

TUGAS AKHIR

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SASIRANGAN UNTUK MENURUNKAN COD DAN WARNA MENGGUNAKAN PROSES *HYBRID* KOAGULASI- ULTRAFILTRASI *HOLLOW FIBER* DENGAN KOAGULAN TANAH LEMPUNG GAMBUT

Diajukan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lambung
Mangkurat

Dibuat:

Muhammad Zainul Ihsan

NIM. 2210815210016

Pembimbing

Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T.

NIP.19740107 199802 1 001



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU**

LEMBAR PENGESAHAN

**TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK LINGKUNGAN
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SASIRANGAN UNTUK MENURUNKAN COD
DAN WARNA MENGGUNAKAN PROSES HYBRID KOAGULASI
ULTRAFILTRASI HOLLOW FIBER DENGAN KOAGULAN TANAH LEMPUNG
GAMBUS**

Oleh

Muhammad Zainul Ihsan (2210815210016)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada Juli 2026 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji:

Ketua : Dr. Ir. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si., M.T.
198708282012122001

Anggota 1 : Chairul Abdi, S.T., M.T.
197807122012121002

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T.
197401071998021001

Banjarbaru, 30 JUL 2026

Diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,**

**Ketua Jurusan Program Studi
S-1 Teknik Lingkungan**



Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 19740107 199802 1 001

Dr. Rizqi Puteri Mahyudin, S.Si., M.S.
NIP. 19870828 201212 2 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik apapun, baik di Universitas Lambung Mangkurat maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas mencantumkan daftar rujukan.
4. Program *software computer* yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Lambung Mangkurat (apabila menggunakan *software* khusus).
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya sudah bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah saya peroleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Banjarbaru, Juli 2026



Muhammad Zainul Ihsan

NIM. 2210815210016

ABSTRAK

Limbah cair sasirangan (LCS) memiliki kandungan COD dan warna yang tinggi sehingga dapat mencemari lingkungan. Pengolahan menggunakan proses ultrafiltrasi *hollow fiber* (UF-HF) dapat menurunkan parameter COD dan warna pada LCS. Namun diperlukan *pre-treatment* yaitu koagulasi agar dapat mengurangi *fouling* yang terjadi pada membran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi operasi optimum proses *hybrid* koagulasi UF-HF dalam mereduksi COD dan warna pada LCS serta menganalisis model *fouling* paling akurat dalam merepresentasikan mekanisme *fouling* yang terjadi. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan proses koagulasi sebagai *pre-treatment* yang dikombinasikan dengan membran UF-HF sistem *crossflow*. Pemodelan *fouling* dianalisis menggunakan *Modified Fouling Index* (MFI), *Pore Blocking*, dan Kurva Saturasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik awal LCS memiliki pH 12,37, warna 1513 Pt-Co, COD 1910 mg/L, dan rasio E_4/E_6 sebesar 1,515. TLG memiliki pH 2,21 serta mengandung gugus fungsi alkil halida, alkena, alkil amina, C–O, alifatik C–N, karboksilat, amina, amida, fenol, dan alkohol. Membran UF-HF memiliki permeabilitas sebesar 25,956 L/m².jam.bar. Kondisi operasi optimum diperoleh pada proses koagulasi dua-tahap dengan rasio pembubuhan dosis 2/3 dan 1/3 menggunakan dosis koagulan 18 g/L pada pH 10 serta tekanan operasi membran 1,5 bar. Model kurva saturasi merupakan model *fouling* yang paling sesuai dengan nilai koefisien determinasi (R^2) mencapai 1 pada tekanan 1,5; 2; dan 2,5 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *hybrid* koagulasi dan UF-HF menggunakan TLG berpotensi diterapkan sebagai alternatif pengolahan LCS yang efektif.

Kata kunci: COD, *fouling* membran, koagulasi, limbah cair sasirangan, ultrafiltrasi *hollow fiber*, warna.

