

**DEGRADASI LIMBAH MINYAK BUMI
MENGUNAKAN MEMBRAN KOMPOSIT
POLYVINYLIDENEFLOURIDE (PVDF)/KARBON
AKTIF DARI KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta*)
/SINTESIS TiO_2**

TESIS

**OLEH
KHAIRIL INSANI
94218002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2020**

**DEGRADASI LIMBAH MINYAK BUMI
MENGUNAKAN MEMBRAN KOMPOSIT
POLYVINYLIDENEFLOURIDE (PVDF)/KARBON
AKTIF DARI KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta*)
/SINTESIS TiO₂**

KHAIRIL INSANI

94218002



TESIS

**Untuk memperoleh gelar Magister dalam bidang ilmu Teknik Kimia pada Universitas
Muhammadiyah Palembang**

**Dengan wibawa Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang dipertahankan pada
tanggal 26 Agustus 2020 Di Universitas Muhammadiyah Palembang**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**DEGRADASI LIMBAH MINYAK BUMI MENGGUNAKAN
MEMBRAN KOMPOSIT *POLYVINYLIDENEFLOURIDE*
(PVDF)/KARBON AKTIF DARI KULIT SINGKONG (*Manihot
esculenta*)/SINTESIS TiO₂**

TESIS

NAMA : KHAIRIL INSANI

NIM : 94218002

Disetujui untuk disampaikan kepada Panitia Penguji

Pada Tanggal :

Pembimbing 1



Dr. Ir. Marhaini., M.T

Pembimbing 2



Sri Martini, S.T., M.T., Ph.D

**Mengetahui
Ketua Program Studi**



Dr. Ir. Elfidiah., M.T

Saya yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : Khairil Insani
NIM : 94218002
Program Studi : Teknik Kimia

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Magister Pendidikan baik di Universitas Muhammadiyah Palembang maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Didalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Palembang, 27 Agustus 2020
Yang membuat pernyataan,



(Khairil Insani)

**DEGRADATION OF NATURAL OIL WASTE USING A
POLYVINYLIDENEFLOURIDE (PVDF) COMPOSITE MEMBRANE/
ACTIVATED CARBON WASTE OF Cassava (*Manihot esculenta*)
/ SYNTHESIS TiO₂**

Khairil Insani¹, Marhaini^{2*}, Sri Martini³

*1, 2, 3. Post-graduate Chemical Engineering Study Program, Muhammadiyah University of
Palembang*

*marhainiump@gmail.com

ABSTRACT

Oil and gas are still the main sources of energy for human use for various needs in industry, transportation and households. Every petroleum activity, from exploration to refining oil, can result in petroleum refinery wastewater which contains harmful and carcinogenic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene, xylene and heavy metals. Membrane composite consisting of polyvinylidene fluoride (PVDF), cassava peel derived activated carbon (AC), and synthesized TiO₂ is one of the potential technology for industrial wastewater treatment as it can generate an excellent outcome compared to a single method such as flotation, coagulation, sole-membrane, or biological methods. Therefore, the purpose of this study was to analyze the composition influence of the PVDF/AC/TiO₂ membrane composite on the membrane performance for treating raw petroleum refinery wastewater. This study found that the addition of both AC and TiO₂ to the fabricated PVDF membrane can positively affect the antifouling properties of membrane pore and surfaces. The experimental results also showed that the addition of additives substances by 3 % resulted in the best performance of the membrane regarding its permeate quality.

*Keywords: cassava peel (*Manihot esculenta*), Activated carbon, PVDF membrane, petroleum wastewater, TiO₂*

**DEGRADASI LIMBAH MINYAK BUMI MENGGUNAKAN MEMBRAN
KOMPOSIT *POLYVINYLIDENEFLOURIDE* (PVDF)/KARBON AKTIF
DARI KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta*)/SINTESIS TiO₂**

Khairil Insani¹, Marhaini^{2*}, Sri Martini³

^{1, 2, 3}Pasca Sarjana Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang
^{*}marhainiump@gmail.com

