

**PEMODELAN PREDIKSI AKUMULASI LOGAM
BERAT Cu^{2+} (TEMBAGA) PADA *HYDRILLA*
VERTICILLATA DAN *MYRIOPHYLLUM*
AQUATICUM MENGGUNAKAN LIMBAH
INDUSTRI PELAPISAN LOGAM**

SKRIPSI



Oleh:

NURIL IZZAH

21034010042

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

**PEMODELAN PREDIKSI AKUMULASI LOGAM BERAT Cu^{2+}
(TEMBAGA) PADA *HYDRILLA VERTICILLATA* DAN
MYRIOPHYLLUM AQUATICUM MENGGUNAKAN LIMBAH
INDUSTRI PELAPISAN LOGAM**

SKRIPSI

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

Diajukan Oleh:

NURIL IZZAH

21034010042

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

SURABAYA

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMODELAN PREDIKSI AKUMULASI LOGAM BERAT Cu^{2+} (TEMBAGA) PADA *HYDRILLA VERTICILLATA* DAN *MYRIOPHYLLUM AQUATICUM* MENGGUNAKAN LIMBAH INDUSTRI PELAPISAN LOGAM

Disusun Oleh :

Nuril Izzah

NPM: 21034010042

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Aussie Amalia, ST., MSc.

NPT: 17219921124059

Syadzadhiya Oothrunada

Zakiyavasin Nisa', ST., MT.

NPT: 21219940930296

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jarivah., MP

NIP. 19504031991032001

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN PREDIKSI AKUMULASI LOGAM BERAT Cu^{2+} (TEMBAGA) PADA *HYDRILLA VERTICILLATA* DAN *MYRIOPHYLLUM AQUATICUM* MENGGUNAKAN LIMBAH INDUSTRI PELAPISAN LOGAM

Disusun Oleh :

Nuril Izzah

NPM: 21034010042

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal
Serambi Engineering (Terakreditasi Sinta 4)

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

TIM PENGUJI

1. Ketua

Aussie Amalia, ST., MSc.
NPT: 17219921124059

Fira Rosariawari, ST., MT
NIP. 19750409 202121 2 004

Dosen Pembimbing II

2. Anggota

Syadzadhiya Oothrunada
Zakiyayasin Nisa', ST., MT.
NPT: 21219940930296

Ir. Tohu Agung Rahmanto, MT.
NIP: 19620501 198803 1 001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Bra. Jarivah, MP
NIP. 1950403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

**PEMODELAN PREDIKSI AKUMULASI LOGAM BERAT Cu^{2+}
(TEMBAGA) PADA *HYDRILLA VERTICILLATA* DAN
MYRIOPHYLLUM AQUATICUM MENGGUNAKAN LIMBAH
INDUSTRI PELAPISAN LOGAM**

Disusun Oleh :

Nuril Izzah
NPM: 21034010042

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 28 November 2025

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA

Fira Rosariawati., ST., MT
NIP. 19750409 202121 2 004

Ir. Tuhu Agung Rahmanto, MT.
NIP: 19620501 198803 1 001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Nuril Izzah
NPM	: 21034010042
Program	: Sarjana (S1)
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Fakultas	: Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi 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 ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi 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, 28 November 2025



Nuril Izzah

NPM. 21034010042

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemodelan Prediksi Akumulasi Logam Berat Cu²⁺ (Tembaga) pada *Hydrilla verticillata* dan *Myriophyllum aquaticum* Menggunakan Limbah Industri Pelapisan Logam”**. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar sarjana pendidikan bagi mahasiswa program S1 pada Program studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rosariawari., ST., MT selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan.
3. Aussie Amalia, ST., MSc. dan Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa', ST., MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan maupun kritik dan saran bimbingan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu dosen dan staff Program Studi Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu selama melaksanakan perkuliahan.
5. Keluarga dan sahabat yang saya harapkan selalu berbahagia dan diberikan kesehatan oleh Allah SWT.

6. Teman-teman khususnya angkatan 2021 serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Tugas akhir ini telah diupayakan semaksimal mungkin, namun penulis menyadari masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan tugas akhir ini agar dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi masukan untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, 28 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
ABSTRAK	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Cair Industri Pelapisan Logam	5
2.2 Logam Berat (<i>Heavy Metal</i>) Tembaga (Cu).....	7
2.3 Metode Pengolahan Limbah Secara Biologis	9
2.4 Tumbuhan Hiperakumulator	13
2.4.1 <i>Hydrilla verticillata</i>	16
2.4.2 <i>Myriophyllum Aquaticum</i>	17
2.5 Natrium Bikarbonat.....	20
2.6 Pemodelan Matematika.....	21
2.7 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Kerangka Penelitian	27
3.2 Bahan dan Alat	29
3.3 Cara Kerja	30
3.3.1 Penelitian Pendahuluan	30
3.3.2 Penelitian Utama	31
3.4 Variabel	32
3.5 Analisis.....	37
3.5.1 Analisis Parameter	37

