

**PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
ELEKTROLISIS SERBUK TEMBAGA DENGAN METODE
FAKTORIAL DESAIN 2^k**

TUGAS AKHIR

R. MOHAMAD FAJAR GUNAWAN

123.18.012



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
JULI 2022**

**PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
ELEKTROLISIS SERBUK TEMBAGA DENGAN METODE
FAKTORIAL DESAIN 2^K**

TUGAS AKHIR

R. MOHAMAD FAJAR GUNAWAN

123.18.012

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi




**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
JULI 2022**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan
semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : R. MOHAMAD FAJAR GUNAWAN

Nim : 123.18.012

Tanda Tangan : 

Tanggal : 05 Juli 2022

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
ELEKTROLISIS SERBUK TEMBAGA DENGAN METODE FAKTORIAL
DESAIN 2^K**

TUGAS AKHIR

R. MOHAMAD FAJAR GUNAWAN

123.18.012

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi

Menyetujui,

Kota Deltamas, 29 Juli 2022

Pembimbing 1




Dr. Soleh Wahyudi, S.T., M.T.

NIDN : 0410017105

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Metalurgi



Dr. Eng. Akhmad Ardian Korda, S.T., M.T

NIP : 19741204200801101

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini dengan judul “Pengembangan Model Prediksi Efisiensi Arus Pada Elektrolisis Serbuk Tembaga Dengan Metode Faktorial Desain 2^K ”. Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi di Institut Teknologi Sains Bandung.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa dalam hal penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tugas akhir ini masih banyak kekurangan didalamnya baik itu dalam hal pembahasan penelitian dikarenakan keterbatasan penulis. Oleh karena itu, penulis berharap penelitian tugas akhir ini bisa dilanjutkan dan diteliti kembali agar ilmu yang didapatkan bisa lebih berkembang lagi dan penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kemampuan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, ucapan terima kasih ini penulis sampaikan terutama kepada yang saya hormati:

1. Teristimewa kepada orang tua, kakak, adik dan keluarga penulis yang selalu memberikan do'a, dukungan secara materi maupun moril, dan selalu memberikan motivasi sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ari Darmawan Pasek, M.Sc selaku Rektor Institut Teknologi Sains Bandung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Syoni Soepriyanto, M.Sc. selaku Wakil Rektor Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Institut Teknologi Sains Bandung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Akhmad Ardian Korda, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Metalurgi Institut Teknologi Sains Bandung.
5. Bapak Dr. Soleh Wahyudi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah berkenan memberikan bimbingan serta ilmu yang bermanfaat serta memberikan solusi pada setiap permasalahan yang dihadapi penulis pada penulisan tugas akhir ini.

6. Bapak Andrie Harmaji, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Metalurgi Institut Teknologi Sains Bandung.
7. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Institut Teknologi Sains Bandung, khususnya Program Studi Teknik Metalurgi yang telah memberikan solusi, motivasi dan banyak membantu penulis untuk dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
8. Bapak Herlan, Arif, Iwan dan Beben selaku staff PT. Rekayasa Plating yang telah banyak sekali membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman-teman mahasiswa program studi Teknik Metalurgi yang telah ikut serta memberikan dukungan serta do'a sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Metalurgi angkatan 2018 yang sangat banyak memberikan dukungan, membantu menyelesaikan tugas akhir ini dan memberikan keceriaan penulis dalam belajar di Institut Teknologi Sains Bandung.
11. Shofia Nur Azizah yang telah menemani dan memberikan dukungan serta motivasi sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Gigih Safardwiyansyah, Naufal Dhiya Ulhaq dan Rio Weldi yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir serta menemani penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan, maka segala kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga penyusunan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Purwakarta, 05 Juli 2022



R. Mohamad Fajar Gunawan

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Institut Teknologi Sains Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : R. Mohamad Fajar Gunawan

NIM : 123.18.012

Program Studi : Teknik Metalurgi

Fakultas : Teknik dan Desain

Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi Sains Bandung **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

*“Pengembangan Model Prediksi Efisiensi Arus Pada Elektrolisis Serbuk Tembaga
Dengan Metode Faktorial Desain 2^K”*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi Sains Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), 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 : Purwakarta