ABSTRAK

Minyak dan gas bumi masih menjadi sumber energi utama untuk digunakan manusia untuk berbagai kebutuhan di industri, transportasi dan rumah tangga. Setiap aktivitas perminyakan, mulai dari eksplorasi hingga pemurnian minyak, dapat menghasilkan limbah cair kilang minyak bumi yang mengandung senyawa berbahaya dan karsinogenik seperti benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, dan logam berat. Komposit membran yang terdiri dari polyvinylidene flouride (PVDF), karbon aktif turunan kulit singkong (AC), dan TiO₂ hasil sintesis merupakan salah satu teknologi potensial untuk pengolahan air limbah industri karena dapat menghasilkan hasil yang sangat baik dibandingkan dengan metode tunggal seperti flotasi, koagulasi, sol -membrane, atau metode biologis. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh komposisi membran komposit PVDF / AC / TiO₂ terhadap kinerja membran untuk pengolahan air limbah kilang minyak mentah. Studi ini menemukan bahwa penambahan karbon aktif dan TiO₂ ke membran PVDF fabrikasi dapat secara positif mempengaruhi sifat antifouling pori dan permukaan membran. Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa penambahan zat aditif sebesar 3% menghasilkan kinerja membran yang terbaik dalam hal kualitas permeatnya.

Kata kunci: kulit ubi kayu (*Manihot esculenta*), Karbon aktif, membran PVDF, air limbah minyak bumi, TiO₂

KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmaanirrahim
Assalamu'alaikum wa rahmatullai wa barokatuh*

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga penyusunan dan penulisan tesis dengan judul “**Degradasi Limbah Minyak Bumi Menggunakan Membran Komposit Polyvinylideneflouride (PVDF)/Karbon Aktif dari Kulit Singkong (*Manihot Esculenta*)/Sintesis TiO₂**” ini dapat diselesaikan sesuai dengan harapan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada program studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. **Dr. Sri Rahayu, S.E., M.Si** sebagai Direktur Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Palembang yang telah berperan dalam pemberian dorongan serta kebijakan akademis Program Pascasarjana secara formal, disiplin, jujur dan serius dalam perkuliahan sehingga kebijakan ini menjadi dasar dalam penyelesaian tesis ini.
2. **Dr. Ir. Elfidiah., M.T** sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik kimia Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Palembang yang telah berperan dalam pemberian ilmu pengetahuan melalui perkuliahan dan seminar, baik pemberian materi, metode, motivasi, inspirasi dan kritikan yang menjadi pondasi ilmu pengetahuan dalam penyelesaian tesis ini.

3. **Dr. Ir. Marhaini., M.T dan Sri Martini, S.T., M.T.,Ph.D**, sebagai dosen pembimbing yang menjadi inspirasi serta telah banyak berperan dalam pengorbanan waktu, tenaga, juga fikirannya dalam pengarahan, pembimbingan, dan pemberian dorongan semangat sampai tesis ini terwujud.
4. **Semua Dosen** Program Studi Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Palembang yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih untuk ilmu, motivasi, inspirasi, kritikan, bimbingan, semangat yang luar biasa sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. **Orang Tua** tercinta yang mendidik dengan penuh rasa kasih sayang dan senantiasa memberi semangat dan dorongan kepada penulis.
6. Kepada **Rekan-rekan mahasiswa pascasarjana** dan rekan-rekan kerja saya yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga peran serta semua pihak tersebut menjadi catatan amal baik di JannahNYA ALLAH SWT.

Akhirnya penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat dan permintaan maaf yang tulus jika seandainya dalam penulisan ini terdapat kekurangan dan kekeliruan, penulis juga menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi menyempurnakan penulisan tesis ini.

Palembang, September 2020

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Minyak Bumi.....	10
B. Karbon Aktif.....	14
C. Karbon Aktif Limbah Kulit Singkong.....	17
D. Proses Membran.....	19
E. Sistem Ultrafiltrasi.....	22
F. Teknologi Membran Perkembangan Terbaru.....	24
G. Klasifikasi Membran Berdasarkan Material Asal.....	27
H. Membran PVDF (Poly vinylidene Flouride)	28

