

**PERBANDINGAN PENGOLAHAN POME DENGAN METODE  
ELEKTROKOAGULASI DAN DEGRADASI BAKTERI INDIGEN  
(*Bacillus toyonensis* dan *Stenotrophomonas rhizophila*) SECARA ANAEROB**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



**SARI ULFARIANI  
08031181419056**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

### PERBANDINGAN PENGOLAHAN POME DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI DAN DEGRADASI BAKTERI INDIGEN *(Bacillus toyonensis dan Stereotrophomonas rhizophila)* SECARA ANAEROB

#### SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

**SARI ULFARIANI**

**08031181419056**

Indralaya, 9 Oktober 2018

Pembimbing I



**Dr. Bambang Yudono, M.Sc**  
**NIP. 196102071989031004**

Pembimbing II



**Dr. Hasanudin, M.Si**  
**NIP. 197205151997021003**

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**  
**NIP. 197210041997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Perbandingan Pengolahan POME dengan Metode Elektrokoagulasi dan Degradasi Bakteri Indigen (*Bacillus toyonensis* dan *Stenotrophomonas rhizophila*) secara Anaerob" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 Oktober 2018 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 9 Oktober 2018  
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. **Dr. Bambang Yudono, M.Sc**  
NIP. 196102071989031004

Anggota :

2. **Dr. Hasanudin, M.Si**  
NIP. 197205151997021003
3. **Dr. Muhammad Said, M.T**  
NIP. 197407212001121001
4. **Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.**  
NIP. 196808271994022001
5. **Dr. Miksusanti, M.Si**  
NIP. 196807231994032003



Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc  
NIP. 197210041997021001



Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Dr. Dedi Rohendi, M.T  
NIP. 196704191993031001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Sari Ulfariani  
NIM : 08031181419056  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 9 Oktober 2018

Penulis,



Sari Ulfariani

NIM. 08031181419056

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Sari Ulfariani  
NIM : 08031181419056  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-ekslusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Perbandingan Pengolahan POME dengan Metode Elektrokoagulasi dan Degradasi Bakteri Indigen (*Bacillus toyonensis* dan *Stenotrophomonas rhizophila*) secara Anaerob”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 9 Oktober 2018

Yang menyatakan,



Sari Ulfariani

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”*

*(Al-Baqarah: 216)*

*Begitulah kehidupan, ada yang kita tahu, ada pula yang tidak tahu. Yakinkah, dengan ketidaktahuan itu bukan berarti Tuhan berbuat jahat kepada kita. Mungkin saja Tuhan sengaja melindungi kita dari tahu itu sendiri.*

*(Tere Liye)*

*Skripsi ini sebagai tanda syukur ku kepada:*

- ♦ *Allah SWT*
- ♦ *Nabi Muhammad SAW*

*Dan kupersembahkan kepada :*

1. *Ayah dan Ibuku yang selalu memotivasi dan mendoakan disetiap sujud sholat mereka.*
2. *Saudara-saudaraku yang selalu aku sayangi dan cintai.*
3. *Pembimbingku (Dr. Bambang Yudono, M.Sc, dan Dr. Hasanudin, M.Si)*
4. *Sahabat-sahabatku*
5. *Almamaterku (Universitas Sriwijaya)*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, Dia maha diatas segala maha tempat meminta perlindungan dan pertolongan dan akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Perbandingan Pengolahan POME dengan Metode Elektrokoagulasi dan Degradasi Bakteri Indigen (*Bacillus toyonensis* dan *Stenotrophomonas rhizophila*) secara Anaerob”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Bambang Yudono, M.Sc dan Dr. Hasanudin, M.Si yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar. Terima kasih atas segalanya.
2. Bapak Prof. Iskhaq Iskandar, M.Sc selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T, selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik.
6. Ibu Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si, Bapak Dr. Muhammad Said, M.T dan ibu Dr. Miksusanti, M.Si selaku penguji sidang sarjana.
7. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si selaku Koordinator Seminar yang membantu dalam segala hal dalam pengurusan jadwal.
8. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Kepada orang tua saya (Ayah Sugiyarto dan Ibu Sarnah) yang telah mendoakan, mendukung, memotivasi, mengorbankan tenaga, pikiran dan memenuhi semua kebutuhan sari selama ini dan selalu ada jika sari minta

apapun kepada kalian serta mau mendengarkan keluh kesah selama penelitian dan skripsi yang mungkin menjadi pikiran ayah dan ibuk. Gelar dan toga ini Sari persembahkan untuk kalian yah, buk dan hanyalah syurga firdaus yang pantas untuk kalian. Dan teruntuk adikku Arif Safrizal semangat terus sayang sekolahnya.

