

**TESIS**  
**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT**  
**DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI, FILTER**  
**KARBON AKTIF, ZEOLIT DAN TEKNOLOGI**  
**SEPARASI MEMBRAN SECARA TERINTEGRASI**



**KEMAS UWAIS ALQORNI**  
**03012682024007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2023**

**TESIS**  
**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT**  
**DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI, FILTER**  
**KARBON AKTIF, ZEOLIT DAN TEKNOLOGI**  
**SEPARASI MEMBRAN SECARA TERINTEGRASI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan**  
**Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**



**KEMAS UWAIS ALQORNI**  
**03012682024007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2023**

# HALAMAN PENGESAHAN

## PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI, FILTER KARBON AKTIF, ZEOLIT DAN TEKNOLOGI SEPARASI MEMBRAN SECARA TERINTEGRASI

### TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister  
Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Dilaporkan oleh  
Kemas Uwais Alqorni  
03012682024007

Palembang, 29 September 2023  
Menyetujui,  
Pembimbing I



Dr. Ir. H. M Hatta Dahlan M. Eng  
NIP. 195910191987111001

Pembimbing II



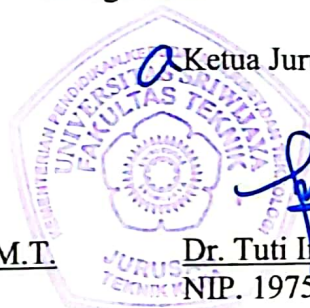
Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA  
NIP. 196010111985032002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002



Ketua Jurusan Teknik Kimia,

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran Secara Terintegrasi” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 02 Agustus 2023.

Palembang, 02 Agustus 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Hasil Penelitian Tesis

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H.M Said. M.Sc  
NIP. 196108121987031003

(  )

Anggota :

1. Dr. David Bahrin, S.T, M.T  
NIP. 198110312005011003
2. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina. Ph.D  
NIP. 197208092000032001
3. Dr. Tuti Indah Sari S.T, M.T  
NIP. 197502012000122001

(  )

(  )

(  )

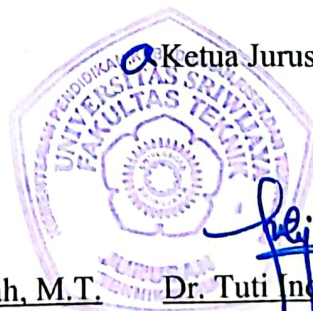
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. H. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Kemas Uwais Alqorni  
NIM : 03012682024007  
Judul : Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran secara Terintegrasi

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 29 September 2023

Yang Membuat Pernyataan,



Kemas Uwais Alqorni

NIM. 03012682024007

## RINGKASAN

### **PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI, FILTER KARBON AKTIF, ZEOLIT DAN TEKNOLOGI SEPARASI MEMBRAN SECARA TERINTEGRASI**

Karya tulis ilmiah berupa tesis, 29 September 2023

Kemas Uwais Alqorni, Dibimbing oleh Dr.Ir. H. M Hatta Dahlan, M.Eng dan Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

Integrated Process of Palm Oil Mill Effluent Using Electrocoagulation, Active Carbon Filter, Zeolite and Membrane Separation Technology

xviii + 82 halaman, 15 Tabel, 25 Gambar, 3 Lampiran

### RINGKASAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) merupakan salah satu jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak dan padatan organik yang berasal dari hasil samping proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO). Pencemaran limbah kelapa sawit dapat menurunkan kualitas lingkungan yang secara tidak langsung akan berbahaya bagi lingkungan dan Kesehatan manusia. Penelitian ini dilakukan untuk mengolah limbah cair kelapa sawit dengan proses elektrokoagulasi, filter karbon aktif, zeolit dan teknologi separasi membran secara terintegrasi. Variasi abu kelapa sawit dan zeolit merupakan variasi yang paling baik untuk menurunkan nilai pH, TSS, COD, BOD dan Minyak Lemak. Metode Elektrokoagulasi terbukti dapat digunakan dalam menurunkan kadar nilai TSS, COD, BOD dan Minyak Lemak. Pada metode elektrokoagulasi ini kondisi terbaik ada pada tegangan 15 Volt dan waktu operasi 90 menit. Sistem Intergrasi proses elektrokoagulasi, filter karbon aktif, zeolit dan teknologi separasi membran terbukti sangat efektif digunakan untuk pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit. Hasil pengolahan memenuhi Baku mutu berdasarkan peraturan Gubernur No. 8 Tahun 2012 tentang baku mutu limbah cair untuk industri kelapa sawit dan Baku mutu air nasional pada kelas 2 berdasarkan Peraturan Pemerintah No.22 Tahun 2021 dengan hasil rata-rata sebagai berikut : pH 7,02 TSS 44,6 mg/L, COD 24 mg/L, BOD 2,89 mg/L dan minyak lemak 1,2 mg/L.