I. Aplikasi Membran PVDF untuk Pemisahan Air dan Minyak.....	31
J. Titanium Dioksida (TiO ₂)	33
K. Uji Morfologi Membran.....	37
L. Uji Tarik.....	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	40
B. Alat dan Bahan.....	40
C. Prosedur Penelitian.....	41
1. Pengambilan Sampel.....	41
2. Proses pembuatan karbon aktif.....	42
3. Sintesis Fotokatalis Sol TTIP (Titanium Tetra Isopropoksida)	43
4. Sintesis Fotokatalis Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif kulit Singkong.....	44
5. Pembuatan Membran Polyvinylidene fluoride (PVDF) Karbon Aktif dan Uji aktivitas TiO ₂ - Membran (PVDF) dengan Karbon aktif.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
A. Hasil Penelitian.....	46
B. Pembahasan Hasil Penelitian.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
A. Kesimpulan.....	74
B. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Komposisi dari Minyak Bumi.....	11
Tabel 2.	Aplikasi penggunaan karbon aktif dalam industri.....	16
Tabel 3.	Syarat Mutu Arang Aktif (SNI No.0258-79).....	17
Tabel 4.	Klasifikasi Membran Berdasarkan Material Asal.....	27
Tabel 5.	Studi Literatur Polimer yang Digunakan Bahan Baku Membran untuk Pemisahan Air dan Minyak.....	28
Tabel 6.	Sifat Umum <i>Polyvinylidene Flouride</i> (PVDF).....	29
Tabel 7.	Keunggulan Membran PVDF.....	30
Tabel 8.	Studi Literatur Membran PVDF untuk Pemisahan Air dan Minyak..	32
Tabel 9.	Sifat Titanium Dioxide (TiO ₂).....	34
Tabel 10.	Hasil Analisis Laboraturium Limbah Minyak Bumi PT Pertamina EP Asset 2 Pendopo Field.....	46
Tabel 11.	Hasil Kualitas Karbon Aktif dari Kulit Singkong.....	47
Tabel 12.	Hasil Kualitas Limbah Minyak Bumi Setelah Proses Penyerapan Menggunakan Karbon Aktif.....	47
Tabel 13.	Hasil Kualitas Limbah Minyak Setelah Proses Penyerapan Menggunakan Membran PVDF Serbuk Kulit Singkong Sintesis TiO ₂	48
Tabel 14.	Data hasil uji kekuatan tarik membran PVDF–Serbuk Kulit Singkong di sintesis TiO ₂	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Tipe utama modul membran: (a) spiral wound dan (b) hollow fiber.	23
Gambar 2.	Bentuk Struktur Molekul PVDF.....	29
Gambar 3.	Struktur Kristal TiO ₂ Anatase (A) dan Rutil (B).....	34
Gambar 4.	Mekanisme Proses Fotokatalitik TiO ₂	36
Gambar 5.	Skema Kerja SEM.....	38
Gambar 6.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar BOD ₅ pada Limbah Minyak Bumi.....	49
Gambar 7.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar COD pada Limbah Minyak Bumi.....	50
Gambar 8.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Minyak dan Lemak Limbah Minyak Bumi.....	52
Gambar 9.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Sulfida Terlarut pada Limbah Minyak Bumi.....	54
Gambar 10.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Amonia pada Limbah Minyak Bumi.....	55
Gambar 11.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Fenol pada Limbah Minyak Bumi.....	57
Gambar 12.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Temperatur pada Limbah Minyak Bumi.....	58
Gambar 13.	Pengaruh Waktu Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar pH pada Limbah Minyak Bumi.....	59
Gambar 14.	Hasil Analisa SEM Membran PVDF Blending Serbuk Kulit Singkong Sintesis TiO ₂ Pembesaran 1000X.....	60
Gambar 15.	Hubungan Antara Konsentrasi Sintesis Serbuk Kulit Singkong dengan Ukuran Pori Membran.....	61
Gambar 16.	Hasil Uji Tarik dan Regangan.....	63

Gambar 17.	Hubungan Kadar BOD5 dan Membran.....	67
Gambar 18.	Hubungan Kadar COD dan Membran.....	69
Gambar 19.	Hubungan Kadar Minyak & Lemak Membran.....	71
Gambar 20.	Hubungan Kadar Sulfida dan Membran.....	72
Gambar 21.	Hubungan Kadar Amonia dan Membran.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, baik yang dapat diperbaharui maupun yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi yang banyak tersebar di daratan dan lautan. Minyak dan gas bumi (migas) sampai saat ini masih merupakan sumber energi yang menjadi pilihan utama untuk digunakan manusia pada berbagai kebutuhan pada industri, transportasi dan rumah tangga. Namun demikian kita selalu dihadapkan pada dilema antara peningkatan produksi migas dengan pelestarian sumberdaya alam dan lingkungan, serta dampak yang ditimbulkan dari proses produksi tersebut. Sehingga tidak dapat dipungkiri bahwa perkembangan industri migas merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan. Pada setiap aktivitas perminyakan mulai dari eksplorasi hingga pengilangan minyak dapat menghasilkan limbah berupa lumpur minyak bumi (*oil sludge*). Limbah oil sludge mengandung unsur-unsur logam seperti Pb, Cd, dan lain sebagainya. Diantara semua unsur logam berat, Hg menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya jika dibandingkan dengan logam berat lainnya, kemudian diikuti logam berat antara lain Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn (Novianti, 2010). Syafrizal, dkk. 2010 mengatakan bahwa oil sludge terdiri dari minyak, air, abu, karat tangki, pasir dan bahan-bahan lainnya. Komposisi hidrokarbon yang terkandung dalam lumpur minyak terdiri dari 57 % hidrokarbon alifatik, 29