10. Seluruh keluarga besarku yang maaf tak bisa ku sebutkan satu persatu, Alhamdulillah berkat doa kalian sari bisa mencapai gelar sarjana, gelar ini sari persambahan untuk kalian semua.
11. Kepada kamu Dede Fauzi Nuriyasa terimakasih telah mau mendengarkan segala keluh kesahku selama tugas akhir, telah mau setia denganku selama 7 tahun ini, semangat terus ya kuliahnya. Semoga allah selalu memudahkan segala urusanmu sayang, aamiin.
12. Kepada MANESA UNSRI terkhusus (dek Lulu, Nety, Desty, kaka Ade tri, Sri, fajri, ekah, oyin, ervina dan mega, terimakasih kepada kalian semua yang selama di unsri telah banyak membantu dan menyemangati penulis, semoga allah selalu memudahkan kalian semua, dan semoga silaturahmi kita masih tetap terjalin hingga maut memisahkan :D
13. Kepada Robi dan Salma (Partner 1 TA) kalian berdua pasti bisa melewati fase-fase tugas akhir, terima kasih banyak telah mau ikhlas membantuku, kalian semua akan selalu kurindukan. Semoga allah membala semua kebaikan kalian dan semoga allah selalu memudahkan segala urusan kalian berdua.
14. Kepada sahabatku Dewi jayanti dan Lisanah Maisaroh terimakasih telah banyak membantuku, menemaniku dan selalu menasehatiku, maafkan aku ya guys kalau banyak salah selama ini, semoga allah membala kebaikan kalian semua, aku sayang kalian berdua, jangan lupain aku ya kalau kita nanti udah sibuk di dunia masing-masing.
15. Kepada kalian Rona, Mei, lisa, ade,muthia, faisal, kak deni, rio dan hengki terima kasih kalian semua telah banyak membantu sari selama tugas akhir ini, dan memberikan semangat kepada sari, semoga allah membala kebaikan kalian semua dan semoga allah selalu memudahkan segala urusan kalian semua, dimanapun kalian berada, aamiin.

16. Kepada tim MEOR Senior (2013), terimakasih kakak, telah membantu, dan memberi saran dan nasihat untuk sari selama tugas akhir ini.
17. Kepada tim MEOR 2015, semangat adik-adiku dalam mengerjakan tugas akhirnya, kalian semua pasti bisa ko melewati fase akhir di perkuliahan ini, kompak selalu ya kalian, semoga allah selalu memudahkan segala urusan kalian semua ya.
18. PERMATA-UNHAS squad wini nafisyah, kak dwi, teh riri, teh vira, ashri, daya, bang imam dan aa endang, terimakasih telah mewarnai hidupku untuk satu semesternya sewaktu di UNHAS Makasar, semoga kita di pertemukan kembali.
19. Kepada sahabatku Nia, Nursinta, Lesika, Mega terimakasih selama sari pulang ke kuningan telah menyambut kedatangan sari dengan hangat dan pelukan kalaupun kita LDR-an tapi Alhamdulillah silaturahmi kita masih tetap terjaga sampai sekarang, miss u guys.
20. Keluarga teman-teman kimia 2014 yang selalu bersama selama 4 tahun ini. Semua keluh kesah praktikum, laporan dan belajar pun kita merasakan bersama. Sukses semua dimanapun kalian berada.
21. Keluarga kimia angkatan 2012, 2013, 2015, 2016 dan 2017 yang sudah menjadi keluarga selama di kampus dan memberikan warna disetiap perjalanan selama menjadi mahasiswa.
22. Admin Jurusan Mbak Novi dan Kak Iin yang telah membantu selama di Jurusan Kimia.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Inderalaya, 9 Oktober 2018

Penulis

## SUMMARY

### **COMPARISON OF POME PROCESSING BY ELECTROCOAGULATION METHOD AND DEGRADATION INDIGEN BACTERIA (*Bacillus toyonensis* AND *Stenotrophomonas rhizophila*) THROUGH AN ANAEROBIC PROCESS.**

Scientific writing in the form of a skripsi, September 3<sup>rd</sup> 2018

Sari Ulfariani; Supervised by Dr. Bambang Yudono, M.Sc and Dr. Hasanudin, M.Si Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xiii+78 pages, 8 tables, 28 pictures, 28 attachments

Palm oil mill effluent (POME) is wastewater containing dissolved materials with concentrations above the threshold. POME processing in Indonesia with an open pond system is less efficient because it requires large areas and causing greenhouse gas effects. In this study two methods were used, chemical method through electrocoagulation process and biologically by adding indigen bacteria. This study aims to determine the effect of stress on the adapter toward the performance of the electrocoagulation system, incubation time of indigen bacterial consortium and the effect of electrocoagulation conditions after the addition of a bacterial consortium in reducing oil and fat content, COD, pH, TSS, TDS, Fe and Cu metals. In the electrocoagulation method, used iron as electrode with a variation of adapter voltage 1.5, 3, 4.5 and 6 V, while the biologically using bacteria that is *Bacillus toyonensis* and *Stenotrophomonas rhizophila*. The results showed that the best results of the use of electrocoagulation methods for oil and fat removal were 93.27%, COD was 85.71% at a voltage of 6 V and for 6 hours, TDS was 39% at a voltage of 6 V for 3 hours, TSS was 84%, Cu metal was 46% at a voltage of 3 V for 6 hours while pH and Fe metal increased at a voltage of 6 V for 6 hours namely pH to 11.39 and metal Fe at 92.35%. The addition of indigen bacteria the best results for removal of oil and fat was 74.62%, COD was 52.44%, TSS was 43.11% and pH reached 6.38 at the end of the incubation time for 6 days while for the value of TDS, metal Fe and Cu metal experienced the highest increase with efficiency as follows: 21.42% of TDS, 5.3% of Fe metal and 64.70% Cu metal. The results of combining two methods, namely electrocoagulation at a voltage of 6 V for 6 hours after the addition of effective bacterial consortium can reduce oil and fat levels to 87.39%, COD to 56.70%, TDS to 0.42%, Cu Metal to 23.33% and pH reached 8.82 while for TSS and Fe metal values increased by 15.88% and 93.74% in palm oil wastewater, respectively.

**Keywords :** POME, Electrocoagulation, Indigen Bacteria, Iron Electrode.

Citations : 78 (1975-2017).

