“DEGRADASI SENYAWA MINYAK DAN LEMAK PEMODELAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS DENGAN BANTUAN KATALIS ZnO”

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:
IQBAL AULIA FAJRI
NIM.17036051/2017

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

DEGRADASI SENYAWA MINYAK DAN LEMAK PEMODELAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS DENGAN BANTUAN KATALIS ZnO

Nama	: Iqbal Aulia Fajri
NIM	: 17036051
Program Studi	: Kimia
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 15 Februari 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika

Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui Oleh:
Pembimbing

Hary Sanjaya, M.Si
NIP. 19830428 200912 1 007

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama	: Iqbal Aulia Fajri
NIM	: 17036051
Program Studi	: Kimia
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

DEGRADASI SENYAWA MINYAK DAN LEMAK PEMODELAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS DENGAN BANTUAN KATALIS ZnO

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Padang, 15 Februari 2021

	Tim Penguji Nama	Tanda tangan
Ketua	: Hary Sanjaya, M.Si	
Anggota	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama	: Iqbal Aulia Fajri
NIM	: 17036051
Tempat/Tanggal lahir	: Pekanbaru / 29 Mei 1999
Program Studi	: Kimia
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi	: **Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fotosonolisis dengan Bantuan Katalis ZnO**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (Sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, 15 Februari 2021

Yang menyatakan

Iqbal Aulia Fajri
NIM. 17036051

DEGRADASI SENYAWA MINYAK DAN LEMAK PEMODELAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS DENGAN BANTUAN KATALIS ZnO

Iqbal Aulia Fajri

ABSTRAK

Limbah minyak dan lemak memiliki dampak negatif terhadap lingkungan perairan. Metode Fotosonolisis merupakan salah satu solusi pengolahan limbah cair yang efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan panjang gelombang maksimum dari larutan sampel, pengaruh pH larutan dan waktu radiasi terhadap degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit dengan metode fotosonolisis menggunakan atau tanpa bantuan katalis ZnO. Pengujian dengan Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa senyawa minyak dan lemak memiliki absorbansi 0,614 pada panjang gelombang maksimum di 202 nm. Uji pengaruh pH larutan sampel terhadap proses degradasi menunjukkan hasil maksimal pada pH 8 dengan nilai absorban 0,671 untuk perlakuan penambahan katalis ZnO dan 0,606 untuk perlakuan tanpa penambahan katalis ZnO. Uji pengaruh waktu maksimum degradasi pada pH 8 yaitu 120 menit dengan nilai absorbansi 0,561 untuk perlakuan penambahan dan atau tanpa penambahan katalis ZnO. Berdasarkan hasil, senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa dapat didegradasi menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis, namun dengan hasil yang belum efektif.

***Kata Kunci** : Limbah Pabrik Kelapa Sawit, Minyak dan Lemak, Fotosonolisis, Fotokatalis ZnO.*

DEGRADATION OF OIL AND FAT COMPOUNDS MODELING PALM OIL WASTE USING PHOTOSONOLYSIS METHOD WITH ZnO CATALYS TASSISTANCE

Iqbal Aulia Fajri

ABSTRACT

The waste oil and grease negatively impact the aquatic environment. The Photosonolysis method is an efficient and environmentally friendly solution for wastewater treatment. This study aims to determine the maximum wavelength of the sample solution, pH of the solution and radiation time effect on oil and fat compounds degradation modeling in palm oil mill effluent using photosonolysis method by using or without ZnO catalyst support. Testing with UV-Vis spectrophotometer showed the oil and fat compounds had an absorbance value of 0,614 at 202 nm maximum wavelength. Test for the effect of pH sample solution on degradation process showed maximum results at pH 8 with absorbance value of 0,671 for adding ZnO catalyst treatment and 0,606 for without ZnO catalyst. The maximum time degradation effect at pH 8 is 120 minutes with an absorbance value of 0.561 for adding and or without ZnO catalyst. Upon the conclusion, oil and fat compounds modeling palm oil waste can be degraded using a ZnO catalyst by photosonolysis, yet with ineffective results.

Keywords : Palm Oil Mill Effluent, Fat and Oil, Photosonolysis, ZnO photocatalyst.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang selalu dicurahkan kepada seluruh hamba-Nya. Shalawat beserta salam dikirimkan kepada tauladan ummat Islam yakninya Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah dengan nikmat dan hidayah-Nya, penulis telah dapat menyelesaikan penelitian dengan judul "**Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fotosonolisis Dengan Bantuan Katalis ZnO**".

Selama menyelesaikan penelitian ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik itu berupa saran, bimbingan dan sumbangan pemikiran. Oleh sebab itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, yang telah memberikan nikmat menuntut ilmu sehingga penulis dapat menambah wawasan di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padamg.
2. Ibu dan Ayah penulis yang telah meridhoi penulis dan memberikan semangat dalam penyelesaian penelitian ini.
3. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Dosen Pembimbing dan Penasehat Akademik.
4. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D selaku Ketua Program Studi Kimia.
5. Ibu Fitri Amelia, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

6. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D dan Bapak Ananda Putra, M.Si, Ph.D selaku Dosen Penguji.
7. Keluarga Besar Kimia 2017 atas segala dukungan dan semangat yang diberikan kepada penulis.
8. Keluarga Besar Wisma Al-Aqsa dan FORSIA FMIPA UNP atas segala dukungan, dorongan, maupun semangat di kala suka dan duka yang selalu diberikan kepada punulis.
9. Tim Fotosonolisis yang telah membantu dan bahu-membahu dalam menyelesaikan penelitian bersama ini.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Skripsi Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang Tahun 2019. Sebagai langkah penyempurnaan, penulis mengharapkan masukan, kritikan, dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan proposal ini. Semoga masukan, kritikan, dan saran yang diberikan menjadi amal ibadah, aamiin. Akhirnya penulis berharap semoga laporan hasil ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di dunia Sains.

Wassalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Padang, 14 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR LAMPIRAN ix
BAB I PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang 1
B. Identifikasi Masalah 4
C. Batasan Masalah 4
D. Rumusan Masalah 5
E. Tujuan Penelitian 5
F. Manfaat Penelitian 6
BAB II KERANGKA TEORITIS 7
A. Minyak Kelapa Sawit 7
B. Katalis Seng Oksida (ZnO) 10
C. Metode Fotosonolisis 13
D. Spektrofotometer UV-VIS 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23
A. Waktu dan Tempat 23
B. Objek Penelitian 23
C. Variabel Penelitian 24
D. Alat dan Bahan 24
1. Alat yang Digunakan 24
2. Bahan yang Digunakan 24
E. Prosedur Penelitian 25
1. Preparasi larutan minyak dan lemak model limbah pabrik kelapa sawit 25
2. Penentuan λ maks sampel menggunakan Spektrofotometer UV-Vis 25
3. Degradasi larutan sampel dengan variasi pH secara Fotosonolisis 25
4. Degradasi larutan model limbah minyak dan lemak kelapa sawit dengan variasi waktu secara Fotosonolisis 26
5. Teknis Analisa data 26
6. Skema Penelitian 27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 28
A. Penentuan panjang gelombang maksimum (λmaks) sampel menggunakan Spektrofotometer UV-Vis\.....28
B. Penentuan Pengaruh variasi pH Larutan Sampel Menggunakan Metode Fotosonolisis 29
C. Penentuan Pengaruh Variasi Waktu Degradasi Larutan Sampel Menggunakan Metode Fotosonolisis 31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 36
A. Kesimpulan 36
B. Saran.....36
DAFTAR PUSTAKA 38
LAMPIRAN..... 42

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Skema pita energi dari bahan Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator 12
2. Energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan elektrolit pada pH = 1 15
3. Ilustrasi skematis proses fotoeksitasi dan de-eksitasi pada suatu semikonduktor..... 16
4. Skema Alat Fotosonolisis 20
5. Skema Spektrofotometer UV-Vis 21
6. Kotak Reaktor Fotosonolisis yang telah dimodifikasi 23
7. Data pengukuran panjang gelombang maksimum 28
8. Pengaruh pH Larutan Sampel Terhadap Absorbansi 30
9. Pengaruh Waktu Degradasi Larutan Sampel Terhadap Absorbansi 33

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Komponen penyusun minyak sawit 8
2. Komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit 8
3. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit 9
4. Standar Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit..... 10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Preparasi Larutan Model Limbah Minyak dan Lemak Kelapa Sawit..... 42
2. Degradasi Larutan Model Limbah Minyak dan Lemak Kelapa Sawit dengan Variasi pH secara Fotosonolisis 43
3. Degradasi Larutan Model Limbah Minyak dan Lemak Kelapa Sawit dengan Variasi waktu secara Fotosonolisis 44
4. Data Kurva Spektrum Panjang Gelombang Maksimum Untuk Larutan Sampel Sebelum Degradasi 45
5. Data Absorbansi Pengaruh pH Larutan Sampel Terhadap Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Kelapa Sawit 46
6. Data Nilai Absorbansi Pengaruh Waktu Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Kelapa Sawit 47
7. Hasil Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Pabrik Kelapa Sawit pada pH 8 48
8. Hasil Degradasi Senyawa Minyak dan Lemak Pemodelan Limbah Pabrik Kelapa Sawit pada Waktu 120 menit 48

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan industri kelapa sawit terbesar di dunia. Panen rata-rata tahunan minyak sawit mentah Indonesia meningkat sebesar tiga persen pada sepuluh tahun terakhir, sedangkan wilayah yang ditanami kelapa sawit meningkat selama Sembilan tahun terakhir (Sinaga & Nasution, 2016). Prospek Perkembangan Industri kelapa sawit saat ini sangat pesat, dimana terjadi peningkatan jumlah produksi minyak kelapa sawit seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia (Herniwati, 2012)

Peningkatan produksi minyak kelapa sawit saat ini sangat berdampak pada peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, dimana untuk mendapatkan satu ton minyak kelapa sawit dihasilkan dua setengah ton limbah cair pabrik kelapa sawit (Ibrahim dkk., 2015). Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD) 25.500 mg/L, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 48.000 mg/L, *Total Suspended Solid* (TSS) 31.170 mL/L dan berwarna coklat, Nitrat 41 mL/L, minyak dan lemak 1.418,7 mL/L dan pH 4,0. Limbah ini diketahui dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan, khususnya pada badan perairan (Zulfahmi dkk., 2017).

Salah satu parameter yang menjadi perhatian adalah keberadaan minyak dan lemak. Dampak yang nyata dari adanya senyawa minyak dan lemak di permukaan air adalah terhalangnya penetrasi sinar matahari yang berarti akan

mengurangi laju proses fotosintesis di air, sehingga akan mengganggu serta membunuh kehidupan organisme yang ada di air (Hendrawan, 2007).

Sistem pengolahan limbah cair pada pabrik kelapa sawit umumnya sangat sederhana, yakni berupa kolam penampung limbah cair yang berukuran besar dan berjumlah banyak. Meskipun sederhana dan relatif murah, namun secara teknis kolam tersebut kurang dioperasikan dan dipelihara secara benar dan baik, akibatnya kolam tersebut hanya menjadi tempat penampungan limbah sementara sebelum akhirnya mengalir dan terbuang ke badan sungai (Lestari, 2017). Untuk mendapatkan pengolahan air limbah yang efisien dan ramah lingkungan, maka digunakanlah Proses Oksidasi Lanjutan atau *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) seperti fotolisis, fotokatalis heterogenesis, sonolisis, fenton dan proses foto-fenton, ozonasi dan perlakuan UV/O_3. Proses oksidasi lanjutan ini akan menghasilkan radikal hidroksil oksidatif (•OH) yang kuat dan memiliki kepekaan terhadap oksidan kimia, sehingga dapat menghancurkan struktur polutan oganik dari sampel (Ghazali dkk., 2019).

Pada proses sonolisis, polutan organik dihancurkan baik oleh pirolisis langsung dalam gelembung kavitasi, atau serangan radikal bebas di daerah antarmuka dan dalam larutan limbah. Akan tetapi, proses sonolisis tidak dapat mencapai target degradasi total khususnya dalam hal senyawa hidrofilik, karena sulit bagi proses ini untuk mentransfer radikal •OH ke daerah hidrofobik gelembung kavitasi, di mana sebagian besar proses degradasi terjadi. Tetapi, gabungan dari metode sonolisis dan fotolisis dapat

meningkatkan proses degradasi senyawa organik dalam larutan limbah (Wu dkk., 2001).