**Kata Kunci** : Limbah cair pabrik kelapa sawit, Elektrokoagulasi, Zeolit, Membran, Membran UF, pH, COD, BOD, TSS, minyak lemak

Kepustakaan : 11 (2002-2016)

## SUMMARY

### **INTEGRATED PROCESS OF PALM OIL MILL EFFLUENT USING ELECTROCOAGULATION, ACTIVE CARBON FILTER, ZEOLITE AND MEMBRANE SEPARATION TECHNOLOGY**

Karya tulis ilmiah berupa tesis, 29 September 2023

Kemas Uwais Alqorni, Supervised by Dr.Ir. H. M Hatta Dahlan, M.Eng and Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran Secara Terintegrasi

xviii + 82 pages, 15 Tables, 25 Pictures, 3 Appendix

#### SUMMARY

Palm oil mill effluent (POME) is a type of agro-industrial organic waste in the form of water, oil and organic solids originating from the by-products of the processing of fresh fruit bunches (FFB) of oil palm to produce Crude Palm Oil (CPO). Palm oil waste pollution can reduce environmental quality which will indirectly be harmful to the environment and human health. This research was conducted to treat palm oil liquid waste using electrocoagulation process, activated carbon filter, zeolite and membrane separation technology in an integrated manner. Variation of palm ash and zeolite is the best variation to reduce the value of pH, TSS, COD, BOD and Fatty Oils. The electrocoagulation method is proven to be used in reducing the levels of TSS, COD, BOD and Fatty Oils. In this electrocoagulation method the best conditions are at a voltage of 15 Volts and an operating time of 90 minutes. The system of integration of the electrocoagulation process, activated carbon filters, zeolite and membrane separation technology has proven to be very effective for processing palm oil mill wastewater. The treatment results meet the quality standards based on Governor Regulation No. 8 of 2012 concerning quality standards for liquid waste for the palm oil industry and national water quality standards in class 2 based on Government Regulation No. 22 of 2021 with the following average results: pH 7.02 TSS 44.6 mg/L, COD 24 mg/L, BOD 2.89 mg/L and fatty oils 1.2 mg/L.

**Keywords :** Palm Oil Mill Effluent (POME), Electrocoagulation, Zeolite, Membrane, UF Membrane, pH, COD, BOD, TSS, Fatty Oil

Citations : 11 (2002-2016)

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa karena atas rahmat dan cinta kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Hasil Penelitian Tesis dengan judul “Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran secara Terintegrasi”.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perkembangan penulisan di waktu yang akan datang.

Akhir kata penulis sampaikan terima kasih dan semoga penulisan ini dapat diterima dan bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang, 29 September 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
RINGKASAN... ..	vi
SUMMARY.....	vii
KATA PENGANTAR. ....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Tujuan.....	7
1.4. Hipotesa.....	7
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	8
1.6. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Kelapa Sawit.....	9
2.2. Produksi Minyak Sawit.....	10
2.3. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit.....	11
2.4. Cangkang Sawit.....	14
2.5. Abu Batubara.....	16
2.6. Sedimentasi.....	17
2.7. Elektrokoagulasi.....	21
2.7.1 Prinsip Kerja Elektrokoagulasi.....	21

2.8. Filter Karbon..	24
2.9. Filtrasi	25
2.9.1. Pengertian Filtrasi	25
2.9.2. Prinsip Kerja Filtrasi	26
2.9.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi proses filtrasi.....	26
2.10. Membran...	27
2.10.1. Prinsip Proses Pemisahan Membran.....	28
2.10.2. Kinerja Membran.....	28
2.11. Membran Ultrafiltrasi.....	30
2.12. Karakteristik Kimia.....	33
2.12.1. Derajat Keasaman / pH.....	33
2.12.2. Kebutuhan Oksigen Biokimia / <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD). .....	33
2.12.3. Kebutuhan Oksigen Kimiawi / <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD). .....	34
2.12.4. Padatan Tersuspensi Total / <i>Total Suspended Solid</i> (TSS). .....	34
2.12.5. Minyak dan Lemak. ....	35
2.12.6. Dampak Kadar BOD, COD dan TSS yang Tinggi. ....	35
2.13. Penelitian Terkait.....	36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>41</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	41
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian. ....	41
3.2.1. Bahan Penelitian.....	41
3.2.2. Peralatan Penelitian. ....	42
3.3. Rancangan Penelitian.....	43
3.3.1. Variable Penelitian. ....	43
3.3.2. Tahapan atau Prosedur Penelitian. ....	44
3.3.2.1. Preparasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Tahapan Sedimentasi). .....	44
3.3.2.2. Aktivasi Abu Kelapa Sawit. ....	44
3.3.2.3. Proses Pembuatan Membran. ....	44
3.3.2.4. Proses Pembuatan Alat Elektrokoagulasi .....	44

