LAPORAN HASIL TESIS

Evaluasi Perbedaan Model Konfigurasi Elektroda, Konsumsi Energi Listrik dan Biaya Operasional Proses Elektrokoagulasi Air Gambut Menjadi Air Bersih

MUHAMMAD NADJAMUDDIN SYARIF HIDAYATULLAH

2420834310003

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARBARU

2026

LAPORAN HASIL TESIS

EVALUASI PERBEDAAN MODEL KONFIGURASI ELEKTRODA, KONSUMSI ENERGI LISTRIK DAN BIAYA OPERASIONAL PROSES ELEKTROKOAGULASI AIR GAMBUT MENJADI AIR BERSIH

MUHAMMAD NADJAMUDDIN SYARIF HIDAYATULLAH

2420834310003

Laporan Hasil Tesis

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

MAGISTER TEKNIK KIMIA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARBARU

2026

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK KIMIA

EVALUASI PERBEDAAN MODEL KONFIGURASI ELEKTRODA, KONSUMSI ENERGI LISTRIK DAN BIAYA OPERASIONAL PROSES ELEKTROKOAGULASI AIR GAMBUT MENJADI AIR BERSIH

Oleh:

Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah (2420834310003)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 9 Juli 2026 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji

Ketua	: Ir. Primata Mardina, S.T., M.Eng., Ph.D.	19/7-2026
	NIP. 198103242006042002	
Anggota 1	: Dr. Ir. Lailan Ni'mah, ST., M.Eng., IPM.	14/7-2026
	NIP. 198401192012122000003	
Anggota 2	: Ir. Hesti Wijayanti, ST., M. Eng., Ph.D., IPM.	15/7 2026
	NIP. 19800529 200501 2 003	
Pembimbing	: Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.	14/7 2026
Utama	NIP. 19760819 200312 1 001	
Pembimbing	: Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, ST., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.	14/7 2026
Pendamping	NIP. 198101122003121001	

Banjarbaru, ...

diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM

Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001

Koordinator Program Studi S-2 Teknik Kimia

Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D., IPM. ASEAN Eng.
NIP.19750404 200003 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama	: Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah
NIM	: 2420834310003
Program Studi	: Magister Teknik Kimia
Fakultas	: Teknik
Perguruan Tinggi	: Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis	: "**Evaluasi Perbedaan Model Konfigurasi Elektroda, Konsumsi Energi Listrik dan Biaya Operasional Proses Elektrokoagulasi Air Gambut Menjadi Air Bersih"**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, 15 Juli 2026

Yang membuat pernyataan

Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah
NIM. 2420834310003

RINGKASAN

Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah. 2026. Evaluasi Perbedaan Model Konfigurasi Elektroda, Konsumsi Energi Listrik dan Biaya Operasional Proses Elektrokoagulasi Air Gambut Menjadi Air Bersih. Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, ST., MT., IPM., ASEAN Eng.; Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, ST., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.

Air gambut merupakan sumber air permukaan yang melimpah di Indonesia, khususnya di Kalimantan, namun memiliki karakteristik kualitas yang rendah karena bersifat sangat asam (pH rendah), berwarna cokelat, serta mengandung kadar zat organik, kekeruhan, dan total padatan terlarut (TDS) yang tinggi sehingga belum memenuhi standar air bersih. Berbagai metode pengolahan telah diterapkan, tetapi masih memiliki keterbatasan dari sisi efisiensi maupun biaya operasional. Elektrokoagulasi menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan karena mampu menghilangkan berbagai kontaminan tanpa penambahan bahan kimia dalam jumlah besar. Namun, pengaruh konfigurasi elektroda terhadap efisiensi penyisihan polutan, konsumsi energi listrik, dan biaya operasional masih belum banyak dikaji secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi empat konfigurasi elektroda, *yaitu One Pair Electrode* (OPE), *Monopolar Parallel* (MP-P), *Monopolar Series* (MP-S), *dan Bipolar Series* (BP-S), untuk memperoleh konfigurasi yang paling efektif dan ekonomis dalam pengolahan air gambut.

Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan reaktor elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium. Variabel bebas yang dikaji meliputi konfigurasi elektroda, rapat arus sebesar 4–10 mA/cm², dan waktu reaksi 10–90 menit, sedangkan parameter respon yang diamati adalah pH, TDS, kekeruhan, warna, dan zat organik. Optimasi kondisi operasi dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) berbasis *Central Composite Design* (CCD**)** melalui perangkat lunak Design Expert versi 13. Model statistik divalidasi menggunakan analisis varians (ANOVA), kemudian dilakukan evaluasi kelayakan ekonomi berdasarkan konsumsi energi listrik, kehilangan massa elektroda, serta biaya operasional pada kondisi optimum masing-masing konfigurasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh konfigurasi elektroda mampu meningkatkan kualitas air gambut secara signifikan, namun menghasilkan tingkat efisiensi penyisihan, konsumsi energi, umur pakai elektroda, dan biaya operasional yang berbeda. Berdasarkan optimasi numerik menggunakan fungsi desirability, konfigurasi *Monopolar Parallel* (MPP) memberikan kondisi operasi optimum terbaik dengan nilai *desirability* sebesar 0,611. Konfigurasi ini menunjukkan keseimbangan terbaik antara peningkatan kualitas air dan aspek ekonomi proses, dengan biaya operasional terendah sebesar 0,2982 USD/m³ serta *lifetime* elektroda

selama 66 jam pada kondisi operasi optimum. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi MPP merupakan alternatif yang paling layak diterapkan dalam pengolahan air gambut karena mampu memberikan kinerja pengolahan yang efektif dengan konsumsi energi dan biaya operasi yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi elektroda lainnya, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan sebagai teknologi pengolahan air bersih yang efisien dan berkelanjutan.

SUMMARY

Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah. 2026. Evaluation of Electrode Configuration Models, Electrical Energy Consumption, and Operational Costs of the Electrocoagulation Process for Peat Water Treatment into Clean Water. Supervisors: Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, ST., MT., IPM., ASEAN Eng. and Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, ST., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.

Peat water is an abundant surface water resource in Indonesia, particularly in Kalimantan. However, its quality is generally poor due to its acidic nature (low pH), brown coloration, and high concentrations of organic matter, turbidity, and total dissolved solids (TDS), making it unsuitable for clean water use. Various treatment methods have been applied, but they often face limitations in terms of efficiency and operational costs. Electrocoagulation has emerged as a promising alternative because it can effectively remove contaminants without requiring large amounts of chemical additives. Nevertheless, the influence of electrode configuration on pollutant removal efficiency, electrical energy consumption, and operational costs has not been comprehensively investigated. Therefore, this study aimed to evaluate four electrode configurations, namely One Pair Electrode (OPE), Monopolar Parallel (MP-P), Monopolar Series (MP-S), and Bipolar Series (BP-S), to determine the most effective and economical configuration for peat water treatment.

The research was conducted experimentally using an electrocoagulation reactor equipped with aluminum electrodes. The independent variables investigated were electrode configuration, current density (4–10 mA/cm^2), and reaction time (10–90 minutes), while the response variables included pH, TDS, turbidity, color, and organic matter removal. Process optimization was carried out using Response Surface Methodology (RSM) based on a Central Composite Design (CCD) through Design Expert version 13 software. The statistical models were validated using Analysis of Variance (ANOVA), followed by an economic feasibility assessment based on electrical energy consumption, electrode mass loss, and operational costs under the optimum operating conditions of each electrode configuration.

The results demonstrated that all electrode configurations significantly improved peat water quality, although they exhibited different levels of pollutant removal efficiency, energy consumption, electrode lifetime, and operational costs. Based on numerical optimization using the desirability function, the Monopolar Parallel (MPP) configuration provided the best optimum operating condition with a desirability value of 0.611. This configuration achieved the most favorable balance between water quality improvement and process economics, resulting in the lowest operational cost of 0.2982 USD/m^3 and an electrode lifetime of 66 hours under optimum operating conditions. These findings indicate that the MPP configuration is the most feasible alternative for peat water treatment, as it provides effective treatment performance while maintaining lower energy consumption and

operational costs than the other electrode configurations, making it a promising technology for efficient and sustainable clean water production.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Muhammad Nadjamuddin Syarif Hidayatullah lahir di Banjarmasin, 8 Mei 2002. Anak kedua dari pasangan bapak M. Anshari dan Ibu Fahmalailani. Jenjang Pendidikan dasar dan menengan penulis ditempuh di SDIT Ukhuwah Banjarmasin (2008-2014) dan SMPIT Nurul Fikri Banjarmasin (2014-2017). Pendidikan tingkat atas penulis ditempuh di SMAN 2 Banjarmasin (2017 – 2020), kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat (2020-2024). Setelah menyelesaikan pendidikan sarjana, penulis melanjutkan studinya di Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat. Penelitian yang dilakukan penulis berfokus pada pengolahan lahan basah menjadi air bersih.