3.5.2	Analisa Data dan Pembahasan	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Karakteristik Air Limbah	40
4.2	Penelitian Pendahuluan	40
4.2.1	<i>Range Finding Test</i> (RFT).....	40
4.2.2	Aklimatisasi.....	41
4.3	Penurunan Kadar Tembaga (Cu^{2+}) Pada Air Limbah Berdasarkan Jenis Tumbuhan.....	44
4.3.1	Pengolahan Air Limbah Pelapisan Logam dengan <i>Hydrilla verticillata</i>	45
4.3.2	Pengolahan Air Limbah Pelapisan Logam dengan <i>Myriophyllum aquaticum</i>	55
4.4	Analisis Kadar Tembaga (Cu^{2+}) pada Tumbuhan	65
4.4.1	Kadar Tembaga (Cu^{2+}) pada <i>Hydrilla verticillata</i>	65
4.4.2	Kadar Tembaga (Cu^{2+}) pada <i>Myriophyllum aquaticum</i>	66
4.5	Model Matematika	67
4.6.1	Model Matematika pada Pengolahan dengan <i>Hydrilla verticillata</i> ..	68
4.6.2	Model Matematika pada Pengolahan dengan <i>Myriophyllum aquaticum</i>	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN A HASIL ANALISIS.....		82
LAMPIRAN B PERHITUNGAN.....		85
LAMPIRAN C DOKUMENTASI		89
LAMPIRAN D DATA PENDUKUNG		91

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Industri Pelapisan Logam di Yogyakarta	6
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Industri Pelapisan Logam	7
Tabel 2. 3 Klasifikasi <i>Hydrilla verticillata</i>	17
Tabel 2. 4 Klasifikasi <i>Myriophyllum aquaticum</i>	18
Tabel 3. 1 Variasi Perbandingan Berat air dan Berat Tumbuhan.....	32
Tabel 3. 2 Matriks Variabel Penelitian	34
Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Air Limbah Pelapisan Logam	40
Tabel 4. 2 Kondisi <i>Hydrilla verticillata</i> Setiap Hari Selama Aklimatisasi	42
Tabel 4. 3 Kondisi <i>Myriophyllum aquaticum</i> Setiap Hari Selama Aklimatisasi ..	43
Tabel 4. 4 Nilai Kadar Cu^{2+} Pada Air Limbah Menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> Setelah Proses Fitoremediasi.....	46
Tabel 4. 5. Hasil Analisis Statistika pada Pengaruh Berat <i>Hydrilla verticillata</i>	53
Tabel 4. 6 Nilai Kadar Cu^{2+} Pada Air Limbah Menggunakan <i>Myriophyllum aquaticum</i> Setelah Proses Fitoremediasi	55
Tabel 4. 7. Hasil Analisis Statistika pada Pengaruh Berat <i>Myriophyllum aquaticum</i>	62
Tabel 4. 8 Kadar Tembaga (Cu^{2+}) pada <i>Hydrilla verticillata</i>	65
Tabel 4. 9 Kadar Tembaga (Cu^{2+}) pada <i>Myriophyllum aquaticum</i>	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan Proses Industri Pelapisan Logam.....	6
Gambar 2. 2 Interaksi mikroba dengan logam berat dapat terjadi melalui berbagai mekanisme.....	12
Gambar 2. 3 Morfologi <i>Hydrilla verticillata</i>	17
Gambar 2. 4 Morfologi <i>Myriophyllum aquaticum</i>	18
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Desain Reaktor	33
Gambar 4. 1 Range Finding Test Uji Pendahuluan pada <i>Hydrilla verticillata</i> , (a) Hari ke-1 (b) Hari ke-7.....	41
Gambar 4. 2 RFT Range Finding Test Uji Pendahuluan pada <i>Myriophyllum aquaticum</i> , (a) Hari ke-1; (b) Hari ke-7	41
Gambar 4. 3 Endapan Akibat Penambahan NaHCO_3 pada Reaktor Kontrol.....	45
Gambar 4. 4. Efisiensi Removal Cu^{2+} Berdasarkan Perlakuan Kontrol dan Berat <i>Hydrilla verticillata</i> pada Waktu Tinggal 5, 10, dan 15 Hari	51
Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Cu^{2+} Berdasarkan Perlakuan Kontrol dan Berat <i>Myriophyllum aquaticum</i> pada Waktu Tinggal 5, 10, dan 15 Hari.....	61