3.3.2.5. Prosedur Penggunaan Elektrokoagulasi dan <i>Hosuing Membrane</i> .....	45
3.3.2.6. Proses Pengolahan Limbah Cair .....	45
3.3.3. Diagram Alir Penelitian.....	46
3.4. Metode Pengolahan dan Analisa Data.....	48
3.4.1. Grafik .....	48
3.4.2. Tabulasi .....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN. ....	49
4.1. Hasil Penelitian.....	49
4.1.1 Hasil Analisa Terhadap Sample Awal.....	49
4.1.2 Hasil Analisa pada Proses Sedimentasi .....	49
4.1.3 Hasil Analisa Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit..	50
4.1.4 Hasil Analisa Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit tahap Lanjutan (Metode Filtrasi) .....	51
4.1.5 Hasil Analisa Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit tahap Lanjutan (Metode Membran Ultrafiltrasi) .....	52
4.1.6 Hasil Analisa Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Secara Terintegrasi Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran.....	53
4.1.7 Hasil Persentase Penurunan nilai konsentrasi TSS, COD,BOD dan Minyak Lemak pada masing-masing metode yang digunakan (Sedimentasi, Elektrokoagulasi, Sistem membrane dan Membran Ultrafiltrasi).....	55
4.1.8 Perbandingan Fluks terhadap Membran.....	55
4.2. Pembahasan .....	56
4.2.1 Analisa Sample Awal dan Proses Sedimentasi.....	56
4.2.2 Pengaruh metode elektrokoagulasi terhadap hasil Analisa Limbah Cair.....	57
4.2.3 Pengaruh Metode Membran (Tahap Lanjutan) terhadap Hasil Analisa Limbah Cair.....	60
4.2.4 Pengaruh metode membran Ultrafiltrasi (tahap lanjutan) terhadap hasil Analisa Limbah Cair .....	62

4.2.5	Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Secara Terintegrasi Proses Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif, Zeolit dan Teknologi Separasi Membran .....	63
4.2.6	Persentase penurunan nilai konsentrasi TSS, COD, BOD dan Minyak Lemak pada masing – masing .....	63
4.2.7	Perbandingan Fluks terhadap Membran .....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA .....		69

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Tabel Hasil Penelitian. .... 73
Lampiran B	Perhitungan Data Hasil Penelitian. .... 77
Lampiran C	Gambar. .... 79

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Mutu Air Limbah dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS). ..... 13
Tabel 2.2	Karakteristik Palm Oil Mill Effluent (POME) yang masuk Ke Kolam Pengendalian Limbah. .... 14
Tabel 2.3	Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Peraturan) Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012). .... 14
Tabel 2.4	Batasan Parameter Membran Ultrafiltrasi..... 32
Tabel 2.5	Penelitian Terkait Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit..... 36
Tabel 4.1	Hasil Analisa terhadap Sample Awal..... 49
Tabel 4.2	Hasil Analisa terhadap sampel setelah melalui proses Sedimentasi. .... 50
Tabel 4.3	Hasil Analisa pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Metode Elektrokoagulasi. .... 50
Tabel 4.4	Hasil Analisa pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Tahap lanjutan (metode Membran) dengan variasi Laju alir dan Waktu Operasi. .... 51
Tabel 4.5	Hasil Analisa terhadap sampel setelah melalui Membran Ultrafiltrasi (UF). .... 52
Tabel 4.6	Baku Mutu Air Nasional menurut PP No. 22 Tahun 2021 (Baku mutu air sungai dan sejenisnya). .... 53
Tabel 4.7	Hasil Analisa terhadap sampel setelah melalui Proses Terintegrasi (Elektrokoagulasi, Filter Karbon Aktif dan Teknologi Separasi Membran. .... 54
Tabel 4.8	Hasil rata – rata sampel setelah melalui proses terintegrasi di bandingkan dengan Peraturan Gubernur No. 8 Tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 (Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya. .... 54
Tabel 4.9	Persentase Kenaikan dan Penurunan Konsentrasi pH, TSS COD, BOD dan Minyak Lemak pada setiap prosesnya..... 55
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Fluks Permeat pada sistem membran. .... 56

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Kelapa Sawit Afrika ( <i>Elaeis Guineensis</i> )..... 9
Gambar 2.2	Alur Proses Ekstraksi Minyak di PKS. .... 12
Gambar 2.3	Cangkang Sawit. .... 16
Gambar 2.4	Proses Sedimentasi..... 17
Gambar 2.5	Mekanisme sedimentasi <i>batch</i> . .... 18
Gambar 2.6	Mekanisme Sedimentasi Semi – <i>Batch</i> ..... 19
Gambar 2.7	Mekanisme Sedimentasi Kontinyu. .... 20
Gambar 2.8	Peralatan Elektrokoagulasi..... 23
Gambar 2.9	<i>The Filtration Spectrum</i> . .... 30
Gambar 2.10	Tipe <i>Hollow Fibre</i> atau Turbular. .... 31
Gambar 2.11	Tipe <i>Spiral Wond</i> . .... 31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian. .... 46
Gambar 3.2	Rangkaian Alat Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit..... 47
Gambar 3.3	Skema Elektrokoagulasi..... 47
Gambar 3.4	Skema Alat Filtrasi Membran. .... 48
Gambar 4.1	Hasil Analisa pH pada sampel yang telah melalui metode Elektrokoagulasi..... 58
Gambar 4.2	Hasil Analisa TSS, COD dan BOD pada sample yang telah Melalui metode Elektrokoagulasi. .... 58
Gambar 4.3	Hasil Analisa Minyak dan Lemak pada sampel yang telah Melalui metode Elektrokoagulasi. .... 59
Gambar 4.4	Hasil Analisa pH sampel setelah melalui metode filtrasi..... 60
Gambar 4.5	Hasil Analisa TSS, COD dan BOD setelah melalui metode Filtrasi. .... 61
Gambar 4.6	Hasil Analisa Minyak Lemak setelah melalui metode Filtrasi. .... 61
Gambar 4.7	Persentase Penurunan Nilai Konsentrasi pH, TSS, COD, BOD dan Minyak Lemak. .... 64