Fotosonolisis merupakan salah satu metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) yang mengkombinasikan metode fotolisis dan sonolisis dengan kehadiran katalis (Rashid & Sato, 2011). Pada proses fotolisis terjadi interaksi molekul air dan radiasi sinar UV sedangkan pada proses sonolisis dihasilkan gelombang mekanik dengan mempengaruhi efek kavitasi (Safni dkk., 2008).

Seng Oksida adalah bahan semikonduktor tipe-n yang memiliki celah pita (*band gap*) sebesar 3,37 eV, dan energi ikat sebesar 60 MeV. Katalis ZnO sering digunakan sebagai fotokatalis dalam mendegradasi polutan organik, karena memiliki aktifitas katalitik yang jauh lebih baik dari bahan lainnya, sebab katalis ZnO dapat menyerap spektrum cahaya yang lebih luas dibandingkan bahan semikonduktor lainnya (Sistesya & Sutanto, 2013).

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **"Degradasi Senyawa Minyak Dan Lemak Pemodelan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fotosonolisis Dengan Bantuan Katalis Zno"**. Pada penelitian ini diharapkan dengan menggunakan metode fotosonolisis dapat mengetahui keefektifan dalam mendegradasi senyawa minyak dan lemak limbah pabrik kelapa sawit menggunakan katalis ZnO.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Peningkatan produksi minyak kelapa sawit berdampak pada limbah yang dihasilkan, yang mana untuk memproduksi satu ton minyak kelapa sawit, menghasilkan dua setengah ton limbah cair pabrik kelapa sawit. Sehingga hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan perairan.
2. Senyawa Minyak dan Lemak limbah pabrik kelapa sawit sangat meresahkan ketika sudah tercemar ke perairan, karena dapat menghambat proses fotosintesis air dan mengganggu kehidupan organisme di dalam air.
3. Beberapa metode telah diupayakan untuk meminimalisir senyawa minyak lemak limbah kelapa sawit, akan tetapi metode tersebut masih memiliki kekurangan yang menyebabkan proses tidak efektif.

C. Batasan Masalah

1. Sampel senyawa minyak dan lemak diambil dari larutan pemodelan limbah pabrik kelapa sawit, untuk mengurangi variabel pengganggu dalam penelitian ini.
2. Pendegradasian senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit menggunakan metode Fotosonolisis, yang merupakan gabungan dari metode Fotolisis dan Sonolisis.

3. Katalis ZnO digunakan untuk mempercepat proses degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit menggunakan metode Fotosonolisis.
4. Variasi pH larutan minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit yang digunakan adalah pH 3, 4, 5, 6, 7, 8.
5. Variasi waktu radiasi pada proses degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit yang digunakan adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pH larutan sampel terhadap hasil degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit menggunakan metode fotosonolisis dengan bantuan katalis dan tanpa bantuan katalis?
2. Bagaimana pengaruh waktu yang dibutuhkan dalam mendegradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit menggunakan metode fotosonolisis dengan bantuan katalis dan tanpa bantuan katalis?
3. Bagaimana pengaruh katalis ZnO dalam mendegradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit menggunakan metode fotosonolisis?

E. Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh pH larutan sampel terhadap degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit.

2. Menentukan pengaruh waktu fotosonolisis terhadap degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit.
3. Menentukan pengaruh penambahan katalis ZnO pada degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit.

F. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana edukasi dan sumbangsih bagi ilmu pengetahuan dalam pengembangan metode fotosonolisis untuk mendegradasi senyawa organik pada larutan limbah cair dengan cara yang efektif dan efisien serta dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya agar proses pendragadasian ini dapat diterapkan dalam industri skala besar.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) adalah minyak nabati edibel yang didapatkan dari mesocarp buah pohon kelapa sawit dari spesies *Elaeis guineensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa*. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (*Palm kernel oil*) yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Minyak kelapa sawit juga berbeda dengan minyak kelapa yang dihasilkan dari inti buah kelapa (*Cocos nucifera*). Perbedaan ada pada warna (minyak inti sawit tidak memiliki karotenoid sehingga tidak berwarna merah), dan kadar lemak jenuhnya. Minyak sawit mengandung 41% lemak jenuh, minyak inti sawit 81% dan minyak kelapa 86% (Pamani, 2014).

Asam lemak yang terkandung di dalam minyak kelapa sawit sebagian besar adalah asam lemak jenuh yaitu asam palmitat. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya, sedangkan asam lemak tak jenuh mempunyai paling sedikti satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi dengan oksigen) daripada asam lemak tak jenuh. Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk yaitu *trans* (stabil) dan *cis* (tidak stabil) (Pamani, 2014).

Sifat kimia-fisika minyak kelapa sawit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Komponen penyusun minyak sawit

Komponen	Komposisi (%)
Trigliserida	95,62
Asam lemak bebas	4,00
Air	0,20
Phosphatida	0,07
Karoten	0,03
Aldehid	0,07

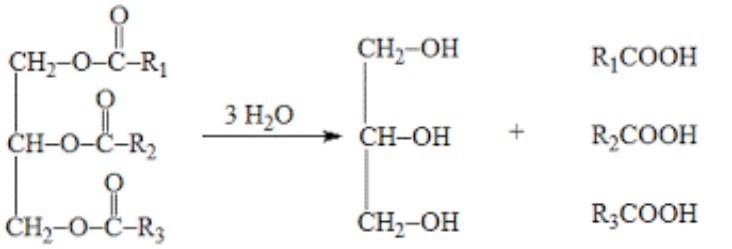
Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit

Jenis asam lemak	Komposisi (%)
Laurat (C12:0)	<1,2
Miristat (C14:0)	0,5 – 5,9
Palmitoleat (C16:1)	<0,6
Palmitat (C16:0)	32 – 59
Stearat (C18:0)	1,5 – 8
Oleat (C18:1)	27 – 52
Linoleat (C18:2)	5,0 – 14
Linolenat (C18:3)	<1,5

(Pamani, 2014).