## RINGKASAN

### **PERBANDINGAN PENGOLAHAN POME DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI DAN DEGRADASI BAKTERI INDIGEN (*Bacillus Toyonensis* Dan *Stenotrophomonas Rhizophila*) SECARA ANAEROB**

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, 3 September 2018

Sari Ulfariani; Dibimbing oleh Dr. Bambang Yudono, M.Sc dan Dr. Hasanudin, M.Si

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xiii + 78 halaman, 8 tabel, 28 gambar, 28 lampiran

Limbah cair kelapa sawit atau *palm oil mill effluent* (POME) merupakan air limbah yang mengandung bahan terlarut dengan konsentrasi diatas nilai ambang. Pengolahan POME di Indonesia dengan sistem kolam terbuka kurang efisien karena membutuhkan lahan yang luas serta dapat menimbulkan efek gas rumah kaca. Pada penelitian ini digunakan 2 metode yaitu metode kimiawi melalui proses elektrokoagulasi dan secara biologi dengan penambahan bakteri indigen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi, waktu proses inkubasi terhadap konsorsium bakteri indigen serta pengaruh kondisi elektrokoagulasi setelah penambahan konsorsium bakteri dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe dan Cu. Pada metode elektrokoagulasi jenis elektroda yang digunakan adalah besi, dengan variasi tegangan adaptor 1,5, 3, 4,5 dan 6 V, sedangkan secara biologi bakteri yang digunakan yaitu *Bacillus Toyonensis* dan *Stenotrophomonas Rhizophila*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil terbaik penggunaan metode elektrokoagulasi untuk penyisihan minyak dan lemak sebesar 93,27 %, COD sebesar 85,71 % pada tegangan 6 V dan selama 6 jam, TDS 39 % pada tegangan 6 V selama 3 jam, TSS 84 %, Logam Cu 46 % pada tegangan 3 V selama 6 jam sedangkan pH dan logam Fe mengalami peningkatan pada tegangan 6 V selama 6 jam yaitu pH menjadi 11,39 dan logam Fe sebesar 92,35 %. Pada penambahan bakteri indigen hasil terbaik untuk penyisihan minyak dan lemak 74,62 %, COD 52,44 %, TSS 43,11 serta pH mencapai 6,38 pada akhir waktu inkubasi selama 6 hari sedangkan untuk nilai TDS, logam Fe dan Logam Cu mengalami peningkatan dengan efisiensi peningkatan tertinggi sebagai berikut TDS 21,42 %, logam Fe 5,3 % dan logam Cu 64,70 %. Hasil penggabungan 2 metode yaitu elektrokoagulasi pada tegangan 6 V selama 6 jam setelah penambahan konsorsium bakteri efektif dapat menurunkan kadar minyak dan lemak sebesar 87,39 %, COD sebesar 56,70 %, TDS 0,42 % Logam Cu 23,33 % serta pH mencapai 8,82 sedangkan untuk nilai TSS dan logam Fe mengalami peningkatan sebesar 15,88 % TSS dan logam Fe 93,74 % pada limbah cair kelapa sawit.

**Kata kunci :** POME, Elektrokoagulasi, Bakteri indigen, Elektroda Besi.

Kepustakaan : 78 (1975-2017).

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	v
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	vi
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	vii
<b>SUMMARY .....</b>	x
<b>RINGKASAN .....</b>	xi
<b>DAFTAR ISI .....</b>	xii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xv
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	5
2.1. Limbah pabrik kelapa sawit atau Palm Oil Mill Effluent (POME) ..	5
2.2. Pengolahan Limbah cair Pabrik Kelapa Sawit (POME) .....	6
2.3. Proses Pengolahan Limbah Cair secara Anaerobik .....	7
2.4. Bakteri Lipolitik .....	9
2.5. Elektrokoagulasi .....	10
2.5.1 Pengertian Elektrokoagulasi .....	10
2.5.2 Proses Elektrokoagulasi .....	10
2.5.3 Plat Elektroda .....	11
2.5.4 Keuntungan dan Kerugian Elektrokoagulasi .....	12
2.6. Parameter Pengujian .....	13

2.7. Spektrometri Serapan Atom (SSA) .....	16
2.8. Analisis data secara ANOVA .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	19
3.2. Alat dan Bahan .....	19
3.3. Prosedur Penelitian .....	19
3.3.1 Peremajaan Bakteri .....	19
3.3.2 Pembuatan Medium Mineral.....	19
3.3.3 Pembuatan Inokulum Bakteri.....	20
3.3.4 Pembuatan Starter Bakteri .....	20
3.3.5 Perhitungan Populasi Bakteri .....	20
3.3.6 Persiapan dan Karakterisasi POME .....	21
3.3.7 Degradasi limbah cair dengan metode elektrokoagulasi .....	21
3.3.8 Degradasi limbah Cair .....	21
3.3.9 Degradasi limbah cair menggunakan bakteri indigen konsorsium .....	21
3.3.10 Degredasi limbah cair menggunakan bakteri indigen konsorsium dengan metode elektrokoagulasi .....	21
3.3.11 Tahapan Analisa sampel .....	22
3.3.11.1 Uji kadar COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	22
3.3.11.2 Uji kadar TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ) .....	23
3.3.11.3 Uji pH .....	23
3.3.11.4 Uji kadar Minyak dan Lemak .....	23
3.3.11.5 Uji kadar TDS ( <i>Total Dissolve Solid</i> ) .....	24
3.3.11.6 Uji kadar Logam Fe dan Logam Cu menggunakan SSA .....	24
3.3.11.6.1 Treatment Sampel .....	24
3.3.11.6.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi .....	25
3.3.11.6.3 Pengukuran Sampel .....	25
3.3.12 Analisis data Secara ANOVA .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Karakteristik <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME) .....	26