Gambar 4.8	Perbandingan Fluks terhadap Membran (Variasi waktu dan Laju Alir 2 L/min).....	65
Gambar 4.9	Perbandingan Fluks terhadap Membran (Variasi waktu dan Laju Alir 4 L/min).....	65
Gambar 4.10	Perbandingan Fluks terhadap Membran (Variasi waktu dan Laju Alir 6 L/min).....	66



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
CPO	<i>Crude Palm Oil</i>
LCPKS	Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit
UF	Ultrafiltrasi
TBS	Tandan Buah Segar
FABA	<i>Fly Ash dan Bottom Ash</i>
POME	<i>Palm Oil Mill Effluent</i>

## DAFTAR SIMBOL

R	Koefisien Rejeksi	% ( <i>Percent</i> )
Cp	Konsentrasi Zat Terlarut dalam Permeat	Ppm ( <i>Part per million</i> )
Cf	Konsentrasi Zat Terlarut dalam Umpan	Ppm ( <i>Part per million</i> )
V	Volume permeat	L ( <i>Liters</i> )
A	Luas Permukaan Membran	m <sup>2</sup>
t	Durasi pengukuran	jam

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah produsen terbesar minyak sawit (CPO) di dunia. Data dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia menunjukkan, produksi CPO Indonesia di 2019 sebanyak 47 juta ton. Angka itu naik dari 2018 yang sebanyak 43 juta ton dan 38 juta ton di 2017.

Indonesia juga mempunyai potensi yang cukup besar untuk pengembangan industri kelapa sawit terutama di Provinsi Sumatera Selatan. Pada saat ini perkembangan industri kelapa sawit tumbuh cukup pesat, di Sumatera Selatan sendiri terlapat 70 Pabrik kelapa sawit yang setidaknya berkontribusi 10% dari Produksi Nasional dengan Kapasitas 3,950 Ton/jam (Harry, 2019).

Perkembangan industri yang sangat pesat saat ini menyebabkan limbah industri pun bertambah. Sebagai akibatnya, limbah yang dibuang ke lingkungan semakin berat. Padahal kemampuan alam untuk menerima beban limbah sangat terbatas. Setiap tahunnya produksi kelapa sawit semakin meningkat, sehingga akan terjadi peningkatan juga pada limbah dari Industri Pengolahan kelapa sawit. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil dari proses budidaya tanaman kelapa sawit maupun dari industri pengolahan sawit (PKS) menjadi CPO. Limbah Sawit dapat berupa limbah cair (POME) yang merupakan limbah dari industri pengolahan sawit dan limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang dan sabut. Aktivitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah dalam volume sangat besar.

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) atau *palm oil mill effluent* (POME) merupakan salah satu jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak dan padatan organik yang berasal dari hasil samping proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk menghasilkan crude palm oil (CPO) (Nasution, 2004).

Air adalah Sumber daya alam yang dapat diperbarui. Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia karena jumlahnya yang sangat melimpah di muka bumi ini, tetapi kualitasnya sering mengalami

penurunan dikarenakan aktivitas manusia yang berdampak pada pencemaran lingkungan hidup. Salah satu contohnya terjadi Pada Bulan Oktober Tahun 2020 Sungai Batanghari di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan berwarna hitam dan mengeluarkan bau busuk. Pencemaran air sungai ini berasal dari salah satu perusahaan pengolahan sawit di wilayah setempat. Dari hasil investigasi di lapangan, sejumlah titik kolam penampungan luber dan tidak mampu menampung limbah. Akibatnya, Limbah cair mengalir ke sungai Batanghari yang terhubung ke Sungai Musi. Akibat pencemaran tersebut, air sungai didekat permukiman warga terlihat kotor dan berbau busuk serta dikhawatirkan limbah cair yang mencemari sungai mengandung zat berbahaya.

Beberapa alasan sangat sulitnya mengolah air limbah dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS):

1. Minyak sawit berasal dari tumbuhan dan merupakan unsur yang sangat sulit terurai melalui pengolahan biologis.
2. Sludge dengan konsentrasi tinggi dan minyak bercampur, kandungan minyak menjadi sulit mengapung, sehingga pemisahan minyak-air menjadi sulit.
3. Selain itu, bila suhu air limbah turun, minyak sawit yang terkandung menjadi mudah memadat, untuk itu minyak yang menempel pada sludge, viskositas akan naik, permukaan menjadi berbentuk scam, sehingga pemisahan minyak-air menjadi tidak bisa.
4. Bila air limbah dengan kondisi seperti ini dikirimkan dengan pompa, proses pembentukan emulsi dari minyak sawit akan berlangsung, sehingga pemisahan minyak-air menjadi sangat sulit dilakukan.