Senyawa minyak dan lemak merupakan senyawa yang terbentuk dari trigliserida sebagai komponen utama. Trigliserida adalah triester yang terbentuk dari satu molekul gliserol dan tiga molekul asam lemak, sehingga disebut juga triasilgliserol (TAG) (McMurry, 2008). Dalam proses degradasi, rantai trigliserida akan diputus menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti asam lemak dan gliserol, serta hasil akhir dari degradasi ialah menghasilkan

senyawa H_2O dan CO_2. Mekanisme sederhana pemecahan struktur trigliserida minyak dan lemak dalam air dapat dilihat pada reaksi dibawah ini:



Trigliserida Gliserol Asam Lemak

(Fessenden & Fessenden, 1986).

Limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) berasal dari proses produksi minyak mentah kelapa sawit (CPO). Kandungannya antara lain 95 – 96 % air dan 4 -5 % padatan total. Karbohidrat 29,55 %, lemak 10,21 %, dan protein 12,75 %. Beberapa senyawa mineral makro dan mikro antara lain seperti Kalium (K), Natrium (Na), Kalsium (Ca), Besi (Fe), Seng (Zn), Kromium (Cr), dan lainnya. Limbah ini tidaklah beracun, tetapi menyebabkan bencana lingkungan karena dibuang di kolam terbuka dan melepaskan gas metana dan gas berbahaya lainnya dalam jumlah besar yang menyebabkan emisi gas rumah kaca (Sinaga & Nasution, 2016).

Adapun karakteristik dari limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit

No	Parameter	Satuan	Kisaran
1	*Biological Oxygen Demand* (BOD)	mg/L	20.000 – 30.000
2	*Chemical Oxygen Demand* (COD)	mg/L	40.000 – 60.000
3	*Total Suspended Solid* (TSS)	mg/L	15.000 – 40.000
4	*Total Solid* (TS)	mg/L	30.000 – 70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/L	1.000 – 7.000

6	NH_3-N	mg/L	30 – 40
7	N Total	mg/L	500 – 800
8	Suhu	^oC	90 – 140
9	pH	-	4 - 6

(Trisakti dkk., 2012).

Sedangkan standar mutu limbah cair kelapa sawit supaya dapat dibuang ke badan perairan Indonesia terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Parameter Standar Mutu	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
BOD_5	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Amonia Total (sebagai NH_3-N)	50	0,125
pH	6,0 – 9,0	
Debit Limbah Maksimum	2,5 m^3 ton bahan baku	

(Kementerian Lingkungan Hidup, 2014)

B. Katalis Seng Oksida (ZnO)

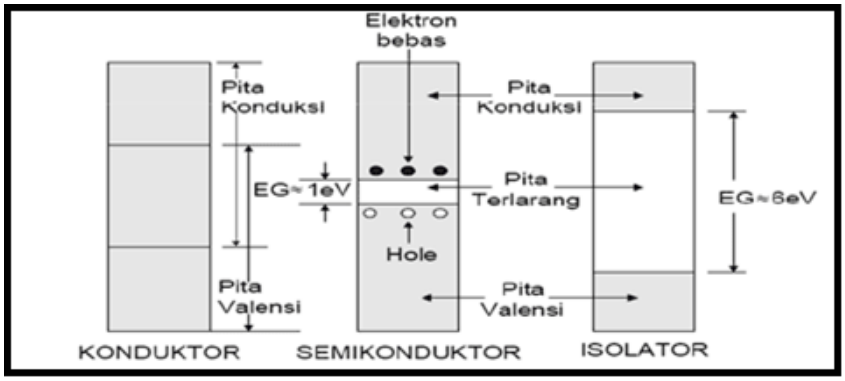
Katalis merupakan suatu zat kimia yang dapat mempercepat reaksi, tetapi tidak ikut bereaksi. Dengan kata lain, pada akhir reaksi masih terdapat katalis, tetapi dengan efisiensi yang lebih rendah dari sebelumnya. Katalis terbagi atas tiga jenis, yaitu katalis konduktor, semikonduktor, dan isolator.

Katalis semikonduktor merupakan katalis dengan sifat konduktivitas listrik yang berada diantara konduktor dan isolator. Semikonduktor memiliki struktur pita yang sama dengan isolator, tetapi memiliki energi *bandgap* yang

berbeda, sehingga semikonduktor memiliki sifat yang berbeda dari isolator. Energi *bandgap* adalah besaran energi yang diperlukan suatu elektron untuk tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Energi *bandgap* sangat memengaruhi proses fotosonolisis. Jika suatu semikonduktor memiliki celah pita cukup besar, maka elektron tidak mampu tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Namun ketika disinari oleh suatu foton atau proses fotolisis, maka elektron dapat terseksitasi ketingkat pita konduksi dan terbentuk lubang pada pita valensi. Ada beberapa hal yang memengaruhi reaksi fotokatalis dari suatu semikonduktor dilihat dari struktur pita yang dimilikinya :

1. Pita Larangan, disebut juga energi gap. Pita ini terbentuk diantara pita valensi dan pita konduksi, sedangkan energi gap yaitu energi yang dibutuhkan suatu elektron untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi.
2. Pita konduksi, merupakan tempat bergeraknya elektron yang terlepas dari atom, sehingga atom dapat bergerak bebas dan menghantarkan energi listrik.
3. Pita valensi. Terbentuknya pita valensi disebabkan oleh elektron yang lepas dari ikatan suatu atom karena menerima sebuah energi.

Berdasarkan prinsip pita energi, semikonduktor memiliki pita valensi yang penuh, pita konduksi yang kosong, dan pita terlarang yang sangat kecil. Berikut skema pita energi dari bahan konduktor, semikonduktor, dan isolator.



Gambar 1. Skema pita energi dari bahan Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator

Seng Oksida merupakan senyawa anorganik dengan formula ZnO. Biasanya senyawa ini berbentuk bubuk putih, hampir tidak larut dalam air. Serbuk banyak digunakan sebagai adiktif ke dalam berbagai bahan dan produk termasuk plastik, keramik, kaca, semen, karet (misalnya ban mobil) dan pelumas (Battez et al., 2008).

