Sarjana(S1)/~~Magister (S2)~~ / ~~Doktor (S3)~~
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik Dan Sains

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 ditemulan indikasi plagiat pada Skripsi/Tesis/Desertasi 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, 10 September 2025

Yang Membuat Pernyataan



Moch. Andy Wibisono
NPM. 21034010035

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyanyang dikarenakan atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi dengan judul “Analisis Kinetika Reaksi Penurunan Logam Berat Cr (Vi) Pada Limbah Industri Pelapisan Logam Menggunakan *Resin Immobilized Photocatalyst* TiO₂”. Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis dengan sadar bahwa tidak bisa menyelesaikannya sendiri, terdapat berbagai orang yang membantu, memotivasi, dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, dengan penuh hormat penulis ingin mengucapkan 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. Prof. Euis Nurul Hidayah, MT., PhD, selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah sangat membantu, mengarahkan, dan mengayomi penulis dari proses awal perencanaan penelitian hingga laporan skripsi ini selesai,
4. Mohammad Mirwan, S.T., M.T. , Dr. Aulia Ulfah Farahdiba, S.T., M.sc dan Raden Kokoh Haryo Putro, S.T., M.T selaku Dosen Penguji yang telah membantu memberikan masukan serta saran agar penelitian ini bisa berjalan dengan baik,
5. Juli Winarti, S.T, selaku laboran Laboratorium Air Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian,
6. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang dari awal sangat mendukung pilihan penulis untuk bisa berkuliah di program studi Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur hingga sampai bisa menyelesaikan Tugas Akhir berupa skripsi sebagai syarat kelulusan. Terima kasih banyak atas dukungan do’a, serta kepercayaan yang diberikan kepada penulis sehingga bisa

menyelesaikan salah satu impian orang tua di mana anaknya bisa mendapatkan gelar sarjana di hidupnya.

7. Teman-teman tim reaktor fotokatalis Nur Laili Alfiatin Mukharomah, Rizkita Rahmawati, dan Arya Darmawan yang telah bekerja sama serta membantu untuk pembuatan reaktor fotokatalis dari desain hingga penggunaan alat sehingga judul skripsi ini bisa dilakukan dan diselesaikan.
8. Teman-teman terdekat Vikhori Bagus Wahyu Nugroho, Pratama Restu Aji, Juan Vincent Elfonda, Afif Pratama yang telah menemani penulis semasa perkuliahan hingga pelaksanaan penelitian sampai laporan skripsi ini bisa diselesaikan. Terima kasih atas waktu dan dukungan yang diberikan sehingga penulis berada di titik untuk bisa menyelesaikan jenjang pendidikan ini.
9. Semua teman-teman Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur, khususnya teman-teman Angkatan 2021 yang telah bersama penulis kurang lebih 4 tahun ini, terima kasih atas waktu, interaksi, serta dukungan yang pernah kalian berikan.

Akhir kata, penulis dengan sadar bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu dengan rendah hati penulis menerima segala kritik serta saran-saran yang dapat memperbaiki laporan ini sehingga bisa lebih baik. Namun, penulis juga berharap tulisan dalam skripsi ini bisa bermanfaat kedepannya baik itu untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, sebagai referensi untuk beberapa penelitian kedepannya, dan sebagainya.

Surabaya, 09 September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Lingkup Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Industri.....	5
2.2 Krom Heksavalen.....	7
2.3 Resin.....	8
2.4 Fotokatalis	11
2.4.1 Mekanisme Kerja Fotokatalis	12
2.4.2 Katalis TiO ₂	15
2.4.3 Lampu Ultraviolet (UV).....	16
2.4.4 Pengaruh pH.....	17
2.5 <i>Resin Immobilized Photocatalyst</i>	18
2.6 Kinetika Reaksi	19
2.6.1 Persamaan Laju Reaksi	21
2.6.2 Orde Reaksi	22
2.7 Penelitian Terdahulu.....	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1 Kerangka Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	30

3.2.1 Desain Reaktor	30
3.2.2 Alat Penelitian	30
3.2.3 Bahan Penelitian.....	31
3.3 Variabel Penelitian	31
3.4 Mekanisme Kerja	32
3.4.1 Mekanisme Pembuatan Limbah Artifisial Krom Heksavalen.....	32
3.4.2 Mekanisme Imobilisasi TiO ₂ dalam Resin.....	32
3.4.3 Penelitian Utama	32
3.5 Analisis Data	33
3.5.1 Analisis Parameter.....	33
3.5.2 Analisis Pengaruh Fotokatalis pada Limbah	34
3.5.3 Analisis Kinetika Reaksi Fotokatalis	34
3.5.4 Matriks Penelitian	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pendahuluan Penelitian	39
4.2 Pengaruh Berbagai Perlakuan Terhadap Penurunan Krom Heksavalen	44
4.2.1 Pengaruh Waktu Sampling	44
4.2.2 Pengaruh pH Limbah	48
4.2.3 Pengaruh Massa Katalis	51
4.3 Nilai Orde dan Konstanta Laju Reaksi.....	53
4.3.1 Metode <i>Fractional Life</i>	53
4.3.2 Metode Integral	55
4.4 Laju Reaksi Penurunan Krom Heksavalen	58
4.4.1 Penurunan Krom Heksavalen.....	58
4.4.2 Laju Reaksi.....	59
4.4.3 Uji Statistik Laju Reaksi	61
4.4.4 Analisis Laju Reaksi.....	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN A DATA HASIL ANALISIS	73