MUHAMMAD NADJAMUDDIN SYARIF HIDAYATULLAH

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **"Evaluasi Perbedaan Model Konfigurasi Elektroda, Konsumsi Energi Listrik dan Biaya Operasional Proses Elektrokoagulasi Air Gambut Menjadi Air Bersih".** Penulis juga menyampaikan terimakasih atas bantuan dan dukungannya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, S.T., M.Eng yang telah membantu dalam proses penyelesaian proposal penelitian tesis ini
2. Bapak dan Ibu dosen di lingkungan Program Studi Magister Teknik Kimia FT – ULM Banjarbaru.
3. Seluruh karyawan Program Studi Magister Teknik Kimia FT – ULM Banjarbaru.
4. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan.
5. Teman-teman seangkatan S-2 Teknik Kimia angkatan 2024 yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan pengolahan air gambut berbasis elektrokoagulasi. Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang sifatnya membangun dan konstruktif sangat kami perlukan dalam penyempurnaan hasil penelitianl ini.

Banjarbaru, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN iii
RINGKASAN iv
SUMMARY vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS viii
PRAKATA ix
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
Daftar Notasi xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.2 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **5**
1.3 Tujuan Penelitian **5**
1.4 Manfaat Penelitian **6**
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Air Gambut **7**
2.2 Karakteristik Air Gambut **8**
2.2.1 Kekeruhan 8
2.2.2 Warna 8
2.2.3 TDS 8
2.2.4 Zat Organik 9
2.3.5 pH 9
2.2 Electrocoagulation **10**
2.3 Konfigurasi Elektroda **12**
2.3.1 *One Pair Electrode* (OPE) 12
2.3.2 Bipolar (BP) 13
2.3.3 *Monopolar Series* (MP-S) 14
2.3.4 *Monopolar Parallel* (MP-P) 15
2.4 *Respons Surface Methodology* (RSM) **16**
2.5 State of The Art **17**
BAB III METODE PENELITIAN 20

3.1 Alat dan Bahan **20**
3.1.1 Alat dan Rangkaian Alat Elektrokoagulasi 20
3.1.2 Bahan 21
3.2 Lokasi Penelitian **21**
3.3 Rancangan Percobaan **22**
3.4 Variabel Penelitian **24**
3.4.1 Variabel Bebas 24
3.4.2 Variabel Terikat 24
3.5 Prosedur Penelitian **24**
3.5.1 Persiapan Sampel Air Gambut 24
3.5.2 Proses Elektrokoagulasi 24
3.5.3 Analisis Sampel Hasil Elektrokoagulasi 25
3.6 Optimasi Statistik **25**
3.6.1 Penentuan Respon dan Faktor 25
3.6.2 Desain of Experiment 25
3,6,3 Analisis Biaya Operasional 27
BAB IV PEMBAHASAN 29
4,1 Karakteristik Awal Air Gambut **29**
4,2 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Reaksi **30**
4.3 Optimasi Pengolahan Air Gambut menggunakan pendekatan CCD **54**
4,4 Analisa Biaya Operasional **93**
4.5. Optimasi Multi-Objektif dan Kelayakan Proses Menggunakan Metode Matriks Terbobot (TOPSIS) **97**
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 103
5.1 Kesimpulan **103**
5.2 Saran **104**
DAFTAR PUSTAKA 107
LAMPIRAN LP-1

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rentang Desain Eksperimen 19

Tabel 4.1 Karakterisasi Air Gambut 21

Tabel 4.2 Validasi Statistik OP 31

Tabel 4.3 Validasi Statistik MPP 32

Tabel 4.4 Validasi Statistik MPS 33

Tabel 4.5 Validasi Statistik BPS 34

Tabel 4.6 Validasi Model menggunakan ANOVA 37

Tabel 4.7 Validasi Model Aktual menggunakan ANOVA 38

Tabel 4.8 Pendekatan Statistik 52

Tabel 4.9 Kondisi Optimum 53

Tabel 4.10 Analisa Biaya Operasional 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Elektrokoagulasi..... 8

Gambar 3.1 Rangkaian Alat Elektrokoagulasi 13

Gambar 3.2 Perbedaan Model Konfigurasi Elektroda..... 14

Gambar 3.3 Rancangan Penelitian Proses Elektrokoagulasi 15

Gambar 3.4 Rancangan Optimasi Statistik Proses Elektrokoagulasi 16

Gambar 4.1 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Kontak pada Parameter Uji Konfigurasi OP (a) pH, (b) % Penyisihan TDS, (c) % Penyisihan Kekeruhan, (d) % Penyisihan Warna dan (e) % Penyisihan Zat Organik..... 24