Pencemaran limbah kelapa sawit dapat menurunkan kualitas lingkungan yang secara tidak langsung akan berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Hal ini disebabkan air limbah pabrik minyak kelapa sawit mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi dengan BOD rata-rata 26.222 mg/L, COD rata-rata 62.934 mg/L, sifatnya asam (pH 4,05-4,15), mengandung minyak serta padatan tersuspensi dan terlarut lainnya. Proses Pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit selama ini menggunakan kolam aerob dan anaerob, tetapi sistem ini memerlukan waktu tinggal hidrolis yang sangat lama (Leni, 2013).

Melihat sistem pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit begitu lama, maka dicari cara pengolahan yang dapat dilakukan terhadap limbah cair pabrik kelapa sawit.

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit (Apriani, 2014). Rata-rata pabrik minyak kelapa sawit mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS) menjadi 200-250 kg minyak mentah, 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan air limbah 0,7 m<sup>3</sup> (Yuliasari, 2018).

Air limbah industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh air limbah industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Air limbah industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2018).

Air limbah dari pabrik minyak kelapa sawit ini bersuhu tinggi, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid serta residu minyak dengan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Apabila air limbah ini langsung dibuang ke perairan dapat mencemari lingkungan, karena akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan (Azwir, 2018). Sebelum air limbah dari beberapa industri sawit yang ada di Sumatera Selatan dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu harus diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 Tanggal 15 Februari 2012 Point 4 halaman 2.

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak. Tempurung kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Arang aktif

dapat dibuat dengan melalui proses karbonisasi pada suhu 550 °C selama kurang lebih tiga jam. Karakteristik arang aktif yang dihasilkan melalui proses tersebut memenuhi SII, kecuali kadar abu. Tingkat keaktifan arang cukup tinggi. Hal ini terlihat dari daya serap iodnya sebesar 28,9% (Andriati, 2003).

Selain potensi kelapa sawit, Sumatera Selatan juga mempunyai potensi lain yaitu potensi dibidang produksi batubara. Sumatera Selatan saat memiliki cadangan sumber daya alam batubara terbesar diindonesia yakni 50,2 Milyar Ton (ESDM, 2020).

Modifikasi proses dan peralatan diperlukan dalam pengolahan pencemaran air dan tanah pada lingkungan dikarenakan sangat sulitnya mengolah air limbah dari Pabrik Kelapa Sawit sehingga limbah dapat terolah dengan baik. Hal inilah yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini dilakukan proses pengolahan air limbah sawit dengan menggunakan metode elektrokoagulasi dan metode filtrasi dengan media filter berupa pasir silika, zeolit dan karbon aktif serta juga melalui sistem membran dengan dibuatkannya suatu rangkaian peralatan dari sistem *pretreatment* limbah air sawit sampai ke penggunaan filter dan membran. Rancangan alat yang akan dilakukan tersebut menggunakan beberapa tahapan, yaitu tahapan awal *pretreatment* (sedimentasi) kemudian dilanjutkan pada proses elektrokoagulasi, filtrasi (filter karbon aktif, pasir silika dan *zeolite*) serta separasi membran (membran Ultrafiltrasi).

Sedimentasi dilakukan sebagai tahap awal proses pengendapan material dari keadaan suspensi atau larutan cairan atau udara yang terbawa dorongan gravitasi. (Afifah, 2022).

Proses pengendapan flok partikel dan pemisahan kotoran/warna, sehingga air terolah akan jernih (*supernatan*) dan endapan yang terjadi dibuang atau digunakan ulang (*concentrate*). Hal ini dilakukan secara gravitasi. Sedimentasi dengan waktu yang tepat mampu menurunkan 80-90% kandungan yang dimiliki oleh limbah sehingga sedimentasi dilakukan ditahap awal dalam penelitian ini.

Proses elektrokoagulasi pada prinsipnya berdasarkan pada proses sel elektrolisis. Sel elektrolisis merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi listrik DC (*direct current*) untuk menghasilkan reaksi elektrolit. Setiap sel elektrolisis mempunyai dua elektroda, katoda dan anoda. Jenis elektroda yang

digunakan pada penelitian ini adalah elektroda Aluminium yang berperan sebagai sumber ion  $Al^{+3}$  di anoda dan berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang terjadi di dalam sel tersebut, sedangkan di katoda terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikkan flokflok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel. Teknik elektrokoagulasi memiliki beberapa kelebihan yaitu peralatan sederhana, mudah dalam pengoperasiaannya, waktu reaksi singkat, tidak memerlukan bahan kimia tambahan karena lebih banyak melibatkan proses fisika, selain itu teknik ini lebih ekonomis karena listrik yang digunakan relatif kecil. Dengan kelebihan dan pencapaian nilai efisiensi ini, maka dimungkinkan untuk aplikasi teknik ini pada penelitian ini.

