



**RANCANG BANGUN SISTEM FOTOREDUKSI UV UNTUK
PRODUKSI BESI OKSALAT DARI LIMBAH BAJA KARBON
MENGUNAKAN METODE VDI 2221**



**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

**YASA SANUSI
NIM. 55824010003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**RANCANG BANGUN SISTEM FOTOREDUKSI UV UNTUK
PRODUKSI BESI OKSALAT DARI LIMBAH BAJA KARBON
MENGUNAKAN METODE VDI 2221**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Magister

**UNIVERSITAS
YASA SANUSI
NIM. 55824010003
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Yasa Sanusi
NIM : 55824010003
Jurusan : Magister Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Penelitian berjudul: “Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV Untuk Produksi Besi Oksalat Dari Limbah Baja Karbon Menggunakan Metode VDI 2221” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS

Jakarta, 18 Juli 2026

MERCU BUANA



(Yasa Sanusi)

HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : YASA SANUSI
NIM : 55824010003
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV Untuk
Produksi Besi Oksalat Dari Limbah Baja Karbon
Menggunakan Metode VDI 2221

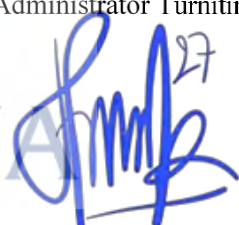
Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Senin, 27 Juli 2026** dengan hasil presentase sebesar 7 % dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 27 Juli 2026

Administrator Turnitin,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : YASA SANUSI
NIM : 55824010003
Fakultas/Program Studi : Fakultas Teknik / Magister Teknik Mesin
Judul Tesis : Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV Untuk
Produksi Besi Oksalat Dari Limbah Baja Karbon
Menggunakan Metode VDI 2221

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 11 Juli 2026 di hadapan Dewan
Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk
memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Mesin., Fakultas
Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:
Pembimbing



(Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini)
NIDN. 8812480018

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

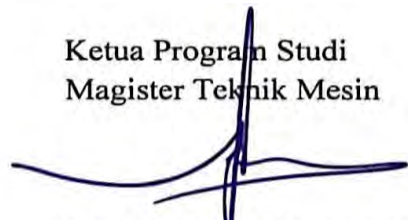
Jakarta, Juli 2026
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)
NIDN. 0307037202

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



(Ir. M. Fitri, M.Si., Ph.D.)
NIDN. 1013126901

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat anugerah dan karunia serta rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV Untuk Produksi Besi Oksalat Dari Limbah Baja Karbon Menggunakan Metode VDI 2221”. Sholawat dan salam semoga dicurahkan kepada Baginda Rosul Muhammad SAW, keluarganya, para sahabat, dan akhirnya kepada kita semua sebagai pengikut setianya. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana Jakarta.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta.
3. Bapak Ir. Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D., selaku Kepala Program Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.
4. Bapak Dr.Eng. Deni Shidqi Khaerudini, selaku Dosen Pembimbing Tesis yang selalu sabar dalam memberikan ilmu, pemikiran, arahan, dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan Tesis ini.
5. Para Dosen Penelaah dan Penguji yang senantiasa memberikan masukan dalam perbaikan penulisan Tesis ini.
6. Dosen serta staf Pascasarjana Program Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.
7. Pimpinan dan Staf PT. Teknologi Rekayasa Katup Serang Banten yang telah mengizinkan dan bersedia menjadi tempat penelitian.

8. Pimpinan dan Staf Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong Tangerang Selatan Banten yang telah mengizinkan dan bersedia menjadi tempat penelitian.
9. Keluarga dan Istri terkasih Sri Pudjiwati S.Pd., M.T. yang telah mendukung dan selalu mendampingi serta memberikan motivasi selama perkuliahan sampai selesainya penulisan Tesis ini, serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan doanya kepada penulis.
10. Rekan mahasiswa Pascasarjana Program Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta yang selalu mendoakan dan mendukung segala aktivitas baik dalam perkuliahan maupun dalam penyusunan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu. Saya menyadari Tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Saya mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Jakarta, 18 Juli 2026

Penulis

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yasa Sanusi
NIM : 5582401003
Fakultas/Program Studi : Teknik/Magister Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV Untuk
Produksi Besi Oksalat Dari Limbah Baja Karbon
Menggunakan Metode VDI 2221

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana 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.