ABSTRACT

Sasirangan wastewater (SWW) contains high concentrations of chemical oxygen demand (COD) and color, which can cause environmental pollution if discharged without proper treatment. Treatment using a hollow fiber ultrafiltration (UF-HF) process has the potential to reduce COD and color in SWW. However, a coagulation pre-treatment is required to minimize membrane fouling. This study aimed to determine the optimum operating conditions of a hybrid coagulation–UF-HF process for reducing COD and color in SWW, as well as to identify the fouling model that most accurately represents the fouling mechanism occurring during membrane filtration. The study was conducted experimentally by combining coagulation as a pre-treatment with a crossflow UF-HF membrane system. Membrane fouling was analyzed using the Modified Fouling Index (MFI), Pore Blocking Model, and Saturation Curve Model. The results showed that the initial characteristics of SWW were pH 12,37, color of 1,513 Pt-Co, COD of 1910 mg/L, and an E_4/E_6 ratio of 1,515. Peat clay soil (Tanah Lempung Gambut, TLG) had a pH of 2,21 and contained alkyl halide, alkene, alkyl amine, C–O, aliphatic C–N, carboxylate, amine, amide, phenol, and alcohol functional groups. The UF-HF membrane exhibited a hydraulic permeability of 25,956 L/m².h.bar. The optimum operating condition was achieved using a two-stage coagulation process with a 2/3–1/3 coagulant dosing ratio, a coagulant dosage of 18 g/L, an initial pH of 10, and a membrane operating pressure of 1,5 bar. The Saturation Curve Model was found to be the most suitable fouling model, with a coefficient of determination (R^2) of 1 at operating pressures of 1,5, 2,0, and 2,5 bar. These findings indicate that the hybrid coagulation and UF-HF process using TLG has considerable potential as an effective alternative for the treatment of SWW.

Keywords: COD, coagulation, color, hollow fiber ultrafiltration, membrane fouling, sasirangan wastewater,

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT karena berkat-Nya dapat Menyusun dan menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengolahan Limbah Cair Sasirangan untuk Menurunkan COD dan Warna Menggunakan Proses *Hybrid* Koagulasi-Ultrafiltrasi *Hollow fiber* dengan Koagulan Tanah Lempung Gambut”. Penulisan skripsi ini tentunya mendapatkan arahan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Yang teristimewa dan tersayang ibu penulis, satu-satunya orang tua yang penulis miliki, yang selalu mendampingi dan mengusahakan segalanya dalam do'a maupun perbuatan, yang selalu kuat dan sabar serta tabah atas segala keadaan. Terima kasih atas segala kasih sayang, kekuatan, dan pengorbanan untuk penulis.
3. Yang selalu dirindukan ayah penulis yang telah berpulang di tahun terakhir penulis menempuh pendidikan. Terimakasih untuk tetap kuat dan berkorban agar penulis tetap melanjutkan perjuangannya. Maaf atas ketidak hadirannya penulis di saat terakhir ayah berada di dunia. Kasih sayang dan do'a akan selalu penulis panjatkan untuk ayah.
4. Kakak-kakak penulis yang telah membantu dan mendukung penulis sampai di detik sekarang.

5. Bapak Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing dan memfasilitasi dalam penyusunan skripsi dan proses penelitian.
6. Ibu Dr. Ir. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si., M.T. dan Bapak Chairul Abdi, S.T., M.T. selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan masukan dan saran selama penyusunan skripsi.
7. Bapak Muhammad Syahirul Alim, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik penulis yang telah memberikan masukan dan arahan selama penulis menempuh studi.
8. Ibu Dr. Rizqi Puteri Mahyudin, S.Si., M.S. selaku Koordinator Jurusan S-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.
9. Dosen dan staff administrasi Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
10. Rekan seperjuangan, se-daerah, dan se-tim topik penelitian, dari masa SMA penulis sampai masa perkuliahan, Ishlahuddin Alhikami, terimakasih telah kebersamai dan bersedia selalu membantu penulis sampai menyelesaikan studi.
11. Teman-teman Zaki House yaitu Ishlah, Mahar, Dapa, Iqbal, Zaki, Basyir, Adam, Nilam, Helen, Raghil, dan Salsa yang telah menemani, kebersamai 24/7 selama penulis berkuliah dan menjadi rumah kedua penulis di perantauan.
12. Teman-teman Liburan kemana Kita? (Hanim, Alya, Dhiyaaul, Dapa, Nina), DAGRI 2025 (Ningrum, Dapa, Hanim, Rafy, Akin, Fadli), Hmmm (Saski, Nisa, Nabella, Bila), dan Bimbel GO (Najma dan Syifa) yang telah hadir dan menjadi bagian dalam cerita penulis selama masa perkuliahan.