Filtrasi adalah metode yang efektif digunakan untuk pengolahan air yang terkontaminasi minyak serta dapat menurunkan unsur pencemar. Filtrasi yaitu proses pengolahan air secara fisik yang dapat mengurangi partikel padat didalam air dengan cara melewatkan air melalui media berpori dengan ukuran butir dan ketebalan tertentu sesuai dengan jumlah air yang akan diproses (Aulia, 2020). Karbon aktif dipilih karena mempunyai sifat kimia maupun sifat fisika yang bisa menyerap zat organik ataupun anorganik (Aulia, 2020). Peneliti memilih karbon aktif dari cangkang sawit karena ini merupakan limbah dari industri pengolahan kelapa sawit yang penggunaannya masih belum maksimal, oleh karena itu penelitian ini ingin lebih memanfaatkan cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif digunakan untuk menurunkan parameter pencemar pada limbah cair pabrik kelapa sawit (Adzim, 2022).

Di Indonesia, zeolit sebagai salah satu penukar ion alami yang banyak tersedia, murah dan mudah didapat. Kerangka dasar struktur zeolit yakni terdiri dari unit tetrahedral  $AlO_2$  dan  $SiO_2$  yang saling berhubungan melalui atom O, sehingga zeolit mempunyai rumus empiris sebagai berikut  $Mn_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ . Zeolit sebagai ion exchanger telah diketahui dan digunakan sebagai penghilang polutan kimia (Susila, 2015).

Membran ultrafiltrasi adalah teknik proses pemisahan menggunakan membran untuk menghilangkan berbagai zat terlarut dengan berat molekul tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari air larutan. Ukuran dan

bentuk molekul terlarut merupakan faktor penting. Membran ultrafiltrasi sehubungan dengan pemurnian limbah cair dipergunakan untuk menghilangkan koloid (penyebab *fouling*) dan penghilangan mikroba, pirogen dan partikel dengan modul higienis. Bahan membran dipilih dari hasil penelitian sebelumnya dimana variasi abu kelapa sawit dan zeolite merupakan variasi yang paling baik untuk menurunkan nilai pH, TSS, COD, dan BOD (Adzim, 2022). Bahan tersebut akan dicetak berbentuk tabung yang akan digunakan sebagai media membran.

Sistem pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit yang berkelanjutan dan terintegrasi dari masing-masing tahapan dapat dilakukan terhadap limbah cair pabrik kelapa sawit untuk mendapatkan hasil yang lebih efektif dimana hasil proses proses elektrokoagulasi akan dilanjutkan ke proses filtrasi (filter karbon aktif, pasir silika dan *zeolite*), kemudian dilanjutkan proses membran Ultrafiltrasi.

Dengan adanya peralatan ini diharapkan hasil pengolahan limbah sawit tersebut dapat memenuhi baku mutu limbah industri minyak sawit sesuai Peraturan Gubernur Sumsel No. 8 Tahun 2012 dan baku mutu air Nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Lampiran VI serta mampu menyelesaikan permasalahan yang terjadi dalam pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit selama ini.

Penelitian ini menggunakan berbagai variasi pada tiap tahapan metode yang digunakan pada pengolahan limbah cair kelapa sawit, yaitu variasi waktu operasi dan tegangan listrik pada metode elektrokoagulasi, variasi laju alir dan waktu operasi untuk metode filtrasi untuk mengetahui persentase perubahan kenaikan atau penurunan nilai pH, TSS, COD, BOD dan Minyak Lemak dari masing-masing metode yang digunakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara mengelola limbah cair pabrik kelapa sawit sehingga memenuhi baku mutu air limbah sehingga tidak mencemari lingkungan.
2. Apa saja metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair



pabrik kelapa sawit.

3. Bagaimana rancang alat pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.
4. Apakah proses pengolahan limbah cair berlangsung efektif.
5. Bagaimana pengaruh pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap hasil dari analisa parameter yang diuji (Analisis pH, BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak).

### **1.3 Tujuan**

Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit sehingga memenuhi baku mutu air limbah sehingga tidak mencemari lingkungan serta memenuhi baku mutu air limbah untuk kegiatan industri minyak sawit.
2. Menggunakan metode sedimentasi, elektrokoagulasi, media filtrasi dan sistem membrane dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.
3. Membuat rancang alat pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.
4. Mengetahui kondisi terbaik pada tiap tahapan proses pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.
5. Membandingkan hasil analisis antara kualitas limbah sebelum dilakukan proses pengolahan dan setelah proses pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit

### **1.4 Hipotesa**

Adapun beberapa hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semakin tinggi nilai tegangan yang diberikan maka akan semakin tinggi pula persentasi penyisihan yang diperoleh. (Farida, 2015)
2. Media Filter menggunakan karbon aktif dari kelapa sawit memiliki efisiensi yang lebih baik dari pada filter menggunakan media filter lainnya. (Aulia,2020)
3. Semakin lama waktu tinggal cairan di dalam peralatan flotasi maka semakin tinggi penurunan COD dan Minyak Lemak (Leni, 2013)
4. Semakin kecil pori-pori dari membrane yang dibuat maka akan semakin efisien filtrasi yang terjadi dan pori-pori ini dipengaruhi oleh komposisi

media yang digunakan. (Febriana dkk, 2017).