LAMPIRAN B PERHITUNGAN	76
LAMPIRAN C DOKUMENTASI	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kadar Parameter Limbah Industri	6
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3.1 Metode Uji Setiap Parameter pada Penelitian	33
Tabel 3.2 Matriks Penelitian	36
Tabel 4.1 Hasil Uji Penelitian Pendahuluan pada Variasi pH 5.....	39
Tabel 4.2 Data Hasil Uji Semua Variasi	42
Tabel 4.3 Hasil Uji Mann-Whitney dan Koreksi Holm Kekeruhan Versus Waktu Sampling	48
Tabel 4.4 Hasil Uji Mann-Whitney dan Koreksi Holm Kekeruhan Versus Berat Katalis	53
Tabel 4.5 Plot Data pH 5 dan Katalis 50 Gram pada Model <i>Fractional Life</i>	55
Tabel 4.6 Nilai Konstanta Reaksi Setiap Variasi	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Skema Reduksi Cr (VI) dalam Proses Fotokatalis (b) Pita energi TiO ₂ yang dimodifikasi dengan AITCPC	12
Gambar 2.2 Mekanisme Reaksi pada Fotokatalis (I) Absorpsi cahaya untuk menghasilkan pasangan electron-hole; (II) Pemisahan muatan terksitasi; (III) hole (h ⁺) dan elektron (e ⁻) berpindah ke permukaan semikonduktor fotokatalis; (III') rekombinasi elektron dan hole; (IV) Pemanfaatan muatan pada permukaan untuk reaksi redoks.....	14
Gambar 2.3 Macam Struktur Kristal TiO ₂ (Anatase, Rutile, dan Brookite).....	15
Gambar 2.4 Diagram <i>Band Gap Energy</i> Beberapa Semikonduktor.....	17
Gambar 2.5 Gambar Uji SEM pada Katalis yang Telah Diimobilisasi pada Polimer	19
Gambar 2.6 Plot Grafik Orde Reaksi Satu	24
Gambar 2.7 Grafik Waktu Paruh pada Orde Reaksi Pertama.....	25
Gambar 3.1 Alur Kerangka Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Tampak Atas Desain Reaktor Fotokatalis.....	30
Gambar 3.3 Tampak Samping Desain Reaktor Fotokatalis.....	30
Gambar 4.1 Karakteristik Penurunan Krom Heksavalen pada Kondisi pH 5 dengan Massa Katalis a) 30 Gram, b) 40 Gram, c) 50 Gram	40
Gambar 4.2 Uji Normalitas Data Krom Heksavalen	43
Gambar 4.3 Uji Normalitas Data Kekeruhan	43
Gambar 4.4 Penurunan Krom Heksavalen Terhadap Waktu Sampling, pH Limbah, dan Massa Katalis: a) 30 Gram, b) 40 Gram, c) 50 Gram	44
Gambar 4.6 ANOVA-One Way Penurunan Krom Heksavalen Versus Waktu Sampling	46
Gambar 4.7 Tingkat Kekeruhan Sampel Terhadap Waktu Sampling, pH Limbah, dan Massa Katalis: a) 30 Gram, b) 40 Gram, c) 50 Gram	47
Gambar 4.8 Uji Kruskal-Wallis Penurunan Kekeruhan Versus Waktu Sampling	47
Gambar 4.9 Penurunan Krom Heksavalen Terhadap Waktu Sampling, Massa Katalis, dan pH Limbah: a) pH 3, b) pH 5, c) pH 7	49