Gambar 4.2 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Kontak pada Parameter Uji Konfigurasi MPP (a) pH, (b) % Penyisihan TDS, (c) % Penyisihan Kekeruhan, (d) % Penyisihan Warna dan (e) % Penyisihan Zat Organik..... 25

Gambar 4.3 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Kontak pada Parameter Uji Konfigurasi MPS (a) pH, (b) % Penyisihan TDS, (c) % Penyisihan Kekeruhan, (d) % Penyisihan Warna dan (e) % Penyisihan Zat Organik..... 26

Gambar 4.4 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Kontak pada Parameter Uji Konfigurasi BPS (a) pH, (b) % Penyisihan TDS, (c) % Penyisihan Kekeruhan, (d) % Penyisihan Warna dan (e) % Penyisihan Zat Organik..... 27

Gambar 4.5 Grafik *Predicted vs. Actual* dan tampilan 3D konfigurasi OP: (a) % Penyisihan TDS, (b) % Penyisihan Kekeruhan, (c) % Penyisihan Warna, dan (d) % Penyisihan Zat Organik..... 34

Gambar 4.6 Grafik *Predicted vs. Actual* dan tampilan 3D konfigurasi MPP: (a) % Penyisihan TDS, (b) % Penyisihan Kekeruhan, (c) % Penyisihan Warna, dan (d) % Penyisihan Zat Organik. 36

Gambar 4.7 Grafik *Predicted vs. Actual* dan tampilan 3D konfigurasi MPS: (a) % Penyisihan TDS, (b) % Penyisihan Kekeruhan, (c) % Penyisihan Warna, dan (d) % Penyisihan Zat Organik. 38

Gambar 4.8 Grafik *Predicted vs. Actual* dan tampilan 3D konfigurasi BPS: (a) % Penyisihan TDS, (b) % Penyisihan Kekeruhan, (c) % Penyisihan Warna, dan (d) % Penyisihan Zat Organik 40

Gambar 4.9 Perbandingan berat elektroda yang hilang..... 42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan LP-1

A.1 Perhitungan Perubahan Ph ……. LP-1

A.2 Perhitungan Penyisihan TDS ……. LP-1

A.3 Perhitungan Penyisihan *Turbidity* …….. LP-5

A.4 Perhitungan Penyisihan Warna …… LP-9

A.5 Perhitungan Penyisiahn Zat Organik ……... LP-13

A.6 Perhitungan Kuat Arus …… LP-17

A.7 Perhitungan Actual Equation …….. LP-18

A.8 Perhitungan Biaya Operasional ……... LP-21

A.9 Design of Experiment ……. LP-24

Lampiran B Dokumentasi Penelitian ……. LP-27

B.1 Pengambilan Sampel Air Gambut ……... LP-27

B.2 Pembuatan Reaktor Elektrokoagulasi ……. LP-28

B.3 Perangkaian Alat ……. LP-29

B.4 Proses Elektrokoagulasi …….. LP-30

B.5 Hasil Sampel Air ……. LP-32

Lampiran C Alur Penggunaan Design-Expert 13 untuk RSM……. LP-33

Daftar Notasi

A	= Luas permukaan elektroda efektif
C_0	= Konsentrasi awal polutan
C_e	= Konsentrasi akhir polutan
d	= Jarak antar elektroda
E	= Energi listrik
F	= Konstanta Faraday
I	= Kuat arus listrik
J	= Rapat arus listrik
M	= Massa elektroda terlarut
n	= Jumlah pelat elektroda
pH	= Derajat keasaman
Q	= Debit air
R^2	= Koefisien determinasi
t	= Waktu reaksi
U	= Tegangan listrik
V	= Volume sampel
Y	= Respon
η	= Efisiensi penurunan polutan
λ	= Panjang gelombang
σ	= Standar deviasi
ANOVA	= *Analysis of Variance*

CCD = *Central Composite Design*

COD = *Chemical Oxygen Demand*

EC = *Electrocoagulation*

MP-P = *Monopolar-Parallel*

MP-S = *Monopolar-Series*

OPE = *One-Pair Electrode*

RSM = *Response Surface Methodology*

TDS = *Total Dissolved Solids*

TOC = *Total Organic Carbon*

TSS = *Total Suspended Solids*