4.2. Pengaruh perlakuan sampel dengan Teknik Elektrokoagulasi .....	26
4.2.1 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap pH .....	27
4.2.2 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi TDS .....	29
4.2.3 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi TSS .....	30
4.2.4 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi COD .....	31
4.2.5 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi Minyak dan Lemak .....	33
4.2.6 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi Logam Fe .....	34
4.2.7 Pengaruh teknik Elektrokoagulasi terhadap konsentrasi Logam Cu .....	35
4.3. Pengaruh Perlakuan Sampel dengan Penambahan Konsorsium Bakteri .....	37
4.3.1 Pengaruh Waktu Proses Terhadap pH .....	37
4.3.2 Pengaruh waktu proses terhadap Konsentrasi TDS .....	37
4.3.3 Pengaruh waktu proses terhadap Konsentrasi TSS .....	38
4.3.4 Pengaruh waktu proses terhadap Konsentrasi COD .....	39
4.3.5 Pengaruh waktu proses terhadap Konsentrasi Minyak dan Lemak .....	40
4.3.6 Pengaruh waktu proses terhadap Konsentrasi logam Fe dan logam Cu .....	41
4.4. Pengaruh Perlakuan Sampel dengan Penambahan Konsorsium Bakteri dan Elektrokoagulasi .....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>44</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>52</b>

## **DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit .....	5
Tabel 2. Baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit .....	6
Tabel 3. Keuntungan dan kerugian Proses Anaerobik .....	8
Tabel 4. Panjang gelombang serapan Maksimum berbagai atom logam .....	17
Tabel 5. Hasil Uji karakterisasi awal limbah Cair Kelapa Sawit .....	26
Tabel 6. Hasil uji limbah cair kelapa sawit dengan penambahan atau tanpa penambahan konsorsium bakteri dan elektrokoagulasi.....	43
Tabel 7. Waktu Generasi Terpendek Bakteri <i>Stenotrophomonas rhizophilai</i> ..	64
Tabel 8. Waktu Generasi Terpendek Bakteri <i>Bacillus Toyonensis</i> .....	65

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Alur pengolahan kolam stabil biologis yang aktual .....	6
Gambar 2. Mekanisme elektrokoagulasi .....	10
Gambar 3. Alat instrument AAS Type Buck 210 VGP .....	15
Gambar 4. Grafik pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap pH limbah cair Kelapa Sawit .....	27
Gambar 5. Grafik pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi TDS limbah cair Kelapa Sawit .....	29
Gambar 6. Grafik pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi TSS limbah cair Kelapa Sawit .....	30
Gambar 7. Grafik pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi COD limbah cair Kelapa Sawit .....	32
Gambar 8. Pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak elektrokoagulasi terhadap konsentrasi minyak dan lemak limbah cair Kelapa Sawit. ....	33
Gambar 9. Grafik pengaruh variasi voltage elektrokoagulasi terhadap konsentrasi logam Fe dan waktu pada limbah cair kelapa sawit. ....	35
Gambar 10. Grafik pengaruh variasi voltage elektrokoagulasi terhadap konsentrasi logam Cu dan waktu pada limbah cair kelapa sawit....	36
Gambar 11. Grafik pengaruh waktu proses terhadap pH.....	37
Gambar 12. Grafik pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi TDS .....	38
Gambar 13. Grafik pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi TSS.....	38
Gambar 14. Grafik pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi COD .....	39
Gambar 15. Grafik pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi minyak dan lemak .....	40
Gambar 16. Pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi logam .....	41
(a) Pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi logam Fe .....	41
(b) Pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi logam Cu .....	42
Gambar 17. Kurva pertumbuhan Bakteri <i>Stenotrophomonas rhizophila</i> pada Medium Mineral.....	64

Gambar 18. Kurva pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus Toyonensis</i> pada Medium Mineral .....	65
Gambar 19. Kurva log % efesiensi penyisihan minyak dan lemak terhadap waku .....	75
Gambar 20. Kolam limbah cair kelapa sawit.....	76
Gambar 21. Rangkaian alat elektrokoagulasi.....	76
Gambar 22. Rangkaian Elektroda Fe-Fe.....	76
Gambar 23. Bioreaktor sampel bakteri dan control .....	76
Gambar 24. Sampel sesudah dan sebelum elektrokoagulasi pada tegangan 1.5 V .....	77
Gambar 25. Sampel sesudah dan sebelum elektrokoagulasi pada tegangan 3 V .....	77
Gambar 26. Sampel sesudah dan sebelum elektrokoagulasi pada tegangan 4.5 V .....	77
Gambar 27. Sampel sesudah dan sebelum elektrokoagulasi pada tegangan 6 V .....	77
Gambar 28. Rangkaian bioreaktor bakteri .....	78

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap pH pada limbah cair Kelapa Sawit.....	52
Lampiran 2. Hasil analisa keragaman terhadap pH pada limbah cair kelapa sawit .....	53
Lampiran 3. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi TDS pada limbah cair Kelapa Sawit .....	54
Lampiran 4. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi TDS pada limbah cair kelapa sawit .....	55
Lampiran 5. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi TSS pada limbah cair Kelapa Sawit.....	56
Lampiran 6. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi TSS pada limbah cair kelapa sawit .....	57
Lampiran 7. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi COD pada limbah cair Kelapa Sawit.....	58
Lampiran 8. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi COD pada limbah cair kelapa sawit .....	59
Lampiran 9. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi Minyak dan Lemak pada limbah cair Kelapa Sawit .....	60
Lampiran 10. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi Minyak dan Lemak pada limbah cair kelapa sawit .....	61
Lampiran 11. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi logam Fe pada limbah cair Kelapa Sawit...	62
Lampiran 12. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi logam Fe pada limbah cair kelapa sawit .....	62
Lampiran 13. Data hasil uji pengaruh variasi tegangan dan waktu kontak terhadap konsentrasi logam Cu pada limbah cair Kelapa Sawit ..	63
Lampiran 14. Hasil analisa keragaman terhadap konsentrasi logam Cu pada limbah cair kelapa sawit.....	63