% hidrokarbon aromatik, dan 14 % hidrokarbon asphaltik, sedangkan sisanya berupa komponen non-hidrokarbon (Fahrudin, 2010). Kandungan senyawa hidrokarbon dalam lumpur minyak (oil sludge) seperti benzena, toluena, etilbenzena, xylene dan logam-logam berat berpotensi karsinogenik. Degradasi lingkungan akibat pembuangan lumpur dari sumber polusi industri adalah masalah nyata di beberapa negara. Situasi ini bahkan lebih buruk di negara-negara berkembang seperti Nigeria di mana sedikit atau tidak ada perlakuan yang dilakukan sebelum pelepasan limbah oil sludge ke lingkungan (Asia, dkk, 2006). Kondisi tersebut serupa dengan keadaan di Indonesia yang juga merupakan negara berkembang, sehingga masih diperlukan penanganan serius terhadap limbah ini.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah oil sludge dilakukan secara kimia dan fisika dengan menggunakan membran *polivinylidene fluoride* (PVDF) dengan sintesis TiO_2 . Metode membran merupakan salah satu metode pemisahan minyak-air yang berpotensi relatif terhadap metode flotasi, koagulasi, dan biologi. Metode flotasi memiliki kelebihan mampu memisahkan limbah minyak-air dengan baik, namun membutuhkan energi yang tinggi (Yu, dkk, 2013). Metode koagulasi memiliki kelebihan meningkatkan efisiensi pemisahan minyak-air hingga 99%, namun memerlukan biaya tinggi dan menimbulkan polutan sekunder (Yu, dkk., 2013 dan Zeng, dkk, 2007). Sedangkan metode biologi mampu meningkatkan efisiensi pemisahan minyak-air jika ditambahkan aditif dan

dapat dikombinasikan dengan metode lain, namun selalu membutuhkan kombinasi metode lain untuk mendapatkan hasil yang maksimal (Scholz dan Fuchs, 2000). Sementara metode membran memiliki kelebihan biaya pemisahan minyak-air relatif rendah, metoda dapat dikombinasi, kinerja konstan, dan penambahan aditif anorganik mampu meningkatkan kinerja membran. Namun, membran juga memiliki kelemahan dengan waktu pemakaian relatif singkat (Martini dkk.,2020; Yu, dkk., 2013; Song,dkk., 2006; Yang, dkk., 2011; dan Cui, dkk., 2008). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode pemisahan minyak-air menggunakan membran.

Beberapa bahan membran yang pernah digunakan untuk aplikasi pemisahan minyak-air antara lain: *polivinylidene flouride* (PVDF) yang dibuat dengan teknik inversi fasa menghasilkan kinerja fluks $118 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan rejeksi 98,20% pada konsentrasi minyak-air 180 ppm (Madaeni dan Yeganeh, 2003); zeolit yang dibuat dengan metode template leaching menghasilkan kinerja fluks $244 \text{ L.m}^2. \text{jam}^{-1}$ dan rejeksi 93,80% pada konsentrasi minyak-air 250 – 3000 ppm (Abbasi, dkk., 2010); PES (Polietersulfon) yang dibuat dengan teknik inversi fasa menghasilkan kinerja fluks $82,98 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan rejeksi 93,33% pada konsentrasi minyak-air 900 ppm (Chen, dkk., 2009) dan Psf (Polisulfon) yang dibuat dengan teknik inversi fasa menghasilkan kinerja fluks $72,9 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan rejeksi 96,60% pada konsentrasi minyak-air 100 ppm (Chakrabarty, dkk., 2010). Dari beberapa material tersebut, PVDF merupakan material

membran yang menunjukkan kinerja tinggi pada konsentrasi umpan 180 ppm untuk pemisahan minyak-air pada limbah pencucian kendaraan bermotor yang umumnya berkonsentrasi antara 86-159 mg/L.