Pada tanggal : 05 Juli 2022

Yang menyatakan



(R. Mohamad Fajar Gunawan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Serbuk Tembaga.....	7
2.1.1 Sifat Kimia dan Fisika Unsur Tembaga (Cu).....	7
2.1.2 Kegunaan dan Manfaat Unsur Tembaga.....	9
2.1.3 Serbuk Tembaga (<i>Powder Copper</i>)	9
2.2 Elektrolisis Serbuk Tembaga.....	10
2.2.1 Sistem Sel Elektrolisis	12
2.2.2 Reaksi Sel Elektrolisis	14
2.2.3 Mekanisme Terbentuknya Serbuk Tembaga.....	14
2.3 Persamaan Faraday dan Perhitungan Efisiensi Arus	15
2.4 Pengaruh Parameter Metode Elektrolisis	17
2.5 Perancangan Percobaan Dengan Metode Faktorial Desain 2^k	19
2.5.1 Faktorial Desain 2^k Dengan 3 Faktor.....	20
2.5.2 Anova (<i>Analysis of Variance</i>) Pada Faktorial Desain 2^k	22
2.6 Uji T (Test).....	24
BAB III PROSEDUR DAN HASIL PERCOBAAN	29
3.1 Metode Pengumpulan Data	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	30
3.2.1 Alat Penelitian.....	30
3.2.2 Bahan Penelitian	31
3.3 Perancangan Percobaan	32
3.3.1 Variabel Penelitian.....	32
3.3.2 Kondisi Operasional Penelitian.....	32