Lampiran 15. Kurva Pertumbuhan dan Waktu Generasi Terpendek	
Bakteri <i>Stenotrophomonas rhizophila</i> .....	64
Lampiran 16. Kurva Pertumbuhan dan Waktu Generasi Terpendek	
Bakteri <i>Bacillus Toyonensis</i> .....	65
Lampiran 17. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
pH pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	66
Lampiran 18. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
konsentrasi TDS pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	67
Lampiran 19. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
konsentrasi TSS pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	68
Lampiran 20. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
konsentrasi COD pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	69
Lampiran 21. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap konsentrasi	
Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	70
Lampiran 22. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
konsentrasi logam Fe pada Limbah Cair Kelapa Sawit .....	71
Lampiran 23. Data hasil uji pengaruh waktu proses terhadap	
konsentrasi logam Cu pada Limbah Cair Kelapa Sawit.....	72
Lampiran 24. Data jumlah populasi Bakteri dalam sampel dengan	
penambahan dan tanpa penambahan konsorsium Bakteri .....	73
Lampiran 25. Data hasil uji pengaruh penambahan konsorsium bakteri	
dan teknik elektrokoagulasi pada limbah cair kelapa sawit .....	73
Lampiran 26. Hasil analisa keragaman pengaruh waktu proses	
terhadap parameter pada sampel dengan penambahan	
konsorsium bakteri.....	74
Lampiran 27. Kurva log % efisiensi dan penentuan prediksi	
waktu proses degradasi minyak dan lemak .....	75
Lampiran 28. Dokumentasi Penelitian.....	76

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar belakang**

Dalam sepuluh tahun terakhir ini di Indonesia telah terjadi perkembangan jumlah industri kelapa sawit yang cukup besar. Saat ini komoditi minyak mentah kelapa sawit (*Crude Palm Oil/CPO*) merupakan hasil industri andalan Pemerintah Indonesia (Rahardjo, 2008). Pada tahun 2016, luas kebun sawit mencapai 11 juta hektar dan meningkat menjadi 12 juta hektar pada tahun 2017, diperkirakan akan mencapai 14 juta hektar pada tahun 2020 (Ditjenbun, 2016). Perkebunan kelapa sawit di Sumatera Selatan tersebar di beberapa Kabupaten, yaitu: Kabupaten Ogan Komering Ilir, Kabupaten Ogan Ilir, Kabupaten Banyuasin, Kabupaten Musi Banyuasin, Kabupaten Musi Rawas, Kabupaten Musi Rawas Utara, Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten Lahat.

Menurut data statistika Direktorat Jenderal Perkebunan (2016), produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 31 juta ton dan diestimasikan pada tahun 2017 akan meningkat mencapai 35 juta ton. Besarnya produksi yang dihasilkan tentunya berdampak positif bagi perekonomian Indonesia, baik dari segi kontribusinya terhadap pendapatan negara maupun besarnya tenaga kerja yang terserap di sekitar wilayah pabrik. Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit akan menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar. Setiap produksi 1 Ton CPO dihasilkan limbah cair sebanyak 2,5 Ton (Nasution, 2004).

Limbah pabrik kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan air limbah yang mengandung bahan terlarut seperti CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, halogen, atau cairan terlarut dengan konsentrasi di atas nilai ambang (Igwe dan Onyegbado, 2007). Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik pengolahan kelapa sawit berasal dari unit sterilisasi, centrifugasi, pengepresan, dekantasi dan pengendapan (Kep Men LH No.51, 1995). Pengolahan POME di Indonesia selama ini dilakukan dengan sistem kolam terbuka. Teknik pengolahan POME dengan sistem kolam terbuka kurang efisien karena membutuhkan lahan yang luas selain itu limbah cair pabrik kelapa sawit menimbulkan efek gas rumah kaca akibat dari gas

karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan (Saputra dan Hanum, 2016).

Pengolahan POME baik kondisi anaerob maupun aerob keduanya dilakukan secara biologis dengan melibatkan mikroba khususnya bakteri. Bakteri yang cocok untuk pengolahan baik dalam kondisi anaerob maupun aerob adalah bakteri indigen. Bakteri ini sudah teradaptasi pada lingkungan dimana limbah tersebut berada, karena lingkungan tersebut merupakan habitat bagi bakteri tersebut (Jiang, 2006). Bala *et al* (2014) telah berhasil mengisolat 6 bakteri pendegradasi POME dan setelah diidentifikasi yaitu *Micrococcus luteus*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus cereus*, *Providencia vermicola*, *Klebsiella pneumonia*, dan *Bacillus subtilis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Bacillus cereus* adalah bakteri yang paling efektif dalam mengurangi kadar minyak dan lemak serta total padatan tersuspensi. Selain itu Agustryani (2017) juga telah berhasil mengisolat bakteri indigen dari POME yang berpotensi mendegradasi komponen POME digunakan dalam pengolahan secara anaerob dan bersifat lipolitik didapatkan dua bakteri yaitu KAN 1 teridentifikasi bakteri *Bacillus toyonensis strain BCT-7112* dan KP 1.2 teridentifikasi bakteri *Stenotrophomonas rhizophila strain e-p10*.