13. Ishlah, Basyir, Naufal, Ridho, Nabella, Lailatul, teman satu payung penelitian penulis, terima kasih atas kerja sama, kebersamaan selama penelitian berlangsung, dan bantuan yang diberikan kepada penulis dan telah meyakinkan penulis untuk mengambil topik penelitian membran meskipun penulis tidak mengambil mata kuliah membran.
14. Seluruh teman-teman Teknik Lingkungan 2022 a.k.a Geonel 2022 yang telah kebersamainya selama 4 tahun di masa perkuliahan.
15. Laptop lenovo dan Mio Soul GT Hijau punya penulis yang selalu kuat dan bertahan sampai penulis menyelesaikan studinya di perantauan, kekurangan, kerusakan, dan segala ceritanya akan selalu penulis kenang dan ingat selamanya.
16. Diri sendiri yaitu Muhammad Zainul Ihsan yang telah bertahan dengan segala tantangan. Yang selalu kuat dan bersabar selama masa perkuliahan sampai selesai. Terima kasih karena selalu ingin belajar dan terbuka untuk hal-hal baru yang sebelumnya mungkin terasa asing dan tidak mudah. Pencapaian ini sebagai pengingat penulis di masa depan bahwa segala perjuangan ini layak diperjuangkan, dan telah dilakukan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Penulis menerima kritik, saran dan masukan yang membangun demi kebermanfaatan skripsi ini. Akhir kata demikian dan terima kasih.

Banjarbaru, Juli 2026



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Limbah Cair Sasirangan.....	7
2.2. Koagulasi	10
2.2.1 Koagulan Organik	13
2.2.2 Koagulan Anorganik.....	15
2.3. Tanah Lampung Gambut.....	16
2.4. Teknologi Membran	18
2.5. Membran Ultrafiltrasi <i>Hollow fiber</i>	20
2.6. Analisis Pembentukan <i>Fouling</i> Membran	23

2.7. Studi Pustaka	25
2.8. Hipotesis	27
III. METODE PENELITIAN	28
3.1. Rancangan Penelitian	28
3.1.1 Variabel Penelitian	29
3.1.2 Kerangka Penelitian.....	30
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian	31
3.3.1 Bahan Penelitian.....	31
3.3.2 Peralatan Penelitian.....	31
3.4. Prosedur Penelitian	32
3.4.1 Pengambilan Sampel LCS dan TLG	32
3.4.2 Preparasi TLG dan Membran UF-HF	33
3.4.3 Karakteristik LCS, TLG, dan Membran UF-HF	34
3.4.4 <i>Pre-treatment</i> dengan Koagulasi Menggunakan Koagulan TLG untuk Penentuan pH dan Dosis Optimum.....	35
3.4.5 Percobaan <i>Hybrid</i> Koagulasi dengan Membran UF-HF	36
3.5. Teknik Pengumpulan Data	37
3.5.1 Data Primer	37
3.5.2 Data Sekunder	38
3.6. Analisis Data.....	39
3.6.1 Analisis Dosis Optimum dan Kondisi Optimum Koagulasi	40
3.6.2 Analisis Permeabilitas Membran UF-HF	40
3.6.3 Analisis Kondisi Optimum pada Membran UF-HF (Selektivitas Membran).....	41