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu :

1. Limbah air sawit dan limbah cangkang sawit yang didapat dari pabrik sawit di provinsi Sumatera Selatan.
2. Tahapan pengolahan mencakup proses sedimentasi, proses elektrokoagulasi dengan variasi tegangan listrik dan waktu operasi, proses filtrasi menggunakan variasi laju alir dan waktu operasi serta proses tahap lanjutan menggunakan membran ultrafiltrasi
3. Parameter yang akan dianalisa atau diukur meliputi pH, BOD, COD TSS, Minyak dan Lemak.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memanfaatkan berbagai teknologi dan alat di sekitar untuk melakukan pengolahan suatu limbah cair pabrik kelapa sawit.
2. Mengetahui metode apa saja yang sesuai digunakan untuk mengelola limbah cair pabrik kelapa sawit.
3. Memberikan gambaran suatu proses pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit dan PLTU di Provinsi Sumatera Selatan.
4. Mengetahui kondisi terbaik pada tiap tahapan metode dan proses pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit.
5. Mendukung upaya pemerintah provinsi Sumatera Selatan dalam meningkatkan produksi kelapa sawit dan sebagai sarana bahan pertimbangan pemerintah untuk meningkatkan Pengembangan dan persisteman dalam proses pengolahan (peningkatan kualitas) sebagai upaya mendukung mengurangi pencemaran lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agmalini, S., Linggas, N.N, dan Nasir, S. 2013. Peningkatan Kualitas Air Rawa Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat Alam dan Abu Terbang Batubara. *Jurnal Teknis Kimia*. Vol. 19 (2): 59-68.
- Arita, Susila., Purnama Sari, Rita., Liony, Ivana. 2015. Purifikasi Limbah Spent Acid dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Zeolit dan Bentonit. *Jurnal Teknik Kimia* Vol 21 (4): 65-72.
- Arjuna, R. T dan Edi, S. 2018. Asesmen Carbon Footprint pada Produksi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) di Kebun Sei Lukut, Kabupaten Siak, Riau.
- Adzim, A. 2022. Penjernihan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan menggunakan Metode Elektrokoagulasi, Syphon dan Housing Membran dari Abu Pembakaran Kelapa Sawit. Inderalaya : Universitas Sriwijaya.
- Dahlan, M. H, Teguh. D, dan Utama, F.2011. Kinerja Membran Keramik Dalam Pengolahan Air Sumur Menjadi Air Bersih. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 5 (17): 38-49.
- Dahlan, M. Hatta. 2005. Prototipe Alat Ultrafiltrasi Membran untuk Pengolahan Air Siap Diminum. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 6 (1): 24-28.
- Dahlan, M. Hatta. 2011. Pengolahan Limbah Karet Menggunakan Teknologi membrane Sintesis Polimer. *Jurnal Sintesa Kemika*. Vol. 18 (1): 46-51.
- Dahlan, M. Hatta. 2013. Prototipe Alat Penyaring Air Payau (Sungai Sugihan) Menjadi Sumber Air Bersih Menggunakan Tabung Filter Bagi Masyarakat Pangkalan Sakti Kecamatan Air Sugihan Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumsel. Inderalaya : Universitas Sriwijaya.
- Dahlan, M. Hatta., Handayani, Laili., Setiono, Eko. 2011. Pengaruh Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeolit, Silika dan Karbon Aktif Terhadap Kadar Co dan Co<sub>2</sub> Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 17 (8): 19-28.
- Dahlan, M. Hatta., Junior Pratama, Eric., Odina, Mia. 2016. Pengaruh Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeolit dan Gypsum Terhadap