Selain dilakukan secara biologis pengolahan POME juga bisa secara kimia yaitu dengan teknik elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah proses destabilisasi kontaminan tersuspensi atau kontaminan terlarut dalam medium berair dengan cara memasukkan arus listrik ke media (Mollah *et al*, 2004). Elektrokoagulasi secara efektif mampu mengurangi polutan dan menghasilkan gas hidrogen secara bersamaan sebagai pendapatan untuk mengimbangi biaya operasi (Siringi *et al*, 2012). Nasution *et al* (2013) telah meneliti efektivitas dari elektroda Alumunium (Al) dan Besi (Fe) untuk mengurangi polusi alam dari limbah pabrik kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan turbiditi menurun sebesar 57.66 % dan 62.5 % menggunakan elektroda Al, sedangkan menggunakan elektroda Fe kadar COD dan turbiditi menurun sebesar 35.3 % dan 43.10 %. Penelitian lain yang telah meneliti tentang pengaruh tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi dan waktu operasi optimum untuk pengolahan limbah cair menggunakan elektroda Al yaitu Hanum *et al* (2015) yang menunjukkan bahwa pengurangan COD tertinggi pada tegangan 9 volt dengan

waktu operasi optimum 120 menit sebesar 95,75 %, pengurangan TS (*Total Solid*) tertinggi pada tegangan 10 volt dengan waktu operasi optimum 90 menit sebesar 24,41 % dan pengurangan TSS (*Total Suspended Solid*) tertinggi pada tegangan 10 volt dengan waktu operasi optimum 180 menit sebesar 91,78 %.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini membandingkan pengolahan POME dengan metode elektrokoagulasi dan bakteri secara anerob. Bakteri yang akan dipakai yaitu *Bacillus toyonensis strain BCT-7112* dan *Stenotrophomonas rhizophila strain e-p10* yang sebelumnya telah diisolasi oleh agustryani (2017), kemudian elektroda yang akan dipakai pada penelitian ini yaitu Fe-Fe, dengan memvariasikan tegangan pada adaptor dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu.

## 1.2. Rumusan Masalah

Kegiatan Industri Kelapa Sawit menghasilkan buangan yang salah satunya berbentuk cair, yang sangat berbahaya bagi lingkungan yaitu berupa limbah cair. Konsentrasi limbah cair pabrik kelapa sawit melebihi baku mutu limbah yang telah ditetapkan sehingga perlu diturunkan konsentrasi sebelum dibuang ke badan perairan. Untuk mengelola limbah tersebut diperlukan teknologi pengolahan limbah yang murah dan efektif yaitu teknologi bioremediasi yang memanfaatkan aktivitas bakteri indigen dan teknologi elektrokoagulasi dalam mengelola limbah. Oleh karena itu permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu inkubasi konsorsium bakteri indigen dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu ?
2. Bagaimana pengaruh kondisi elektrokoagulasi dengan tambahan konsorsium bakteri indigen secara anaerob dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu ?
3. Bagaimanakah pengaruh tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh waktu inkubasi konsorsium bakteri indigen dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu
2. Menggabungkan pengaruh kondisi elektrokoagulasi dengan tambahan konsorsium bakteri indigen secara anaerob dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu
3. Menentukan pengaruh tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai pengaruh waktu proses inkubasi, pengaruh kondisi elektrokoagulasi dengan tambahan konsorsium bakteri indigen dan pengaruh tegangan pada adaptor terhadap kinerja sistem elektrokoagulasi dalam mengurangi kadar minyak dan lemak, COD, pH, TSS, TDS, logam Fe, dan logam Cu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A, Setiadi, T, Syafila, M, dan Liang, B., O. 2003. Bioreaktor Berpenyekat Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri yang mengandung Minyak dan Lemak. Pengaruh : Pembebasan Organik Terhadap Kinerja Bioreaktor. *Prosiding Seminar Teknik Kimia*. Bandung.
- Agustryani, P. 2017. Kinetika Degradasi Komponen Palm Oil Mill Effluent (Minyak, Protein Dan Selulosa) Oleh Bakteri Indigen Secara Anaerob Dan Aplikasinya. *Tesis*. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Andreozzi, R., Caprio, V, Insola, A, Marotta R, and Sanchirico, R. 2000. Advanced Oxidation Processes for The Treatment of Mineral Oil-Contaminated Wastewater. *Water Resource*. 34(2): 620-628.
- Astuti, I., D, Aditiawati, P, dan Budiarti, R. 2001. Optimasi Konsentrasi “Crude Oil” Dan Sumber Nitrogen Pada Produksi Biosurfaktan Oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik Dari Sumur Bangko. *Proceeding Simposium Nasional IATMI*.Yogyakarta
- Bala, D., J, Lalung, J., and Ismail, N. 2014. Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment “Microbial Communities in a Anaerobic Digester”. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4(6): 1-23.
- Barbir, F. 2005. PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources. *Solar Energy*, 78: 661–669.
- Boyd, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 482 p.
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*. 38(1): 11-41.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia: Kelapa Sawit*. Jakarta: Sekertariat Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Doraja, P.H., Shovitri, M., dan Kuswytasari, N.D. 2012. Biodegradasi Limbah Domestik dengan menggunakan Inokulum alami dari tangki septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1(1): 44-47.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta. Kanisius.
- Ewing, G.W.1975. *Instrumental Methodes of Chemical Analysis*”, 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Kogakhusya, Ltd.