ZnO termasuk logam transisi yang sering digunakan sebagai katalis, karena memiliki sifat yang unik seperti penyerapan radiasi yang baik dan fotostabilitas yang baik, serta memiliki harga yang lebih murah dan ramah lingkungan. Katalis ZnO juga dapat di detoksifikasi oleh air, sehingga asam peroksida yang dihasilkan berada di ambang batas (Pimentel dkk., 2016).

Seng (Zn) mudah bereaksi dengan asam bukan pengoksida, melepaskan H_2 dan menghasilkan ion divalensi. Selain itu Seng (Zn) juga mudah bereaksi pada temperatur tinggi dalam O_2 menghasilkan oksida, serta larut dalam basa kuat karena kemampuannya membentuk ion zinkat, biasanya ditulis ZnO_2^2 (Cotton, 1989).

$$Zn + 2OH^- \longrightarrow ZnO_2^{2-} + H_2$$

ZnO memiliki beberapa sifat yang menguntungkan misalnya transparansi yang baik, mobilitas elektron yang tinggi, dan celah pita yang lebar, sehingga

dengan memiliki celah pita energi yang lebar maka ZnO transparan terhadap sinar tampak (400-700 nm). Dengan pencahayaan ultraviolet (<400 nm) permukaan ZnO mempunyai kemampuan mengionisasi reaksi kimiawi. Absorbsi sinar ultraviolet (<400 nm) oleh ZnO akan diikuti perpindahan elektron pita valensi ke pita konduksi sehingga terbentuk pasangan elektron (e^-) dan *hole* positif (h^+) (Susanto & Wibowo, 2015).

Katalis ZnO memiliki *bandgap* sebesar 3,2 - 3,3 eV pada temperatur ruang dan eksitasi energi sebesar 60 MeV (Wong & Searson, 1999). Karena memiliki nilai *bandgap* yang cukup tinggi inilah yang membuat senyawa ZnO mampu menyerap energi matahari (foton) lebih banyak. Selain itu semikonduktor ini juga dapat menyerap panjang energi cahaya matahari sekitar 390 nm untuk fotokatalisis limbah yang diinginkan, artinya semikonduktor ZnO dapat mengeksitasi elektron dari sinar berenergi rendah untuk menghasilkan elektron dan *hole* positif (Gunlazuardi, 2001).

C. Metode Fotosonolisis

Metoda Fotosonolisis merupakan bagian dari AOPs (*Advanced Oxidation Process*) atau disebut juga dengan metode oksidasi lanjut. Fotosonolisis berasal dari dua kata yakni fotolisis dan sonolisis.

Fotolisis merupakan pemecahan suatu senyawa dengan bantuan energi matahari (foton). Pada proses fotolisis, terjadi reaksi antara foton dengan suatu senyawa, sehingga terjadi pemecahan senyawa tersebut. Mekanisme reaksi fotolisis yaitu sebagai berikut (Joseph dkk., 2015).

$$2H_2O \longleftrightarrow H_3O^+ + OH^- \text{ (disosiasi air)}$$

$$OH^- + hv \longrightarrow \bullet OH$$

Fotokatalis merupakan metoda lanjutan dari fotolisis. Fotokatalis yaitu suatu reaksi fotokimia yang menggabungkan antara foton dan katalis, guna mempercepat suatu reaksi fotokimia. Reaksi fotokatalis juga termasuk bagian AOPs dengan reaksi umum sebagai berikut (Yahdiana, 2011).

$$(\mathrm{Ox}_1)_{\mathrm{ads}} + (\mathrm{Red}_2)_{\mathrm{ads}} \xrightarrow[hv > E_g]{semiconductor} \mathrm{Red}_1 + \mathrm{Ox}_2$$

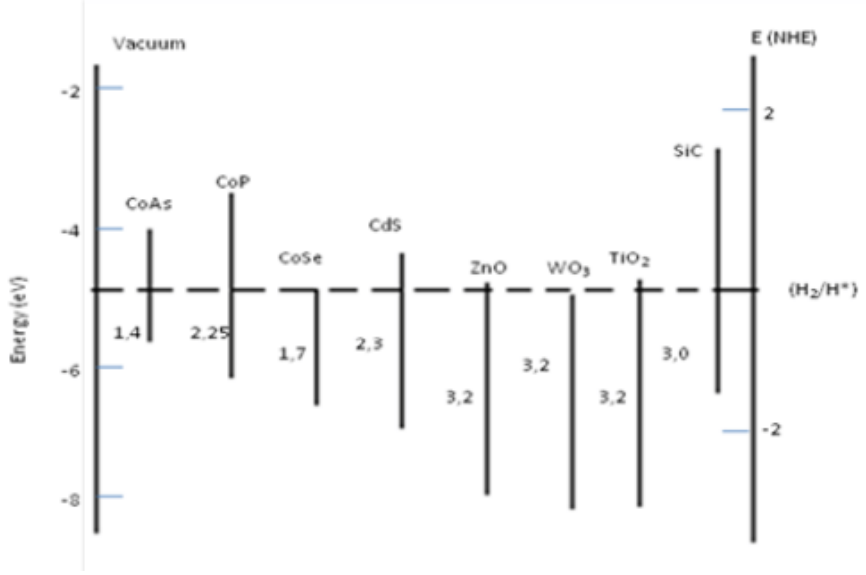
Secara umum fotokatalitik terbagi menjadi dua yaitu fotokatalitik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah reaksi fotokatalitik dengan bantuan oksidator seperti ozon (O_3) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Fotokatalitik heterogen merupakan reaksi yang didasarkan pada irradiasi sinar UV pada semikonduktor seperti Titanium Oksida (TiO_2), Seng Oksida (ZnO) dan Kadmium Sulfida (CdS) (Yahdiana, 2011).

Fotokatalis heterogen adalah salah satu AOPs yang didasarkan pada penyerapan langsung atau tidak langsung dari foton sinar ultraviolet (UV) atau cahaya tampak oleh semikonduktor yang memiliki celah energi yang tepat (Malato dkk., 2003; Cotto-Maldonado dkk., 2013).