3.6.4	Pemodelan <i>Fouling</i> Membran	41
IV.	PEMBAHASAN	42
4.1.	Karakteristik Limbah Cair Sasirangan.....	42
4.2.	Karakterisasi Koagulan Tanah Lempung Gambut	45
4.3.	Karakterisasi Membran Ultrafiltrasi <i>Hollow fiber</i>	50
4.3.1	Permeabilitas Membran Ultrafiltrasi <i>Hollow Fiber</i>	50
4.3.2	Morfologi Membran Ultrafiltrasi Hollow Fiber	52
4.4.	Proses <i>Hybrid Pre-treatment</i> Koagulasi dan Membran Ultrafiltrasi <i>Hollow fiber</i> 53	
4.4.1	Proses <i>Pre-treatment</i> Koagulasi Satu-Tahap.....	54
4.4.2	Proses <i>Pre-treatment</i> Koagulasi Dua-Tahap	57
4.4.3	Proses <i>Hybrid</i> Koagulasi dan Membran UF-HF.....	59
4.5.	Pemodelan <i>Fouling</i> Membran Ultrafiltrasi <i>Hollow fiber</i>	69
V.	PENUTUP	78
5.1.	Kesimpulan	78
5.2.	Saran	78
	DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik LCS	9
Tabel 2. 2 Karakteristik Membran dengan Driving Force Perbedaan Tekanan....	19
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan Karakterisasi Membran UF-HF	28
Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan Koagulasi Menggunakan Koagulan TLG	28
Tabel 3. 3 Rancangan Percobaan Aplikasi Membran UF-HF	29
Tabel 3. 4 Jenis Data Primer	38
Tabel 3. 5 Jenis Data Sekunder	38
Tabel 3. 6 Analisis Karakteristik, Metode, dan peralatan	39
Tabel 4. 1 Karakteristik LCS Hasil Penelitian dan dari Sumber lain	42
Tabel 4. 2 Spektrum Infra Merah Hasil Pengujian FTIR	46
Tabel 4. 3 Nilai MFI pada Hybrid Koagulasi dan UF-HF	70
Tabel 4. 4 Nilai Pore Blocking pada Hybrid Koagulasi UF-HF	72
Tabel 4. 5 Nilai Kurva Saturasi pada Hybrid Koagulasi UF-HF	74
Tabel 4. 6 Perbandingan Pemodelan	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Penelitian	30
Gambar 3. 2 Lokasi Pengambilan Sampel Koagulan TLG di Desa Tatakan, Kab. Tapin	33
Gambar 3. 3 (a) Alat UF-HF Tampak Depan; (b) Alat UF-HF Tampak Belakang	34
Gambar 3. 4 Skema proses UF-HF ((1) Tangki umpan, (2) <i>Valve</i> , (3) Pompa <i>booster</i> , (4) Manometer, (5) Membran <i>Hollow fiber</i> , (6) Rotameter, (7) Permeat, (8) Arah retentat, (9) Hasil <i>backwash</i>	37
Gambar 4. 1 Limbah Cair Sasirangan (LCS).....	42
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Uji FTIR Koagulan TLG Sebelum Koagulasi	46
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji FTIR Koagulan TLG setelah Koagulasi.....	49
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Fluks Akuades terhadap Tekanan Operasi	51
Gambar 4. 5 Hasil Uji SEM Membran HF: (a)Penampang permukaan (perbesaran 500x) (b)Penampang melintang (perbesaran 100x)	52
Gambar 4. 6 Pengaruh Variasi pH terhadap Nilai pH Akhir, Warna, dan COD pada Proses <i>Pre-treatment</i> Koagulasi Satu-Tahap	54
Gambar 4. 7 Pengaruh Variasi Dosis Koagulan terhadap Penyisihan COD dan Warna pada Proses <i>Pre-treatment</i> Koagulasi Satu Tahap	56
Gambar 4. 8 Pengaruh Variasi Rasio Pembubuhan Dosis Koagulan terhadap Penyisihan COD dan Warna pada Proses <i>Pre-treatment</i> Koagulasi Dua-Tahap	58
Gambar 4. 9 Hubungan Nilai Fluks Permeat LCS Proses <i>Hybrid</i> Koagulasi UF-HF terhadap Waktu	60
Gambar 4.10 Grafik Nilai pH Akhir dan Rasio E_4/E_6 terhadap Variasi Tekanan pada Proses <i>Hybrid</i> Koagulasi UF-HF.....	61

Gambar 4. 11 Grafik Tingkat Penyisihan COD, Warna, dan Koefisien Rejeksi COD, Warna terhadap Variasi Tekanan pada Proses <i>Hybrid</i> Koagulasi UF-HF .	63
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Fluks Akuades, Fluks Kontrol, dan Fluks LCS proses <i>Hybrid</i> Koagulasi UF-HF pada Tekanan Optimum 1,5 Bar terhadap Waktu	66
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Penyisihan COD dan Warna pada Proses UF-HF Menggunakan Tekanan Optimum 1,5 Bar pada LCS Kontrol dan LCS Hybrid	67
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Rasio E4/E6 dan pH akhir setelah Proses Hybrid UF-HF pada Tekanan 1,5 Bar pada LCS Kontrol dan LCS Hybrid	68
Gambar 4. 15 Grafik Pemodelan Kurva MFI	71
Gambar 4. 16 Grafik Pemodelan Pore Blocking.....	73
Gambar 4. 17 Grafik Pemodelan Kurva Saturasi Hybrid Koagulasi UF-HF.....	75
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan MFI, Pore Blocking, dan Kurva Saturasi pada Tekanan Optimum 1,5 Bar	76

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan		Hal pertama kali ditemukan
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	1
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	1
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>	5
LCS	Limbah Cair Sasirangan	1
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>	5
TLG	Tanah Lempung Gambut	1
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	1
UF-HF	Ultrafiltrasi <i>Hollow fiber</i>	3