- Emisi Gas Co, Nox Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 22 (2): 10-18.
- Dahlan, M. Hatta., Siregas, Hariman P., Yusra, Maswardi. 2013. Penggunaan Karbon Aktif Dari Biji Kelor Dapat Memurnikan Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 19 (3): 44-53.
- Febriana, I., Chodijah, S., dan Novriani. 2017. Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Membran Berbasis Kitosan, PVA dan Silika. *Jurnal Nol*. 9 (2): 73-84.
- Febriana, Ida., Chodijah, Siti., Husaini., Novriani, Liza. 2017. Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Membran Berbasis Kitosan, PVA dan Silika. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. Vol. 9 (2): 73-84.
- Hanum, Farida. 2009. Efektivitas Arang Aktif Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Limbah. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Hanum, Farida., Tambun, Rondang., Ritonga, M. Yusuf., Kasim, Wiliam Wardhana. 2015. Aplikasi Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 4 (4): 13-17.
- Hernaningsih, T. 2016. Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Tinjauan Teknologi Pengolahan Limbah*. Vol. 9 (1): 31-46.
- Ilmanafian, Adzani Ghani., Lestari, Ema., Khairunisa, Fitria. 2020. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol 21 (2): 244-253.
- Indriyani, V., Novianty, Y., dan Mirwan, A. 2017. Pembuatan Membran Ultrafiltrasi dari Polimer Selulosa Asetat dengan Metode Inversi Fasa. *Jurnal Konversi*. Vol. 6 (1): 11-16.
- Maulinda, Leni. 2013. Pengolahan Awal Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Secara Fisika. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol. 2 (2): 31-41.
- Nasir, Subriyer., Purba, Marlis., Sihombing, Otto. 2014. Pengolahan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat, Tepung Jagung dan Serbuk Besi. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 20 (3): 22-30.
- Nasir, Subriyer., SA, Teguh Budi., Silviaty, Idha. 2013. Aplikasi Filter Keramik

- Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry. *Jurnal Bumi Lestari*. Vol. 13 (1): 45-51
- Nasution, Dedy A. 2011. Teknologi Membran Filtrasi untuk Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Serpong : Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian.
- Naswir, M., Arita Susila., Hartati, Widi., Septiarini, Lusi., Desfaournatalia., Gusti Wibowo, Yudha. 2019. Activated Bentonite: Low Cost Adsorbent to Reduce Phosphor in Waste Palm Oil. *International Journal of Chemistry*. Vol. 11 (2): 67-76.
- Nursanti, Ida. 2014. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Kolam Pengasaman Dengan Menggunakan Mineral Zeolit. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* Vol. 14 (4): 93-97.
- Prabowo, A. dan H. B. Gagah. 2012. Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Minyak dengan Proses Elektrokoagulasi dengan Elektroda Besi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 1 (1): 352-355
- Rahman, Aulia. 2020. Analisis Efisiensi Penggunaan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Media Filtrasi Pengganti Walnut Sheels pada Proses Oil Removal Filter. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Ramdja, F. A., Halim, M., dan Handi, J. 2008. Pembuatan KArbon Aktif dari Pelepah Kelapa (Cocus Nucifera). *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 2 (15): 1-8.
- Riduan, R. 2005. Studi Pengaruh Penambahan Karbon Aktif pada Optimasi Penurunan Warna dan Kandungan Organik pada Air Gambut Menggunakan Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Info Teknik*. Vo. 6 (1): 54-60.
- Salmin, O. T. 2005. Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*. Vo.30 (3): 21-26.
- Sembiring, M. T. 2003. Arang Aktif Pengenalan dan Proses Pembuatannya. Sumatera Utara: USU Digital Library.
- Sugito., Kholif, M., Tyas, Y., dan Sutrisno, J. 2022. Pengaruh Elektrokoagulasi pada Penurunan Kadar COD, BOD dan Amonia untuk Mengolah Limbah Cair Industri Pembekuan Udang (Cold Storage). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. Vo. 13 (1): 57-65.
- Sumatera Selatan. 2012. Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun

- 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara. Pemerintah Provinsi Sumatera Selatan: Palembang.
- Suryani, Indah., Permana, M. Yusuf U., Dahlan, M. Hatta Dahlan. 2012. Pembuatan Briket Arang Dari Campuran Buah Bintaro nan Tempurung Kelapa Menggunakan Perekat Amilum. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 18 (1): 24-29.
- Susanto, S., Wijayanto, D., dan Hidjan. 2010. Pengaruh Perubahan Arus Listrik Terhadap Penurunan Kadar Lemak dan Minyak dalam Air Limbah Melalui Proses Elektrokoagulasi. *Politeknologi*. Vo. 9 (2): 96-102.
- Vijaya, S., Ma, A. N., dan Co, Y. M. 2010. Capturing Biogas: A Mean to Reduce Greenhouse Gas Emissions for The Production of Crude Palm Oil. *American Journal of Geoscience*. Vol. 1 (1): 1-6.
- Wulandari, Junika., Asrizal. Zuhendri. 2016. Analisis Kadar Logam Berat Pada Limbah Industri Kelapa Sawit Berdasarkan Hasil Pengukuran Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Pillar of Physics*, Vol. 8: 57-64.
- Yuliwati, Erna., Kusmindari, Desi. 2015. Optimasi Kondisi Proses Membran Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit. Palembang : Seminar Nasional & Workshop Nasional Teknik Industri SEMNASTI – MUSINDEEP.
- Zhu, L., Chen, M., Dong, Y., Tang, C. Y., Huang, A., dan Li, L. 2016. A Low Cost Mullite-Titania Composite Ceramic Hollow Fiber Microfiltration Membrane for Highly Efficient Separation of Oil-In-Water Emulsion. *Water Research*. 90 (1): 277-285.
- Zulfi, F., Dahlan, K., dan Sugita, P. 2014. Karakteristik Fluks Membran dalam Proses Filtrasi Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Biofisika*. Vol. 10 (1) : 19-29.