Bahan semikonduktor memiliki daerah energi kosong (*volt energy region*). Dalam daerah tersebut tidak tersedia tingkat-tingkat energi untuk rekombinasi elektron dan *hole* yang diproduksi oleh proses fotoeksitasi dan semikonduktor tersebut. Daerah kosong itu memanjang dari puncak pita valensi terisi (*filled valency band*) disebut celah pita (*bandgap*). Celah pita tersebut menetukan sensifitas panjang gelombang dari semikonduktor yang bersangkutan terhadap radiasi (Linsebigler dkk., 1995).

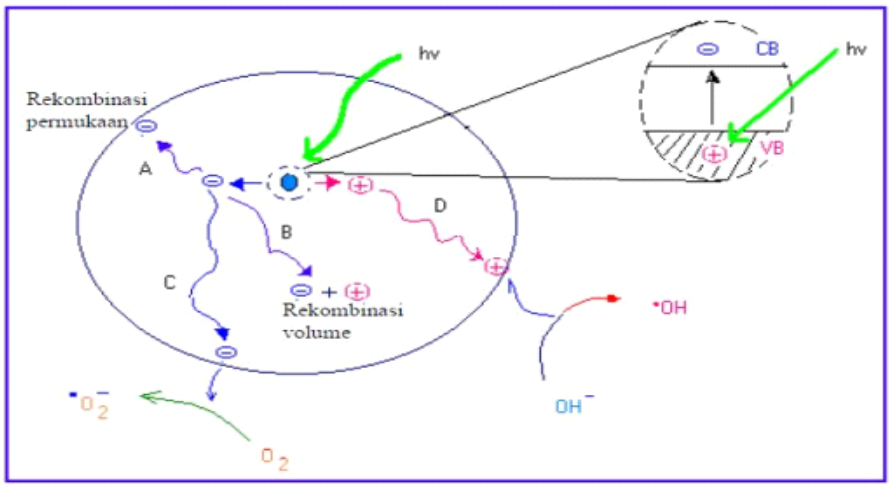
Untuk fotokatalis semikonduktor menjadi efisien, proses antarmuka elektron yang berbeda melibatkan e^- dan h^+ harus bersaing secara efektif dengan proses deaktivasi besar yang melibatkan e^- dan h^+ rekombinasi, yang mungkin terjadi dalam jumlah besar atau di permukaan. Idealnya fotokatalis semikonduktor harus kimia dan biologis inert, stabil, mudah untuk diproduksi dan digunakan, efisien diaktifkan oleh sinar matahari, dapat efisien mengkatalisis reaksi, murah, dan tanpa risiko bagi lingkungan atau manusia (Yahdiana, 2011).

Besarnya energi celah, posisi pita valensi, pita konduksi dan perbandingan dengan besarnya potensial redoks relatif terhadap elektroda hidrogen (potensial hidrogen Nernst) dari beberapa semikonduktor dapat dilihat pada gambar 2 (Linsebigler dkk., 1995).



Gambar 2. Energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan elektrolit pada pH = 1

Proses fotoeksitasi dan de-eksitasi dari suatu semikonduktor dapat dilihat dari gambar ilustrasi berikut (Linsebigler dkk., 1995).



Gambar 3. Ilustrasi skematis proses fotoeksitasi dan de-eksitasi pada suatu semikonduktor

Dari gambar 3 menunjukan eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi yang disebabkan penyerapan energi yang sama atau lebih besar dari *bandgap* semikonduktor. Penyerapan sinar matahari (UV) oleh partikel fotokatalis akan membentuk 2 pasang elektron dan *hole*. Elektron akan bereaksi dengan oksigen dari larutan membentuk anion (O^{2-}) yang dapat mengoksidasi secara kuat hidroksil radikal (•OH). Sedangkan *hole* akan mengoksidasi hidroksil yang terlarut dan membuatnya menjadi radikal dengan energi yang besar. Hidroksil radikal yang memiliki energi yang besar akan mengubah polutan organik menjadi zat yang tidak berbahaya (Bhernama dkk., 2015).

Sonolisis merupakan metoda AOPs untuk mendegradasi polutan organik dalam media air menggunakan gelombang ultrasonik. Radiasi ultrasonik yang beroperasi yaitu pada frekuensi 20 - 500 kHz. Degradasi polutan organik dengan gelombang ultrasonik biasanya akan membutuhkan energi yang besar dan waktu reaksi yang lama (Destaillats dkk., 2001).

Sonolisis mampu merubah polutan organik menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) atau merubah polutan tersebut menjadi senyawa yang kurang berbahaya dibandingkan polutan awal. Gelombnag ultrasonik dalam air limbah memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa yang sukar terurai karena dalam prosesnya akan menghasilkan radikal OH dan efek kavitasi (Stock dkk., 2000).

Sonolisis melibatkan penggunaan gelombang *ultrasound* untuk menjalankan proses oksidasi radikal OH yang dihasilkan melalui efek kavitasi. Reaksi antara radikal OH dan molekul polutan dapat terjadi di dalam gelembung (*pyrolysis*) atau antarmuka gelembung cair atau di *bulk* tergantung pada sifat dari polutan (Elvinawati, 2009; Madhavan dkk., 2010).

Efek kavitasi muncul karena adanya energi mekanik yang dihasilkan dari gelombang ultrasonik dan tidak diserap oleh molekul. Menurut (Mahvi, 2009), proses kavitasi ultrasonik dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu sebagai berikut.

1. Tahap nukleasi atau pembentukan gelembung

   Tahap ini terjadi karena adanya gelembung mikro yang terperangkap dalam celah mikro partikel yang tersuspensi dalam air.

2. Tahap Pertumbuhan Gelembung

   Akibat adanya intensitas gelombang ultrasonik yang tinggi, gelembung-gelembung mikro akan semakin membesar. Dengan ultrasonikasi pada intensitas tinggi, gelembung mikro akan tumbuh dengan sangat cepat. Sedangkan pada intensitas rendah, laju pertumbuhan dari gelembung menjadi lebih lambat. Hal ini dikarenakan

gelembung akan melewati beberapa siklus akustik terlebih dahulu sebelum akhirnya membesar.

3. Tahap Pecahnya Gelembung atau *Implosive collapse*

Setelah gelembung partikel yang membesar tersebut menerima gelombang ultrasonik yang melebihi ambang batas (20 kHz untuk larutan) maka gelembung partikel tadi akan terus menerus membesar, hingga ia tidak mampu menyerap energi yang dihasilkan oleh gelombang suara secara efisien dan akhirnya pecah. Pemecahan pada tahap sonikasi ini akan menghasilkan radikal bebas yang dapat mendegradasi zat organik. Tahap ini juga disebut dengan *catastrophic collapse*.