PVDF merupakan fluoropolimer termoplastik murni yang memiliki beberapa keunggulan yaitu bersifat sangat tidak reaktif, sehingga mampu meminimalisir terjadinya penyumbatan (Mulder, 1996). Selain itu, PVDF dapat digunakan pada rentang pH yang relatif tinggi (pH 4 – 9), sehingga dapat digunakan pada limbah pencucian kendaraan bermotor pada rentang pH yang lebih luas (Madaeni dan Yeganeh, 2003). PVDF memiliki kestabilan termal yang baik hingga dapat mencapai suhu 200°C, sehingga dapat digunakan pada limbah yang baru saja dihasilkan dari pencucian kendaraan bermotor (Hassankiadeh, 2014). Namun, PVDF juga memiliki kelemahan seperti yang dilaporkan oleh Kong dan Li (1999) yang membuat membran PVDF untuk aplikasi pemisahan minyak-air. Membran PVDF tersebut hanya mampu menghasilkan rejeksi 77% sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan kinerja membran PVDF. Salah satu upaya meningkatkan kinerja membran PVDF adalah dengan menambahkan aditif TiO₂. Berdasarkan penelitian Teow, dkk. (2012), membran PVDF-TiO₂ menghasilkan nilai fluks sebesar 43,21 L.m⁻².jam⁻¹ dan nilai koefisien rejeksi sebesar 98,28%. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa penambahan TiO₂ sebagai fotokatalis mampu meningkatkan sifat anti penyumbatan (antifouling) membran. TiO₂ merupakan oksida logam titanium yang memiliki aktivitas fotokatalitik paling besar. Hal ini karena

pada struktur anatase memiliki struktur rantai oktahedron yang terbentuk dari tiap satu ion Ti^{2+} dikelilingi 6 ion O_2^- . Dari elektron dan proton tersebut, maka ketika fotokatalis menyerap sinar UV, elektron pada pita konduksi akan tereksitasi ke pita valensi dan meninggalkan lubang. Elektron yang tereksitasi tersebut akan melakukan rekombinasi, sehingga terjadi reaksi oksidasi dan oksidasi yang menghasilkan ion radikal untuk mendegradasi minyak sebagai polutan. Akan tetapi, kelemahan dari pemisahan air dan minyak menggunakan membran PVDF- TiO_2 ini adalah nilai fluks yang menjadi kecil (Seymour dan Cheng, 1986).

Selain itu TiO_2 merupakan semikonduktor yang memiliki titik leleh, fotoaktivitas, kestabilan termal dan kimia tinggi, memiliki sifat tidak beracun dan juga salah satu katalis yang baik untuk diaplikasikan dilingkungan karena sifatnya inert secara biologis dan kimia dan harganya relatif murah (Hoffmann et al, 1995). Berdasarkan sifat-sifatnya tersebut maka TiO_2 merupakan fotokatalis yang paling efektif digunakan, sebagai salah satu material semikonduktor, dan telah banyak diteliti terutama dalam usaha pengolahan sumber energi matahari dan pengolahan limbah berbahaya (Lu et al, 2008) serta pengolahan limbah rumah sakit (Chong et al, 2012). Menurut Sudarsan et al, 2015, fotokatalis TiO_2 sangat efisien dalam penurunan logam berat Fe, Cr dan Pb pada air limbah mencapai 96-98% dan fotokatalis TiO_2 melalui sinar matahari menunjukkan hasil yang lebih tinggi dalam mendegradasi limbah zat warna dibandingkan dengan TiO_2 komersil (Chih.H.S et al, 2016).

Teknologi membran *polyvinylidene fluoride* (PVDF) adalah salah satu membran yang paling baik untuk diterapkan dalam sistem UF, karena kegiatan membran PVDF mempunyai antioksidan, ketahanan yang tinggi baik kimia maupun stabilitas termal, selektivitas yang sangat organik dan mempunyai sifat mekanik dan pembentukan membran yang baik (Loukidou *et al*, 2001 dan Fu Liu *et al*, 2011). Namun kelemahan dari membran PVDF yaitu permukaan membran cenderung bersifat *hidrofobik*, sehingga proses pemisahan yang melibatkan cairan *hidrofilik* lebih rendah dari yang seharusnya (Aurora *et al*, 2015). Untuk mendapatkan membran yang memiliki kinerja yang sangat baik dalam pengolahan limbah yang komponennya terbesar air, untuk itu dilakukan modifikasi permukaan dan pori internal membran Polivinylidene fluoride (PVDF) digunakan teknik *blending* dengan serbuk limbah kulit singkong (*Manihot esculenta*)