MERCU BUANA

Jakarta, 18 Juli 2026

Yang menyatakan,



(Yasa Sanusi)

ABSTRAK

Industri manufaktur pengolahan baja di Indonesia, terutama perusahaan manufaktur katup di Banten menghasilkan limbah baja dalam jumlah yang terus meningkat. Meskipun masih memiliki kandungan besi yang cukup tinggi, limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal akibat keterbatasan sistem pengolahan dan masih minimnya penelitian berbasis limbah baja karbon. Penerapan proses ekstraksi fotokimia ramah lingkungan, limbah baja karbon dapat diolah menjadi produk bernilai tambah sekaligus mendukung pengolahan limbah yang berkelanjutan, salah satunya sebagai bahan baku sintesis besi oksalat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk merancang bangun sistem produksi besi oksalat (FeC_2O_4) berbasis fotoreduksi. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun sistem produksi besi oksalat dengan proses fotoreduksi UV, menguji alat dan parameter proses, serta menganalisis karakteristik produk besi oksalat. Metode perancangan menggunakan metode VDI 2221 dengan prinsip optimasi fungsi dan kompatibilitas teknik. Proses ekstraksi besi oksalat menggunakan metode pelindian dan fotoreduksi UV melalui refleksi cermin, serta pengujian PSA SEM-EDS, XRD dan FTIR. Proses fotoreduksi dilakukan dengan variasi 3 jam, 6 jam, dan 9 jam, serta 4 lampu UV menyala. Hasil penelitian menunjukkan Sistem Fotoreduksi Variasi 1 merupakan desain terbaik dengan tingkat stabilitas 84%. Parameter operasional terbaik dicapai pada variasi 9 jam, dengan penambahan kristal besi oksalat sebesar 109,90% (10,35 g). Hasil pengujian partikel besi oksalat menunjukkan distribusi ukuran partikel yang paling baik, dengan nilai Span 1,51 dan diameter rata-rata 23,55 μm , yang diperkuat pengujian morfologi menunjukkan kristal besi oksalat seragam berbentuk balok memanjang yang jelas dan halus, dengan kandungan Fe 13,40% dan berat 52,25%. Selain itu, pada kristal besi oksalat membentuk $\alpha\text{-FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\beta\text{-FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan terkonfirmasi adanya gugus fungsi O-H, H-O-, COO-, C-O, O-C-O, dan Fe-O. Penelitian sistem produksi besi oksalat melalui proses fotoreduksi UV ini berpotensi menjadi solusi, alternatif teknologi bagi industri manufaktur dalam pemanfaatan limbah limbah baja karbon menjadi produk bernilai tambah, dan mendukung pengurangan limbah pada implementasi *green manufacture*.

Kata kunci: Besi Oksalat, Limbah Baja, Lindi, Fotoreduksi, Refleksi

ABSTRACT

The steel processing industry in Indonesia, particularly valve manufacturing companies in Banten generates ever increasing amounts of steel waste. Although this waste retains a high iron content, it remains underutilized due to limited processing systems and a scarcity of research focused on carbon steel waste. Through the application of an eco friendly photochemical extraction process, carbon steel waste can be converted into value-added products, such as raw material for iron oxalate synthesis, thereby supporting sustainable waste management. Consequently, further research is required to design and construct a photoreduction-based iron oxalate (FeC_2O_4) production system. The objectives of this study were to design and build an iron oxalate production system utilizing a UV photoreduction process, to test the equipment and process parameters, and to analyze the characteristics of the resulting iron oxalate product. The design phase employed the VDI 2221 methodology, adhering to principles of functional optimization and technical compatibility. Iron oxalate extraction involved leaching and UV photoreduction via mirror reflection, followed by analysis using PSA, SEM-EDS, XRD, and FTIR. Photoreduction trials were conducted with durations of 3, 6, and 9 hours, utilizing an array of four UV lamps. The results indicated that "Photoreduction System Variation 1" was the optimal design, achieving a stability level of 84%. The best operational parameters were achieved with the 9-hour duration, yielding a 109.90% increase in iron oxalate crystals (10.35 g). Particle testing revealed an optimal size distribution, characterized by a Span value of 1.51 and a mean diameter of 23.55 μm , while morphological analysis confirmed the formation of uniform, smooth, elongated block shaped iron oxalate crystals with an Fe content of 13.40% and a mass fraction of 52.25%. Furthermore, the iron oxalate crystals formed $\alpha\text{-FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\beta\text{-FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, with the presence of O-H, H-O-, COO-, C-O, O-C-O, and Fe-O functional groups confirmed. Research into this UV photoreduction-based iron oxalate production system offers a potential technological alternative for the manufacturing industry to transform carbon steel waste into value-added products, thereby supporting waste reduction efforts within the framework of green manufacturing.