Proses sonolisis menghasilkan spesies-spesies reaktif seperti •OH, •H dan HO_2• dalam larutan berair teroksigenasi. Efek dari sonolisis pada larutan air adalah memecah air menjadi •OH, dan •H yang dapat merusak senyawa organik dalam larutan. Rusaknya senyawa organik tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa organik intermediet dan jika sonolisis terus berlangsung maka pada akhirnya akan menjadi molekul CO_2, H_2O, HNO_3 dan sebagainya (Safni dkk., 2008).

Proses degradasi oleh sonolisis akan terus berlangsung selama proses sonikasi. Dimana persamaan reaksi yang terjadi yaitu:

$$H_2O +))) \rightarrow H\bullet + \bullet OH$$

$$H\bullet + O_2 \rightarrow \bullet OH$$

$$HO_2\bullet + HO_2\bullet \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$\bullet OH + \bullet OH \rightarrow H_2O_2$$

Dimana tanda))) menunjukkan proses sonikasi (Joseph dkk., 2015).

Molekul zat terlarut yang berdifusi kedalam gelembung mampu men-degradasi senyawa berbahaya karena bersifat sangat reaktif. Radikal OH adalah radikal bebas utama yang berperan dalam reaksi degradasi, akan tetapi radikal OH yang dihasilkan tersebut juga dapat bergabung satu sama lain membentuk senyawa H_2O_2 dalam air, dan akan mengurangi efisiensi degradasi sonolisis. Untuk meningkatkan efisiensi degradasi sonolisis, ditambakan katalis yang dapat meningkatkan produksi radikal OH sehingga mempercepat proses degradasi senyawa organik (Peller dkk., 2001).

Fotosonolisis adalah reaksi yang disebabkan oleh penggunaan gabungan dari sinar ultraviolet (UV) dan *ultrasonication* (AS) dengan atau tanpa kehadiran katalis. Dibandingkan dengan fotolisis dan sonolisis, fotosonolisis adalah teknologi pengolahan air yang lebih baru dan telah dipelajari, terutama dalam penghapusan senyawa organik (Rashid & Sato, 2011).

Metode fotosonolisis ini menggabungkan antara katalis semikonduktor dengan sumber foton yang berasal dari cahaya matahari. Elektron dari katalis yang dihasilkan akan mengalami perubahan pita valensi menjadi pita konduksi, dikarenakan adanya energi *bandgap*. Selain itu proses ini akan menghasilkan lubang dan hidroksil kuat yang bertindak sebagai oksidan bagi senyawa target (Safni dkk., 2009).

Persamaan reaksi dari proses fotosonolisis:

$$H_2O +))) \longrightarrow \bullet OH + \bullet H$$

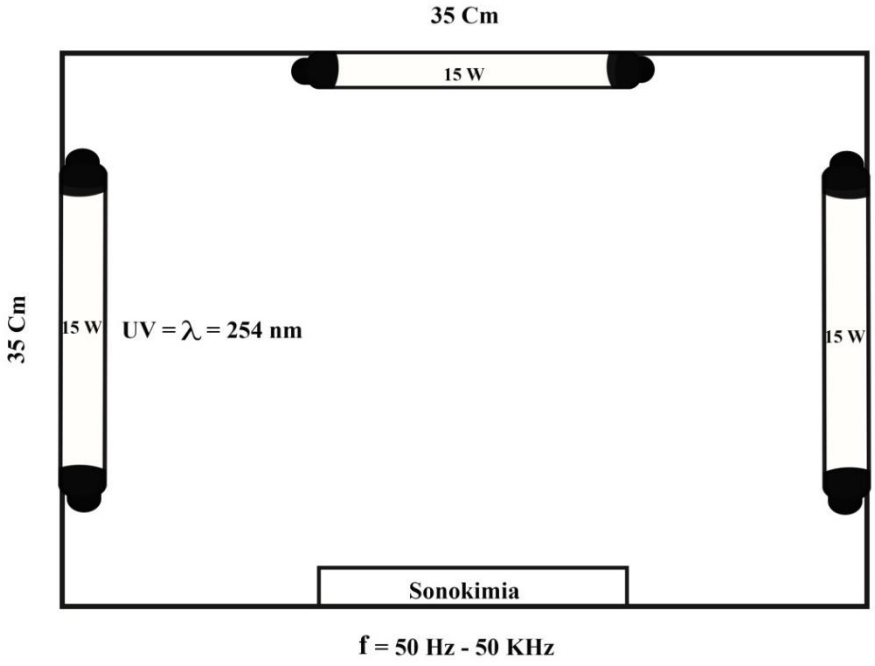
$$H_2O +))) \longrightarrow \tfrac{1}{2} H_2 + \tfrac{1}{2} H_2O_2$$

$$H_2O_2 + h\nu \longrightarrow 2\bullet OH$$

$$H_2O_2 +))) \longrightarrow 2 \bullet OH$$

dimana,))) menunjukkan proses sonikasi dan *hv* menunjukkan proses radiasi ultraviolet (UV) (Joseph dkk., 2015).