- Fajrin, J, Pathurahman, dan Lalu, G, P. 2016. Aplikasi Metoda Anal Of Variance (Anova) Untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Mortar. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 12(1): 11-23.
- Garcia, R, and Baez, A, P. 2012. *Atomic Absorption Spectrometry (AAS)*. InTech China: University Campus STeP Ri.
- Ghernaout, D, Badis, A, Kellil, A and Ghernaout, B. 2008. Application of electrocoagulation in Escherichia coli culture and two surface waters. *Desalination*. 219: 118–125.
- Hadiyanto. 2011. Potensi Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) untuk Peyediaan Bioenergi dan Feed Suplemen. *Prosiding Seminar Tjipto Utomo*. Vol 8. Bandung.
- Hadetomo,R,S. 1993. *Mikrobiologi Dasar Dalam Praktek (Teknik dan Prosedur Dasar Laboratorium)*. PT Gramedia. Jakarta: xi+164 halaman.
- Hanum, F, Tambun, R, Ritonga, dan Wardhana,W., K. 2015. Aplikasi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4(2): 13-17.
- Hari, B, dan Harsanti, M. 2010. Pengolahan limbah cair tekstil menggunakan proses elektrokoagulasi dengan sel Al-Al. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*. Yogyakarta. ISSN 1693 – 4393.
- Hardiana, S, dan Mukimin, A. 2014. Pengembangan Metode Analisis Parameter Minyak dan Lemak pada contoh uji air. Semarang: Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri.
- Haryadi, S. 2004. *BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah*. Makalah Individu Pengantar Falsafah Sains (PPS 702) Sekolah Pascasarjana/S3. Bogor.
- Harni Nur, A, M, dan Ulfa, Ade, M. 2016. Penetapan kadar logam besi (fe) pada air sumur galian warga sekitar industri “x” kecamatan panjang dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Analisis Farmasi*. 1(3): 163-168.
- Hossain, A, Jewaratnam, J, and Ganesan, P. 2016. Prospect of hydrogen production from oil palm biomass by thermochemical process-A review. *International Journal of Hydrogen energy*. 1(1): 1-19.
- Holt, P. K., Geoffrey W. Barton, Cynthia A. Mitchell. 2006. *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*, Department of Chemical Engineering. University of Sydney: Australia.

- Igwe, J., C, and Onyegbado, C., C. 2007. A review of palm oil mill effluent (POME) water treatment. *Global Journal of Environmental Research*. Vol 1.:54-62.
- Irwan, Trisakti, B, Vincent, M, dan Tandean, Y. 2012. Pengolahan Lanjut Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Aerobik Menggunakan *Effective Microorganism* guna Mengurangi Nilai TSS. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 1(2): 27-30.
- Jiang, B. 2006. *The Effect of Trace Elements on the Metabolism of Methanogenic Consortia*. Wageningen University, Switzerland
- Kasipah, C, Rismayani, S, dan Ihsanawati. 2013. Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Enzim Lipase Ekstraselulerdari Lumpur Aktif Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil*. 8(1): 1.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1995. ‘Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industr’. No: Kep-51/MENLH/10/1995, Jakarta.
- Kirk, R., E. 1995. *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York.
- KLH Jepang dan KLH Indonesia, 2013. Panduan penanganan air limbah di pabrik PKS. Jakarta.
- Khongkkliang, P, Kongjan, P, Utarapichat, B, Reungsang, A, and O-Thong, S. 2017. Continuos Hydrogen Production From Cassava Starch Processing Wastewater by two-stage Thermophilic Dark Fermentation and Microbial Elektrolysis. *International Journal Of Hydrogen Energy*. 1(1): 1-9.
- Kobya, M., Can, O.T. and Bayramoglu, M. 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*. B100: 163 – 178.
- Kumarasinghe, D., L, Pettigrew, and Nghiem, L., D. 2009. Removal of heavy metals from mining impacted water by an electrocoagulation-ultrafiltration hybrid process. *Desalination and Water Treatment*.11(3): 66-72.
- Kuokkanen, V, Kuokkanen, T, Rämo, J, and Lassi, U. 2013. Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. *Green and Sustainable Chemistry*. 3(2): 89–121.
- Liu, H., X, Zhao, and J, Qu. 2010. *Electrocoagulation in Water Treatment*, in *Electrochemistry for the Environment*. Springer Science+Business Media: New York.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. e-USU Repository Universitas Sumatera Utara.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse*. 3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill.

- Mollah, Y., A. Morkovskyb, P, Gomesc, A., G., J, Kesmez, M, Pargad, J, and L. Cockec, D. 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials B114*. Hal: 199-210.
- Mukimin, A. 2006. Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi. *Skripsi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nasution, M., A, Yakoob, Z, Ali, E, Lan Bee, Ng, and Abdullah, S.,R., Z. 2013. A Comparative Study Using Aluminium and Iron Electrodes for the Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent to Reduce its Polluting Nature and Hydrogen Production Simultaneously. *Pakistan J. Zool.* 45(2): 331-337.
- Nasution, Y., D. 2004. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari kolam akhir (*final pond*) dengan proses koagulasi melalui elektrolisis. *Jurnal Sains Kimia*. 8(2): 38-40.
- Nathan, S., Robert, and Patterson, A. 2003. Effective Microorganisms (EM) and Wastewater system. *Proceedings of On-site'03 Conference*. ISBN 0-9579438-1-4: 347-354.
- Niam, M. F., Othman, F., Sohaili, J., and Fauzia, Z. 2007. Electrocoagulation technique in enhancing COD and suspended solids removal to improve wastewater quality. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 11(1): 198-205.
- Nurajijah, L., Harjunowibowo, D dan Radiyono, Y. 2014. Pengaruh Variasi Tegangan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Proses Elektrolisis. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*. 4(1): 31-35.
- Okwute, Ojonom, L, and Nnennaya, I., R. 2007. The Environmental Impact Of Palm Oil Mill Effluent (POME) on Some Physico-Chemical Parameters and Total Aerobic Bioload Of Soil at a Dump Site In Anyigba, Kogi State, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*. 2(12): 656-662.
- Phalakornkule, C, Mangmeemak, J, Intrachod, K, and Nuntakumjorn, B. 2010. Pretreatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation and coagulation. *Science Asia*. 36(2): 142–149.
- Poh, P. E., Ong, W. J. Y., Lau, E. V dan Chong, M. N. 2014. Investigation on micro-bubble Flotation and Coagulation for the treatment of Anaerobically treated Palm Oil Mill Effluent (POME). *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2(2): 1174-1181.
- Putero, S. H., Kusnanto, dan Yusriyani. 2008. Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Pengolahan Limbah Radioaktif yang Mengandung Sr-90 Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*. ISSN : 0854-2910. Bandung.