Limbah ini termasuk dalam kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) karena mengandung senyawa hidrokarbon alifatik dan senyawa aromatik yang mempunyai berat molekul rendah sampai tinggi dan sulit terurai (Udiharto, 1992). Pencemaran lingkungan yang terjadi pada daerah pengeboran minyak bumi dapat berdampak pada tumbuhan maupun hewan yang hidup di sekitarnya. Salah satu contoh yaitu pada daerah pesisir pantai yang tercemari limbah minyak bumi, pertumbuhan tanaman *mangrove* menjadi terhambat akibat adanya minyak yang mencemari tanah sekitar. Mengingat dampak pencemaran minyak bumi baik dalam konsentrasi rendah maupun tinggi cukup serius, maka manusia terus berusaha mencari

teknologi yang paling mudah, murah dan tidak menimbulkan dampak kerusakan pada lingkungan. Salah satu metode alternatif yang digunakan dalam penanggulangan limbah minyak bumi adalah dengan memanfaatkan karbon aktif serbuk kulit singkong (*manihot esculenta*). Perkembangan teknologi membran telah menarik perhatian besar di bidang industri dan pengolahan air limbah, dan telah berhasil diterapkan dibanyak sektor seperti desalinasi air, produksi air ultra-murni, recycling produk dan pengolahan air limbah. Kinerja pemisahan membran Ultrafiltrasi *mikro wettability* terutama pada efek struktur pori (Kong, 1999) dan sifat permukaan (Tomaszewska, 1996, Jian *et al*,1997, Deshmukh *at al*,1998 and Zularisam *etal*,2006). Beberapa penelitian yang telah dilakukan penggunaan membran Ultrafiltrasi untuk pengolahan limbah cair, minyak (Cao,2006 dan Masuelli,2012). Membran ini dibuat dari bahan polimer seperti Selulosa Asetat (CA), polisulfon (PSF), yang tergabung dengan bahan organik seperti Alumina dan Titanium dioksida. Teknologi membran *polyninylidene flouride* (PVDF) adalah salah satu membran yang paling baik untuk diterapkan dalam sistem Ultrafiltrasi, karena kegiatan membran PVDF mempunyai antioksidan, ketahanan yang tinggi baik kimia maupun stabilitas termal, selektivitas yang sangat organik dan mempunyai sifat mekanik dan pembentukan membran yang baik (Loukidou *et al*,2001 dan Fu Liu *et al*, 2011).

Limbah kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan yang mampu mengurangi kadar logam berat berbahaya. Berdasarkan beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa kulit singkong memiliki kandungan

protein, selulosa non-reduksi, serat kasar yang tinggi dan HCN (asam sianida). komponen-komponen tersebut mengandung gugus $-OH$, $-NH_2$, $-SH$ dan $-CN$ yang dapat mengikat logam (Anonim, 2010). Kulit singkong mengandung C (Karbon) sebesar 59,31% yang berarti terdapat carbon yang tinggi, H (Hidrogen) sebesar 9,78%, O (Oksigen) sebesar 28,74% , N (Nitrogen) sebesar 2,06 % , S (Sulfur) sebesar 0,11% dan H_2O (Air) sebesar 11,4% (Akanbi, 2007). Selain itu, menurut Hanifah dkk (2010), kulit singkong juga mengandung 459, 56 ppm HCN (asam sianida).

B. Perumusan Masalah

1. Apakah serbuk limbah kulit singkong yang telah di aktivasi dapat menurunkan kualitas limbah cair minyak bumi
2. Apakah serbuk kulit singkong dapat ditambahkan (*blending*) pada membran *polyvinylideneflouride* (PVDF) untuk menurunkan nilai konsentrasi limbah cair minyak bumi
3. Bagaimana proses kinerja membran *polyvinylideneflouride* (PVDF) sintesis TiO_2 dengan blending serbuk kulit singkong dapat menurunkan konsentrasi polutan pada limbah cair minyak bumi

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa karakteristik limbah cair minyak bumi dengan menggunakan serbuk limbah kulit singkong yang telah di aktivasi.

2. Untuk menganalisa komposisi yang tepat komposit membran *polyvinylideneflouride* (PVDF) sintesis TiO_2 dan blending serbuk kulit singkong dalam menurunkan kualitas limbah cair minyak bumi.
3. Untuk menganalisa proses kinerja komposit membran *polyvinylideneflouride* (PVDF)/sintesis TiO_2 /serbuk kulit singkong dalam menurunkan kualitas limbah cair minyak bumi.