Skema alat sederhana yang digunakan untuk analisis fotosonolisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



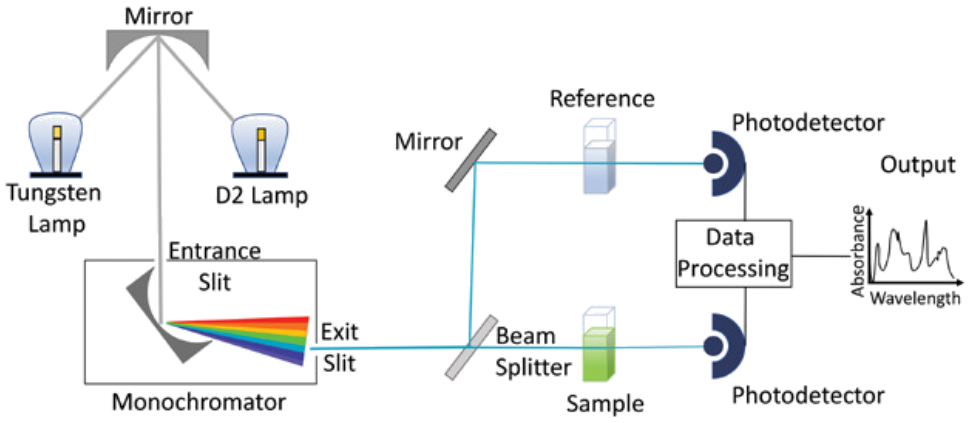
Gambar 4. Skema Alat Fotosonolisis

D. Spektrofotometer UV-VIS

Analisa Spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan molekul atau zat yang dianalisa. Spektrofotometri UV-Vis adalah suatu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet (190 - 380 nm) dan sinar tampak (380 - 780 nm) dengan memakai instrumen Spektrofotometer UV-Vis.

Spektrofotometer UV-Vis terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. Spektrofotometer tersusun atas sumber spektrum yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau blanko dan suatu alat untuk mengukur perbedaan absorpsi antara sampel dan blanko ataupun pembanding (Khopkar, 1990).

Skema Spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Skema Spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran dengan Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak digunakan untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Metoda ini sangat sensitif dan sangat cocok untuk tujuan analisis. Spetrofotometri UV-Vis sangat kuantitatif dan jumlah sinar yang diserap oleh sampel dikemukakan dalam hukum *Lambert-Beer*.

Hukum *Lambert* menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya yang diserap oleh suatu bahan/medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya

yang datang. Hukum ini hanya berlaku jika tidak terjadi reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipengaruhi oleh berkas cahaya datang tersebut.

$$\boldsymbol{A = \varepsilon\, b\, c}$$

A adalah Absorbansi, ε adalah absorptivitas molar (dalam L mol^{-1} cm^{-1}), c adalah konsentrasi molar ($mol.L^{-1}$) dan b adalah panjang/ketebalan dari bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm) (Day & Underwood, 2002).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. pH maksimum larutan sampel terhadap hasil degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah kelapa sawit secara fotosonolisis adalah pH 8 dengan absorbansi yang paling kecil dibandingkan pada pH lainnya yaitu pada penambahan katalis ZnO 0,1 gram memiliki nilai absorbansi 0,671 dan tanpa penambahan katalis ZnO memiliki nilai absorbansi 0,606.
2. Waktu maksimum degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah kelapa sawit secara fotosonolisis pada pH 8 dengan penambahan katalis ZnO 0,1 gram maupun tanpa penambahan kalalis ZnO adalah 120 menit dengan absorbansi yang sama di kedua perlakuan yaitu 0,561.
3. Senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit dapat didegradasi menggunakan metode fotosonolisis dengan bantuan katalis ZnO, namun dengan hasil yang belum efektif.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberi saran antara lain:

1. Proses degradasi senyawa minyak dan lemak pemodelan limbah pabrik kelapa sawit didalam air sebaiknya dilakukan dengan menggunakan katalis yang berbeda.

2. Larutan surfaktan yang digunakan pada proses preparasi larutan minyak dan lemak didalam air sebaiknya diganti dengan larutan surfaktan yang lebih tepat.

3. Perlu adanya pemahaman lebih lanjut terkait degradasi senyawa minyak dan lemak di dalam air, serta mengetahui senyawa akhir yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

Battez, A. H., Gonzalez, R., Viesca, J. L., Fernandez, J. E., Fernandez, J. M. D., Machado, A., Chou, R., & Riba, J. (2008). CuO , ZrO_2 and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants. *Journal of Wear*, *265*, 422–428. https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.11.013

Bhernama, B. G., Safni, & Syukri. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Fotolisis dan Penyinaran Matahari dengan Penambahan Katalis TiO2 - anatase dan SnO2. *Journal of Islamic Science and Technology*, *1*(1), 49–62.

Cotto-Maldonado, M. C., Campo, T., Elizalde, E., Gómez-martínez, A., Morant, C., & Márquez, F. (2013). Photocatalytic Degradation of Rhodamine-B Under UV-Visible Light Irradiation Using Different Nanostructured Catalysts. *American Chemical Science Journal*, *3*(3), 178–202.

Cotton, F. . (1989). *Kimia Anorganik Dasar*. Universitas Indonesia.

Day, R., & Underwood, A. L. (2002). *Analisa Kuantitatif Kimia (Terjemahan Sopyan, I.,)*. Penerbit Erlangga.

Destaillats, H., Ii, T. W. A., & Hoffmann, M. R. (2001). Applications of Ultrasound in NAPL Remediation : Sonochemical Degradation of TCE in Aqueous Surfactant Solutions. *Environmental Science and Technology*, *35*(14), 3019–3024.

Dini, E. W. P., & Wardhani, S. (2014). Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chemical Progress*, *7*(1), 29–33.

Elvinawati. (2009). Degradasi Asam 2,4-diklorofenoksiasetat (2,4-D) dalam Pestisida Santamin 865 SL Secara Fotolisis dan Sonolisis dengan Penambahan Katalis TiO2 Anatase. *Exacta*, *VII*(2), 63–68.

Fessenden, R. ., & Fessenden, J. S. (1986). *Kimia Organik Dasar Edisi Ketiga Jilid 2 (Terjemahan oleh A.H. Pudjaatmaka)*. Erlangga.

Ghazali, S. S., Jusoh, R., & Haslinda Shariffuddin, J. (2019). Parameter Affecting Photocatalytic Degradation of POME using LaCa as Photocatalyst. *Materials Today: Proceedings*, *19*, 1173–1182. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.120

Gunlazuardi, J. (2001). *Fotokatalisis pada Permukaan TiO2 : Aspek Fundamental dan Aplikasinya*.

Hendrawan, D. (2007). Kualitas Air Sungai Ciliwung Ditinjau Dari Parameter Minyak Dan Lemak (Water Quality of Ciliwung River Refer to Oil and Grease Parameter). *Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, *1*(April), 85–93.

Herniwati. (2012). *Uji Kelayakan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit pt. Perkebunan Nusantara II prafi - manokwari*. Universitas Negeri Papua.