Keywords: Iron Oxalate, Steel Waste, Leaching, Photoreduction, Reflection

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	0
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORY UMB	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Kebaruan	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Limbah Manufaktur	7
2.2 Material Baja Karbon.....	10
2.2.1 Kategori Baja Karbon	10
2.2.2 Baja Karbon Sedang	11
2.2.3 Komposisi Kimia Baja Karbon Sedang	11
2.3 Besi Oksalat	12
2.3.1 Potensi Besi Oksalat	15
2.3.2 Bahan Dasar Besi Oksalat	17
2.3.3 Besi Oksalat Dihidrat.....	20
2.4 Pelindian (<i>Leaching</i>).....	21
2.4.1 Larutan Asam oksalat	22
2.4.2 Filtrasi Besi Oksalat.....	22
2.5 Fotoreduksi (<i>Photoreduction</i>).....	23
2.5.1 Mekanisme Fotoreduksi.....	23
2.5.2 Jenis Sistem Fotoreduksi	28
2.5.3 Performa Sistem Fotoreduksi	32
2.5.4 Karakterisasi Produk Fotoreduksi	33
2.6 <i>Verein Deutscher Ingenieure</i> (VDI)	42
2.7 Penelitian Terdahulu	45

BAB III METODE PENELITIAN	52
3.1 Diagram Alir Penelitian	52
3.2 Diagram Alir Rancang Bangun Metode VDI 2221	56
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	58
3.3.1 Alat dan Bahan Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV	58
3.3.2 Alat dan Bahan Sintesis Besi Oksalat	63
3.3.3 Tahap Pemisahan Limbah Baja Karbon.....	67
3.3.4 Tahap Penyaringan Limbah Baja Karbon	68
3.3.5 Tahap <i>Degreasing dan Rinsing</i>	70
3.3.6 Pembuatan Filtrat Besi Oksalat	71
3.4 Metode Sintesis Besi Oksalat.....	74
3.4.1 Metode Pelindian	87
3.4.2 Metode Fotoreduksi	92
3.5 Metode Pengujian Sistem Fotoreduksi dan Produk Besi Oksalat.....	97
3.5.1 Metode Pengujian Performa Sistem Produksi Besi Oksalat.....	97
3.5.2 Metode Pengujian Karakteristik Besi Oksalat	98
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	105
4.1 Perancangan Sistem Fotoreduksi Dengan VDI 2221.....	105
4.1.1 Klasifikasi Tugas	74
4.1.2 Desain Konseptual	78
4.1.3 Desain Perwujudan Sistem Fotoreduksi.....	108
4.2 Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi	110
4.2.1 Rancang Bangun Rangka Sistem Fotoreduksi	110
4.2.2 Rancang Bangun <i>Body</i> Sistem Fotoreduksi	111
4.2.3 Sistem Kontrol dan Kelistrikan Fotoreduksi.....	112
4.2.4 Konstruksi Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi	113
4.3 Analisis Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi	115
4.3.1 Performa Sistem Fotoreduksi	115
4.3.2 Perbandingan Hasil Penelitian Sistem Fotoreduksi	130
4.4 Produksi Besi Oksalat	135
4.4.1 Pelindian.....	135
4.4.2 Fotoreduksi.....	145
4.4.3 Pengujian <i>Karakterisasi</i> Besi Oksalat.....	160
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	186
5.1 Kesimpulan	186
5.2 Saran	187
DAFTAR PUSTAKA	188
DAFTAR LAMPIRAN	196