D. Manfaat Penelitian

1. Sebagai data awal pengolahan limbah cair minyak bumi dengan menggunakan komposit membran *polyvinylideneflouride* (PVDF)/ karbon aktif dari kulit singkong/Sintesis TiO_2 , sehingga dapat dimanfaatkan peneliti untuk penelitian lanjut.
2. Membantu pemerintah/industri dalam menangani limbah kulit singkong dan mengatasi limbah cair minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, Mohsen; Mirfendereski, Mojtaba; Nikbakht, Mahdi; Golshenas, Meysam; dan Mohammadi, Toraj, (2010), "Performance study of mullite and mullite-alumina ceramic MF membranes for oily wastewaters treatment", *Desalination*, Vol. 259, Hal. 169 – 178.
- Akanbi. 2007. The Use of Compost Extract as Foliar Spray Nutrient Source and Botanical Insecticide in *Telfairia occidentalis*. *World Journal of Agricultural Sciences*.
- Alwathan. 2013. Pengurangan kadar H₂S dari biogaslimbahcair rumah sakit dengan metode adsorpsi. Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda. Vol 2. No1.
- Amos, T., Bamidele, M.W., Madukosiri, dan Chinyelu H. 2009. The Effect of Processing on the Sodium, Potassium and Phosphorus Content of Six Locally Consumed Varieties of *Manihot esculenta* Grown in Bayelsa State. *Pakistan Journal of Nutrition*. Vol. 8, No. 10, hal. 1521-1525.
- Anheden, M., et al. Photocatalytic Treatment of Wastewater From 5-Fluorouracil Manufacturing. *Solar engineering in 1995 ASME International Solar Energy Conference*. 1995
- Anonim. 2010. Kulit Singkong Cegah Logam (<http://teknokra.com/more/teknologi/46-teknologi/151-kulit-singkong-cegah-logam-berbahaya-.html>, diakses 29 Maret 2019).
- Aptel, P. and Buckley., C.A., 1996. Categories of Membrane Operations, in *Water Treatment Membrane Processes*, J. Mallevalle, P. Odendall, and M.R. Wiesner, Editors. 1996, AWWA Association Research Foundation. Lyonnaise des Eaux. Water Research Commission of South Africa. McGraw Hill.
- Asia, I.O., Enweani, I.B., and Eguavoen, I. 2006. Characterization and Treatment of Sludge from the Petroleum Industry. *African Journal of Biotechnology*. Ekpoma, Edo State Nigeria: Ambrose Alli University, P. M. B. 14
- Aurora.T.G.,Kusumawati.N. 2015. Influence blending and non-solvent H₂O/C₂H₅OH composition to polyvinyliden fluoride (PVDF)-Chitosan membrane performance in the separation of rhodamin-B, *UNESA journal of Chemistry* Vol.4,No1
- Bottino, A.; Capannelli, G.; D'Asti, V.; dan Piaggio, P., (2001), "Preparation and properties of novel organic-inorganic porous membrane", *Separation and Purification Technology*, Vol 22-23, Hal 269-275.