Gambar 4.10 pH Limbah Setelah Proses Fotokatalis	49
Gambar 4.11 ANOVA-One Way Penurunan Krom Heksavalen Versus pH Awal	50
Gambar 4.12 Penurunan Krom Heksavalen Terhadap Waktu Sampling, pH Limbah, dan Massa Katalis: a) 30 Gram, b) 40 Gram, c) 50 Gram	51
Gambar 4.13 ANOVA-One Way Penurunan Krom Heksavalen Versus Berat Katalis	52
Gambar 4.14 Uji Kruskal-Wallis Kekakuan Sampel Versus Berat Katalis	53
Gambar 4.15 Grafik <i>Fractional Life</i> Variasi pH 5 & 50 Gram Katalis	54
Gambar 4.16 Uji Integral Variasi pH 3 Berat Katalis 30 Gram.....	55
Gambar 4.17 Uji Integral Variasi pH 3 Berat Katalis 40 Gram.....	56
Gambar 4.18 Uji Integral Variasi pH 3 Berat Katalis 50 Gram.....	56
Gambar 4.19 Uji Integral Variasi pH 5 Berat Katalis 30 Gram.....	56
Gambar 4.20 Uji Integral Variasi pH 5 Berat Katalis 40 Gram.....	56
Gambar 4.21 Uji Integral Variasi pH 5 Berat Katalis 50 Gram.....	56
Gambar 4.22 Uji Integral Variasi pH 7 Berat Katalis 30 Gram.....	57
Gambar 4.23 Uji Integral Variasi pH 7 Berat Katalis 40 Gram.....	57
Gambar 4.24 Uji Integral Variasi pH 7 Berat Katalis 50 Gram	57
Gambar 4.25 Penurunan Krom Heksavalen Berdasarkan Massa RIP-TiO ₂ : a) 30 Gram, b) 40 Gram, c) 50 Gram	58
Gambar 4.26 Penurunan Krom Heksavalen Berdasarkan Kondisi pH Limbah: a) pH 3, b) pH 5, dan c) pH 7	59
Gambar 4.27 Laju Reaksi pada Berat Katalis: a) 30 Gram, b) 40 Gram, dan c) 50 Gram.....	60
Gambar 4.28 Laju Reaksi pada Kondisi pH Awal: a) pH 3, b) pH 5, dan c) pH 7	60
Gambar 4.29 ANOVA-One Way Laju Reaksi Versus Berat Katalis	61
Gambar 4.30 ANOVA-One Way Laju Reaksi Versus pH Awal Limbah	62

ABSTRAK

Pencemaran pada air sungai oleh adanya polutan berupa logam berat seperti krom heksavalen menjadi salah satu permasalahan yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Maka dari itu perlu dilakukan pengolahan pada limbah yang mengandung krom heksavalen, salah satunya menggunakan proses fotokatalis. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis metode penentuan serta model kinetika penurunan krom heksavalen pada proses fotokatalis menggunakan Resin Immobilized Photocatalyst TiO₂. Selain itu, juga untuk menganalisis bagaimana peran pH dalam kinetika laju reaksi penurunan krom heksavalen tersebut. Metode yang digunakan yaitu menggunakan katalis Resin Immobilized Photocatalyst TiO₂ sebanyak 30, 40, dan 50 gram serta pembuatan limbah artifisial mengandung Cr⁶⁺ menggunakan kalium dikromat dengan pengondisian pH awal sebesar 3, 5, dan 7. Waktu sampling yang dilakukan selama 5, 15, 45, dan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan penurunan krom heksavalen seiring waktu sampling serta tingkat penurunan yang lebih baik pada massa katalis 50 gram serta kondisi pH 5. Kinetika orde reaksi yang terjadi pada semua variasi mengikuti orde 2 yang didapat menggunakan metode integral sehingga model kinetika mengikuti persamaan $\frac{x_A}{(1-x_A)} = ktC_{A0} = \frac{C_{A0}-C_A}{C_A}$. Laju reaksi tertinggi terjadi pada kondisi pH awal sebesar 5, diikuti dengan kondisi pH 7, dan yang paling rendah pada pH 3 serta pada penggunaan katalis laju reaksi tertinggi pada massa 50 gram.

Kata Kunci: Kinetika Reaksi, Fotokatalis, Krom Heksavalen, *Resin Immobilized Photocatalyst*

ABSTRACT

Pollution of river water by heavy metal pollutants such as hexavalent chromium is one of the problems that requires further attention. Therefore, it is necessary to treat waste containing hexavalent chromium, one of which is by using the photocatalytic process. The purpose of this study is to analyze the determination method and kinetic model of hexavalent chromium reduction in the photocatalytic process using TiO₂ Immobilized Photocatalyst Resin. In addition, it also analyzes the role of pH in the reaction rate kinetics of hexavalent chromium reduction. The method used was to use 30, 40, and 50 grams of Resin Immobilized Photocatalyst TiO₂ catalyst and to produce artificial waste containing Cr⁶⁺ using potassium dichromate with initial pH conditions of 3, 5, and 7. Sampling was carried out for 5, 15, 45, and 60 minutes. The results showed a decrease in hexavalent chromium over time, with a better reduction rate at a catalyst mass of 50 grams and a pH of 5. The reaction kinetics for all variations followed a second-order reaction, obtained using the integral method, so that the kinetic model followed the equation $\frac{x_A}{(1-x_A)} = ktC_{A0} = \frac{C_{A0}-C_A}{C_A}$. The highest reaction rate occurred at an initial pH of 5, followed by a pH of 7, and the lowest at a pH of 3. The highest reaction rate was achieved using a catalyst mass of 50 grams.

Keywords: *Reaction Kinetics, Photocatalyst, Hexavalent Chromium, Resin Immobilized Photocatalyst*