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Baja Karbon Sedang Berdasarkan Standar ASTM	11
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja Karbon Sedang Berdasarkan Standar ASTM	12
Tabel 2. 3 Potensi Besi Oksalat pada Aplikasi Teknologi Berdasarkan Penelitian Terdahulu	15
Tabel 2. 4 Bahan Baku Limbah Untuk Sintesis Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Terdahulu	18
Tabel 2. 5 Perbandingan Karakteristik Proses Pelindian dan Fotoreduksi Dalam Sintesis Besi Oksalat.....	25
Tabel 2. 6 Standar Warna Serbuk Besi Oksalat Hasil Proses Pelindian dan Fotoreduksi Berdasarkan Literatur.....	27
Tabel 2. 7 Parameter Ukuran Partikel Besi Oksalat Berdasarkan Hasil Pengujian Karakteristik PSA.....	35
Tabel 2. 8 Parameter Morfologi Besi Oksalat Berdasarkan Hasil Pengujian Karakteristik SEM.....	36
Tabel 2. 9 Gugus Fungsi Besi Oksalat Berdasarkan Bilangan Gelombang pada Hasil Pengujian Karakteristik FTIR.....	41
Tabel 2. 10 Tahapan Utama Metode VDI 2221 Dalam Proses Perancangan Produk	43
Tabel 2. 11 Penelitian Terdahulu Tentang Sistem Sintesis Besi Oksalat Berbasis Limbah Logam	45
Tabel 3. 1 Daftar Kebutuhan Alat Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	58
Tabel 3. 2 Daftar Bahan Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	60
Tabel 3. 3 Daftar Kebutuhan Alat Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi.....	64
Tabel 3. 4 Daftar Bahan Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi dalam.....	67
Tabel 3. 5 Daftar Komposisi Pembuatan Filtrate pada Proses Sintesis Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Sebelumnya.....	72
Tabel 3. 6 Daftar Perbandingan Komposisi Pembuatan Filtrate Proses Sintesis Besi Oksalat pada Volume 1000 mL dan 2000 mL	73
Tabel 3. 7 Klasifikasi Tugas pada Perancangan Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat Metode VDI 2221	74
Tabel 3. 8 Penskoran Komponen pada Perancangan Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat Metode VDI 2221	80
Tabel 3. 9 Rubrik Penilaian Penskoran Komponen pada Perancangan Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat Metode VDI 2221	82
Tabel 3. 10 Matriks Solusi pada Perancangan Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat Metode VDI 2221	84
Tabel 3. 11 Tahap Sintesis Limbah Baja Karbon pada Pelindian untuk Menghasilkan Larutan Besi Oksalat dengan Kapasitas 2000 mL.....	89

Tabel 3. 12 Pengkodean Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi.....	96
Tabel 4. 1 Total Penskoran Komponen Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi Berdasarkan Komponen Tiap Variasi	106
Tabel 4. 2 Total Penskoran Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi Berdasarkan Variasi Konsep.....	106
Tabel 4. 3 Performa Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	116
Tabel 4. 4 Waktu Pengujian Performa Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	127
Tabel 4. 5 Distribusi Waktu Operasi pada Pengujian Performa Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	129
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Penelitian pada Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat dengan Penelitian Sebelumnya	130
Tabel 4. 7 Data Hasil Pembuatan Larutan Asam Oksalat pada Proses Pelindian Limbah Baja Karbon	137
Tabel 4. 8 Data Hasil Produk pada Proses Pelindian Limbah Baja Karbon	138
Tabel 4. 9 Produk Hasil Pelindian Pada Proses Sintesis Besi Oksalat dari Limbah Baja Karbon	141
Tabel 4. 10 Yield Besi Hasil Pelindian Pada Proses Sintesis Besi Oksalat dari Limbah Baja Karbon	141
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Sistem Fotoreduksi UV Dalam Produksi Kristal Besi Oksalat Berdasarkan Variasi Lampu UV	146
Tabel 4. 12 Intensitas Lampu UV Menggunakan Aplikasi Lux Meter- <i>Light Measurement (Ronraj Tech)</i>	148
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Sistem Fotoreduksi UV Dalam Produksi Kristal Besi Oksalat Berdasarkan Variasi Waktu	150
Tabel 4. 14 Rekap Hasil Produksi Kristal Besi Oksalat pada Proses Fotoreduksi UV	152
Tabel 4. 15 Perbandingan Hasil Proses Fotoreduksi UV pada Tiap Reaktor	158
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Particle Size Analysis (PSA) Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	161
Tabel 4. 17 Perbandingan Hasil Pengujian PSA Rata-Rata Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	165
Tabel 4. 18 Perbandingan Unsur Kimia Pengujian EDS Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	169
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian FTIR.....	178
Tabel 4. 20 Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Besi Oksalat pada Proses Fotoreduksi UV	182