3.3.3 Diagram Alir Percobaan.....	34
3.4 Hasil Percobaan dan Pengujian	35
3.4.1 Berat Endapan Serbuk Tembaga.....	35
3.4.2 Efisiensi Arus.....	35
3.4.3 Karakteristik Serbuk Tembaga.....	38
BAB IV PEMBAHASAN.....	42
4.1 Faktor Yang Paling Berpengaruh Pada Elektrolisis Serbuk Tembaga	42
4.2 Pengembangan Model Efisiensi Arus Pada Elektrolisis Serbuk Tembaga	44
4.3 Efisiensi Arus Hasil Model Serta Hubungannya Dengan Evolusi Gas Hidrogen Dan Ukuran Partikel Serbuk Tembaga	54
4.4 Karakteristik Serbuk Tembaga	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Karakteristik sifat fisika unsur tembaga (Cu)	8
Tabel 2. 2	Hasil <i>Design of Experiment (DOE)</i> menggunakan perangkat lunak minitab	21
Tabel 2. 3	Tabel rumus pengujian T (test)	28
Tabel 3. 1	Peralatan Percobaan	30
Tabel 3. 2	Peralatan Pengujian.....	31
Tabel 3. 3	Bahan Penelitian	31
Tabel 3. 4	Variabel Penelitian.....	32
Tabel 3. 5	Kondisi Operasional Penelitian	33
Tabel 3. 6	Kondisi Operasional Penelitian Untuk Digunakan pada Minitab.....	33
Tabel 3. 7	Perolehan Berat Serbuk tembaga hasil percobaan	35
Tabel 3. 8	Data Perolehan Nilai Efisiensi Arus	36
Tabel 3. 9	Data pemodelan efisiensi arus dalam perangkat lunak minitab.....	37
Tabel 3. 10	Perolehan Komsumsi Energi Yang Digunakan Dalam Percobaan	37
Tabel 3. 11	<i>Figure of Merit (FoM)</i> uji XRD pada suhu 100°C.....	38
Tabel 3. 12	<i>Weight ratio</i> uji XRD pada suhu 100°C	38
Tabel 3. 13	Hasil pengujian <i>Energy Dispersive X-Ray (%weight)</i>	40
Tabel 3. 14	Hasil pengujian <i>Energy Dispersive X-Ray (%atomic)</i>	40
Tabel 3. 15	Kondisi Operasional sampel yang digunakan uji PSA	41
Tabel 3. 16	Ukuran serbuk tembaga hasil uji PSA	41
Tabel 4. 1	Data DOE Yang Dihasilkan Menggunakan Perangkat Lunak Minitab.....	45
Tabel 4. 2	Output Data Hasil Anova Menggunakan Minitab	46
Tabel 4. 3	Perolehan Data Hasil Pengujian T (test).....	53
Tabel 4. 4	Morfologi Serbuk Tembaga Dalam Skala Mikro dan Makro.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sel Elektrolisis.....	12
Gambar 2. 2	<i>Geometric View</i>	21
Gambar 2. 3	Ilustrasi dari notasi faktorial desain 2^3	22
Gambar 2. 4	Histogram Normalitas Residual Minitab.....	26
Gambar 2. 5	Normal Probabilitas Plot	27
Gambar 3. 1	Diagram Alir Percobaan	34
Gambar 3. 2	Hasil Pengujian SEM pada efisiensi arus tinggi.....	39
Gambar 3. 3	Hasil Pengujian SEM pada efisiensi arus rendah	39
Gambar 4. 1	Grafik Konsumsi Energi vs Efisiensi Arus Yang Dihasilkan	43
Gambar 4. 2	Model Summary Yang Dihasilkan Melalui Minitab	46
Gambar 4. 3	Persamaan regresi hasil dari pengolahan minitab	47
Gambar 4. 4	Grafik Normal Plot Probabilitas.....	48
Gambar 4. 5	Tampilan pareto chart hasil pengolahan minitab.....	49
Gambar 4. 6	Residual plot for efisiensi arus	50
Gambar 4. 7	Normal probabilitas plot kolmogorov-smirnov.....	51
Gambar 4. 8	Tampilan coded coefficient yang diperoleh melalui minitab	52
Gambar 4. 9	Grafik Histogram Residual Plot Efisiensi Arus.....	52
Gambar 4. 10	Grafik Model Prediksi vs Real (hasil percobaan).....	54
Gambar 4. 11	Grafik Hubungan antara efisiensi arus dengan nilai evolusi gas H ₂ dan ukuran partikel.....	56
Gambar 4. 12	Grafik Hasil Pengujian XRD serbuk tembaga pada pemanasan suhu 100°C	57
Gambar 4. 13	Grafik Hasil Pengujian EDX Pada Efisiensi Arus Tinggi.....	60
Gambar 4. 14	Grafik Hasil Pengujian EDX Pada Efisiensi Arus Rendah	61
Gambar 4. 15	Hasil pengujian PSA untuk efisiensi arus rendah.....	62
Gambar 4. 16	Hasil pengujian PSA untuk efisiensi arus tinggi	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. 1	Gambar Alat dan Bahan Yang Digunakan Untuk Percobaan.....	69
Lampiran A. 2	Rangkaian Alat Elektrolisis Serbuk Tembaga	69
Lampiran A. 3	Gambar Alat Bahan Untuk Pembuatan Larutan Elektrolit	70
Lampiran B. 1	Tabel Spesifikasi Anoda Plat Tembaga dan Katoda <i>SS 316L</i>	70
Lampiran C. 1	Tabel Variasi Rapat Arus Yang Digunakan Dalam Percobaan	71
Lampiran C. 2	Tabel Hasil Perhitungan Konversi Konsentrasi Larutan	71
Lampiran C. 3	Tabel Hasil Perhitungan Konversi Molar ke Gram/liter.....	72
Lampiran D. 1	Serbuk tembaga hasil percobaan, a) Serbuk tembaga ukuran butiran halus, dan b) Serbuk tembaga ukuran butiran kasar.....	73
Lampiran D. 2	Hasil Gambar Scrapping Serbuk Tembaga.....	73
Lampiran D. 3	Proses Pengeringan Serbuk Tembaga Pada Suhu 100°C.....	74
Lampiran D. 4	Penimbangan Berat Serbuk Tembaga.....	74
Lampiran D. 5	<i>Screening</i> Serbuk Tembaga Yang Dihasilkan	74
Lampiran D. 6	Serbuk Tembaga Dengan Ukuran Kasar dan Halus	75
Lampiran E. 1	Tabel Data Hasil Perhitungan Efisiensi Arus	75
Lampiran E. 2	Tabel Data Hasil <i>Screening</i> Serbuk Tembaga	76
Lampiran E. 3	Tabel Volume Evolusi Gas Hidrogen.....	77
Lampiran F. 1	Gambar Tampilan Perangkat Lunak Minitab	77
Lampiran F. 2	Gambar Persamaan Regresi Hasil Perolehan Minitab	78
Lampiran F. 3	Tabel Distribusi Uji T	79
Lampiran G. 1	Gambar Hasil Mikroskop Optik Pada Efisiensi Arus Tinggi	79
Lampiran G. 2	Gambar Hasil Mikroskop Optik Pada Efisiensi Arus Rendah.....	80
Lampiran G. 3	Gambar Hasil Mikroskop Optik Pada Efisiensi Arus Tinggi	80
Lampiran G. 4	Gambar Hasil Pengujian SEM-EDX Pada Efisiensi Arus Tinggi.....	81
Lampiran G. 5	Gambar Hasil Pengujian SEM-EDX Pada Efisiensi Arus Rendah	81
Lampiran G. 6	Gambar Hasil Pengujian PSA Pada Sampel Efisiensi Arus Rendah	82
Lampiran G. 7	Gambar Data Hasil Uji PSA Pada Sampel Efisiensi Arus Rendah	83
Lampiran G. 8	Gambar Hasil Pengujian PSA Pada Sampel Efisiensi Arus Tinggi.....	84
Lampiran G. 9	Gambar Data Hasil Uji PSA Pada Sampel Efisiensi Arus Tinggi.....	85
Lampiran G. 10	Gambar Hasil Pengujian OES Dengan Mesin Uji ARL 3460	86