- Purwaningsih, I. 2008. *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik CV.Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter Chemical Oxygen Demand ( COD ) dan Warna*. Yogyakarta: UII.
- Rahardjo, N., P. 2008. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan bioreaktor anaerobik biakan melekat dalam skala laboratorium pengamatan pengurangan BOD, COD dan TSS dengan variabel waktu tinggal. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Hal: 49-57. ISSN 1441-318X.
- Raharjo, N., P. 2006. Teknologi pengelolaan limbah cair yang ideal untuk pabrik kelapa sawit. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 2(1) : 66-72.
- Rahmayani, F. 2009. Analisa Kadar Besi (Fe) Dan Tembaga (Cu) Dalam Air Zamzam Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Karya Tulis Ilmiah*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R. Weusthuis, J.P. van Dijken and L. Raamsdonk. 2003. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues. *Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*. Amsterdam.
- Sari, Ni, Ketut. 2010. *Analisa Instrumentasi*. Klaten: Yayasan Humaniora.
- Saputra, E., dan Hanum, F. 2016. Pengaruh Jarak antara Elektroda pada Reaktor Elektrokoagulasi terhadap Pengolahan Effluent Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 5(4): 33-38.
- Saxena, R., K, Sheoran, A, Giri, B, and Davidson, S., W. 2003. Purification Strategies for Microbial Lipases. *Journal of Biotechnological Method*. 52(1): 1-18.
- Septian, A., T, dan Suryanugraha, A. 2017. Kinetika Degredasi Komponen Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit oleh Bakteri Indigen Lipopolitik. *Laporan Penelitian Teknik Kimia*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Seabloom, R. B. 2004. *University Curriculum Development for Decentralized Watewater Management: Septic Tanks*. University of Washington: Washington.
- Siringi, O., D, Home, P, Chacha, J., S, and Koehn, E. 2012. Electrocoagulation (EC) a solution to the treatment of Wastewater and Providing Clean Water for Daily use. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 7(2):1-12.
- SNI 06-6989.15. 2004. *Air dan Air Limbah - Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) refluks terbuka dengan refluks terbuka secara titrimetrik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- SNI 06-6989.3. 2004. *Air dan Air Limbah - Bagian 3 :Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 06-6989.11. 2004. *Air dan air limbah - Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 6989.10. 2011. *Air dan air limbah – Bagian 10 : Cara uji minyak nabati dan minyak mineral secara gravimetri.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 6989.4. 2009. *Air dan air limbah - Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 6989.6. 2009. *Air dan air limbah Bagian 6: Cara uji tembaga (Cu) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) nyala.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Stojic, D, Marceta, P., M, Sovilj, P., S and Scepan, S., M. 2003. Hydrogen generation from water electrolysis—possibilities of energy saving. *J. Pow. Source.* 118: 315–319.
- Suastuti, N., G, dan Dwi Adhi. 2009. Kadar Air dan Bilangan Asam dari Minyak Kelapa yang dibuat Dengan Cara Tradisional dan Fermentasi. *Jurnal kimia.* 3 (2): 69-74.
- Utami, P., N, Yuniarti, M., S, dan Haetami, K. 2012. Pertumbuhan *Chlorella sp.* yang dikultur pada perioditas cahaya yang berbeda. *Jurnal Perikanan dan Kelautan.* 3(3): 237-244.
- Widiarti, N, Rahayu, S, dan Laili, F. 2015. Penurunan Nilai BOD COD limbah tahu menggunakan Tanaman Cyperus papyrus system wetland. *Indonesian journal of Chemical Science.* 4(1): 76-79.
- Wulandari, J., Asrizal, dan Zulhendri. 2016. Analisis Kadar Logam Berat Pada Limbah Industri Kelapa Sawit Berdasarkan Hasil Pengukuran Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Pillar Of Physics.* Vol 8. Hal: 57-64.
- Vepsäläinen, M. 2012. *Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters,* Laboratory of Green Chemistry, Mikkeli, Finland.
- Vijaya, A., N, Ma and Choo, Y., M. 2010. Capturing Biogas: A Means to Reduce Green House Gas Emissions for the Production of Crude Palm Oil. *American Journal of Geoscience.* 1(1): 1-6.
- Yacob, S, Hassan, A., M, Shirai, Y, Wakisaka, M, and Subash, S. 2006. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Science of the Total Environment.* 366: 187– 196.

- Yakoob, Z, and Ali, E. 2012. *Electrocoagulation for Treatment of Industrial Effluents and Hydrogen Production*. Licensee InTec : Malaysia.
- Yolanda, M. G. 2015. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., dan Ayu P., V. 2009. Pengolahan limbah cair industry batik pada skala laboratorium dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. 5(1): 6-11.
- Yuliani, I., Alimuddin, dan Akkas, E. 2017. Penurunan BOD Dan TSS Pada Limbah Industri Saus Secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Fe, Cu dan Stainless. *Jurnal Atomik*. 02(1): 134-139.