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahap Pemanfaatan Limbah Baja Karbon dari Proses Pemesinan Sampai Peleburan.....	7
Gambar 2. 2 Limbah Baja Karbon Hasil Proses Pemotongan di PT . Katup Banten	8
Gambar 2. 3 Reaksi Pembentukan Larutan Besi Oksalat dari Limbah Baja Karbon dan Asam Oksalat Pada Proses Pelindian	13
Gambar 2. 4 Ilustrasi Mekanisme Pelindian dan Fotoreduksi pada Sintesis Besi Oksalat.....	21
Gambar 2. 5 Ilustrasi Pemantulan Cahaya Pada Suatu Permukaan Datar	24
Gambar 2. 6 Alat Foto Reduksi dengan Reaktor dan Lampu UV Tunggal untuk Produksi Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	28
Gambar 2. 7 Alat Fotoreduksi Reaktor Tunggal dan Variasi Lampu UV untuk Produksi Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	29
Gambar 2. 8 Alat Fotoreduksi Multi Reaktor dan Lampu UV Tunggal untuk Produksi Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	30
Gambar 2. 9 Alat Fotoreduksi Multi Reaktor dan Lampu UV Tunggal untuk Produksi Besi Oksalat Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Sistem Produksi Besi Oksalat	52
Gambar 3. 2 Diagram Alir Sintesis Besi Oksalat dari Limbah Baja Karbon Melalui Proses Sintesis Fotokimia.....	53
Gambar 3. 3 Diagram Alir Rancang Bangun Sistem Produksi Besi Oksalat Menggunakan Metode VDI 2221	56
Gambar 3. 4 Alat Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	58
Gambar 3. 5 Bahan Rancang Bangun Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	60
Gambar 3. 6 Alat Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi	64
Gambar 3. 7 Sampel Limbah Baja Karbon untuk Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi	66
Gambar 3. 8 Bahan Sintesis Besi Oksalat pada Proses Pelindian dan Fotoreduksi.....	66
Gambar 3. 9 Tahap Pemisahan Limbah Baja Karbon dan Stainless Steel untuk Dijadikan Sampel pada Proses Sintesis Besi Oksalat.....	67
Gambar 3. 10 Tahap penghalusan dan Penyaringan Sampel Limbah Baja Karbon pada Proses Sintesis Besi Oksalat	68
Gambar 3. 11 Tahap Penyaringan Limbah FeC untuk Dijadikan Sampel pada Proses Sintesis Besi Oksalat	69
Gambar 3. 12 Tahap Pembersihan Sampel Limbah Baja Karbon pada Proses Sintesis Besi Oksalat	70
Gambar 3. 13 Tahap Pembuatan Filtrat Besi Oksalat pada Proses Sintesis Besi Oksalat.....	72
Gambar 3. 14 Struktur Fungsi pada Perancangan Sistem Fotoreduksi Besi Oksalat Metode VDI 2221	79