ABSTRAK

Hydrilla verticillata dan *Myriophyllum aquaticum* merupakan tumbuhan air invasif yang mampu tumbuh cepat serta mengakumulasi logam berat, sehingga berpotensi dimanfaatkan dalam pengolahan air limbah melalui fitoremediasi. Limbah cair industri pelapisan logam diketahui mengandung tembaga (Cu^{2+}), yang bersifat toksik bagi makhluk hidup apabila tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh berat *Hydrilla verticillata* dan *Myriophyllum aquaticum* terhadap penyerapan Cu^{2+} , membandingkan efektivitas keduanya, serta memodelkan akumulasi Cu^{2+} sebagai agen fitoremediasi. Percobaan dilakukan pada reaktor laboratorium berkapasitas 5 liter menggunakan limbah pelapisan logam yang ditambahkan NaHCO_3 sebagai variabel tetap selama 15 hari, dengan tahap aklimatisasi dan uji toksisitas awal (*Range Finding Test*). Variasi berat pada *Hydrilla verticillata* yaitu 75g, 100g, dan 125g. Sedangkan pada *Myriophyllum aquaticum* adalah 15g, 30g, dan 45g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* mampu menurunkan konsentrasi Cu^{2+} hingga 99,05% pada berat 125g dalam 15 hari, sedangkan *Myriophyllum aquaticum* menurunkan hingga 95,72% pada berat 45g dalam 15 hari. Hal ini menunjukkan bahwa berat *Hydrilla verticillata* dan *Myriophyllum aquaticum* secara signifikan memengaruhi penurunan tembaga (Cu^{2+}) dalam air limbah industri pelapisan logam dan efektivitas *Hydrilla verticillata* lebih tinggi dalam mempercepat penurunan Cu^{2+} . Model matematika yang diperoleh juga terbukti reliabel, dengan nilai $R^2 = 89,3\%$ dan $R^2(\text{adj}) = 85,7\%$ pada *Hydrilla verticillata* ($\text{ME} = 0,879$; $\text{MANE} = 0,0062$) serta $R^2 = 93,2\%$ dan $R^2(\text{adj}) = 91\%$ pada *Myriophyllum aquaticum* ($\text{ME} = 0,92$; $\text{MANE} = 0,0037$), seluruhnya memenuhi uji asumsi dasar dengan error prediksi sangat rendah.

Kata Kunci: *Hydrilla verticillata*, *Myriophyllum aquaticum*, Fitoremediasi, Limbah Pelapisan Logam, Tembaga (Cu^{2+}), Model Matematika

ABSTRACT

Hydrilla verticillata and *Myriophyllum aquaticum* are invasive aquatic plants that are able to grow quickly and accumulate heavy metals, so they have the potential to be used in wastewater treatment through phytoremediation. Waste water from the metal coating industry is known to contain copper (Cu^{2+}), which is toxic to living things if not treated properly. This study aims to analyze the influence of *Hydrilla verticillata* and *Myriophyllum aquaticum* biomass on Cu^{2+} uptake, compare the effectiveness of both, and model Cu^{2+} accumulation as a phytoremediation agent. The experiment was conducted on a 5-liter capacity laboratory reactor using NaHCO_3 as constant variable, added metal coating waste for 15 days, with an acclimatization stage and a preliminary toxicity test (Range Finding Test). The weight variations in *Hydrilla verticillata* are 75g, 100g, and 125g. Meanwhile, *Myriophyllum aquaticum* is 15g, 30g, and 45g. The results showed that *Hydrilla verticillata* was able to reduce Cu^{2+} concentration by up to 99.05% at 125g biomass in 15 days, while *Myriophyllum aquaticum* decreased by up to 95.72% at 45g biomass in 15 days. This shows that the weight of *Hydrilla verticillata* and *Myriophyllum aquaticum* significantly affects the decline of copper (Cu^{2+}) in the wastewater of the metalworking industry and that the effectiveness of *Hydrilla verticillata* is higher in accelerating Cu^{2+} decline. The mathematical model obtained was also proven to be reliable, with values of $R^2 = 89.3\%$ and $R^2(\text{adj}) = 85.7\%$ in *Hydrilla verticillata* ($\text{ME} = 0.879$; $\text{MANE} = 0.0062$) and $R^2 = 93.2\%$ and $R^2(\text{adj}) = 91\%$ in *Myriophyllum aquaticum* ($\text{ME} = 0.92$; $\text{MANE} = 0.0037$), all of which meet the basic assumption test with very low prediction errors.

Keywords: *Hydrilla verticillata*, *Myriophyllum aquaticum*, Phytoremediation, Metal Coating Waste, Copper (Cu^{2+}), Mathematical Model