Gambar 3. 15 Proses Larutan Asam Oksalat untuk Sintesis Limbah Baja Karbon pada Pelindian Besi Oksalat.....	88
Gambar 3. 16 Proses Sintesis Limbah Baja Karbon pada Pelindian untuk Menghasilkan Larutan Besi Oksalat	88
Gambar 3. 17 Desain Alat Fotoreduksi Umum.....	92
Gambar 3. 18 Alat dan Bahan Sintesis Limbah Baja Karbon pada Fotoreduksi ...	93
Gambar 3. 19 Proses Sintesis Limbah Baja Karbon pada Fotoreduksi untuk Menghasilkan Besi Oksalat.....	93
Gambar 3. 20 Tahap Penyaringan Serbuk Besi Oksalat hasil Fotoreduksi.....	96
Gambar 3. 21 Tahap Peningkatan Serbuk Besi Oksalat	96
Gambar 3. 22 Pengujian Particle Size Analyzer (PSA) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	98
Gambar 3. 23 Kurva Hasil Pengujian Particle Size Analyzer (PSA) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	100
Gambar 3. 24 Alur Pengujian Particle Size Analyzer (PSA) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	100
Gambar 3. 25 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM-EDS) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	101
Gambar 3. 26 Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	103
Gambar 3. 27 Alat Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR) Pada Serbuk Besi Oksalat Hasil Fotoreduksi UV	104
Gambar 4. 1 Desain Perwujudan Sistem Fotoreduksi untuk Produksi Besi Oksalat.....	107
Gambar 4. 2 Desain Detail (Final) Sistem Fotoreduksi Variasi 1 untuk Produksi Besi Oksalat	109
Gambar 4. 3 Pembuatan Rangka Sistem Fotoreduksi untuk Produksi Besi Oksalat.....	110
Gambar 4. 4 Body Assy Sistem Fotoreduksi untuk Produksi Besi Oksalat	111
Gambar 4. 5 Komponen Kontrol Kelistrikan Sistem Fotoreduksi untuk Produksi Besi Oksalat	112
Gambar 4. 6 Komponen Pengaduk Sistem Fotoreduksi untuk Produksi Besi Oksalat.....	112
Gambar 4. 7 Konstruksi Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat..	113
Gambar 4. 8 Gambar Kerja Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat.....	113
Gambar 4. 9 Prosedur Standar Operasional Penggunaan Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	114
Gambar 4. 10 Grafik Waktu Operasi per Sampel pada Sistem Fotoreduksi UV untuk Produksi Besi Oksalat	128
Gambar 4. 11 Produk Besi Oksalat Hasil Proses Pelindian Limbah Baja Karbon.....	139
Gambar 4. 12 Perbandingan Produk Hasil Pelindian pada Proses Sintesis Besi Oksalat.....	142
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian Intensitas Cahaya UV Menggunakan Aplikasi Lux Meter- <i>Light Measurement (Ronraj Tech)</i>	148

Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Hasil Produksi Kristal Besi Oksalat pada Proses Fotoreduksi UV	156
Gambar 4. 15 Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	160
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Pengujian <i>Particle Size Analysis</i> (PSA) Rata-Rata ..	161
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian SEM Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	167
Gambar 4. 18 Hasil Pengujian EDS Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	171
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian SEM-EDS Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	173
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian XRD Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	175
Gambar 4. 21 Hasil Pengujian FTIR Kristal Besi Oksalat Hasil Proses Fotoreduksi UV	177



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	196
Lampiran 2 Surat Penunjukkan Pembimbing Tesis.....	197
Lampiran 3 Surat Permohonan Data Survey/Penelitian.....	198
Lampiran 4 Surat Balasan Permohonan Data Survey/Penelitian.....	199
Lampiran 5 Surat Jalan Sampel (Limbah) Penelitian	200
Lampiran 6 Form Penggunaan Laboratorium	201
Lampiran 7 Lembar Kegiatan Bimbingan Tesis	202
Lampiran 8 Road Map Penelitian	205
Lampiran 9 Gant Chart Penelitian.....	206
Lampiran 10 Rancangan Fotoreduksi	206
Lampiran 11 Hasil Pengujian PSA	210
Lampiran 12 Hasil Pengujian SEM-EDS.....	216
Lampiran 13 Hasil Pengujian XRD	218
Lampiran 14 Hasil Pengujian FTIR	221
Lampiran 15 Foto Kegiatan Penelitian	223
Lampiran 16 Sertifikat – Sertifikat	224
Lampiran 17 Publikasi Ilmiah.....	225