- Brasquet, C., Roussy, J., Subrenat, E., and Cloirec, P.L.1996.Adsorption of Micropollutants onto Fibrous Activated Carbon: Association of Ultrafiltration and Fibers. *Water Science and Technology*, 34(9): p. 215-222.
- Beroeh, Kabiroy, 2004. Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif dengan Aktivator $ZnCl_2$ dari serbuk Gergaji Kayu Jati. Tugas Akhir Sarjana Teknik Kimia, FT Teknik Kimia UMJ.
- Cao.X.C.Ma.J.Shi.X.H.Ren.Z.J. 2006. Effect of TiO_2 nanoparticle size on the performance of PVDF membrane, *Apply.Surf.Sci.*253
- Campos, C., Baudin, I., and Lâiné, J.M.,2001. Adsorption performance of powdered activated carbon–ultrafiltration systems. *Water Supply*.1(5-6): p. 13-19
- Darjanto dan Muryati. 1980. Khasiat, Racun, dan Masakan Ketela Pohon. Bogor: Yayasan Dewi Sri.
- Deshmukh S.P., Li.K. 1998. Effect of etanol composition in water coagulation bath on morphologi of PVDF hollow fibre membranes. *J.membr.Sci* 150
- Chakrabarty, B.; Ghoshal, A. K.; dan Purkait, M. K., (2010), “Cross-flow ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion using polysulfon membranes”, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 165, Hal. 447 – 456.
- Chen, Wenjuan; Peng, Jinming; Su, Yanlei; Zheng, Lili; Wang, Lijun; Dan Jiang, Zongyi, (2009), “Separation of oil/water emulsion using Puroic F127 modified polyethersulfone ultrafiltration membranes”, *Separation and Purification Technology*, Vol. 66, Hal. 591 – 597.
- Chieng, Buong Woei; Ibrahim, Azowa Nor; Then, Yoon Yee; dan Loo, Yuet Ying, (2014), “Epoxidized Vegetable Oils Plasticized Poly(lactic acid) Biocomposites: Mechanical, Thermal and Morphologies Properties”, *Journal Molecules*, Vol. 19, Hal. 16024 – 16038.
- Chou, Wan-Jung; Wang, Cheng-Chien; dan Chen, Chuh-Yung, (2009), “Characteristics of polyimide-based nanocomposites containing plasmamodified multi-walled carbon nanotubes”, Vol. 11, No. 1, Hal. 2208 – 2213.
- Chou, W. L.; Yu, D. G.; Chien, M.; dan Yang, C. H. J., (2007), “Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate”, *Separation and Purification Technology*, Vol. 57, Hal. 209 – 219.
- Chih-Ho Su.,Chi-Cheng Hu.,Yen-Chun Sun.,Yu-Cheng Hsioo. 2016. Highly active and thermo-stable anatase TiO_2 photocatalysts synthesized by a microwave-assisted hydrothermal method, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineering*

- Chong.M.N.,Cho.Y.J.,Poh.P.E.,Jin.B. 2014.Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real grey water effluents. *Journal of Cleaner Production* 89.
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Alfabeta,cv
- Fu Liu., Awanis Hashim., Yutie Liu., Moghareh Abed.,Li. K. 2011. Progress in the production and modification of PVDF membranes.*Journal of membrane Science* 375
- Fujishima, A.; Rao, T. N.; dan Tryk, D. A., (2002), "Titanium Dioxide Photocatalysis", *J. Photoch Photobio*, Vol. 1, Hal. 1 – 21.
- Goswani, D.Y.e.a. Solar Photocatalytic Treatment of Groundwater At Tyndall AFB, Field Test Results. in *ASES Annual Conference*. 1993
- Goswani, D.Y.e.a., Photocatalytic System to Destroy Bioaerosols in Air, in *Recent developments in photocatalytic detoxification and disinfection of water and air.*, D.Y. Goswami, Editor. 1998.
- Handayani E. 2009. Sintesa membran nanokomposit berbasis nanopartikel biosilika dari sekam padi dan kitosan sebagai matriks biopolimer [tesis]. Bogor ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hanifah, V. W., Yulistiani, D. dan Asmarasari, S. A. A. 2010. Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Menjadi Pakan Ternak dalam Rangka Memberdayakan Pelaku Usaha Enye-enye.Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner
- Hassankiadeh, Naser Tavajohi; Cui, Zhaoliang; Kim, Ji Hoon; Shin, Dong Won; Sanguineti, Aldo; Arcella, V.; Lee, Young Moo; dan Drioli, Enrico, (2014), "PVDF hollow fiber membranes prepared from green diluent via thermally induced phase separation: Effect of PVDF molecular weight", *Journal of Membrane Science*, Vol. 12, Hal. 237 –246.
- Hoffmann, M.R., S.T. Martin., W. Choi, dan Bahnemann.D.W 1995. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical Reviews*. 95
- Jian,K.,Piantauro.P.N. 1997. Asymmetric PVDF hollow fiber membrans for organik/water pervaporation seperation,*J.Membr.Sci*.135
- Kirk, R. E. dan Othmer, D. F., (2000), *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Kang.J.F.,Li.K.1999.Oilremoval from oil-in water emulsion using PVDF membranes.*membr.Sci*.16.p83-93

- Kurniasih, T. N. 2002. Pembuatan Asam Oksalat dari Kulit Ubi Kayu Varietas Randu dengan Larutan NaOH. Laporan Penelitian Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Kusumawati, D.H, dan W.D.R.Putri. 2013. Karakteristik fisik dan kimia edible film pati jagung yang diinkorporasi dengan perasan temu hitam. *Jurnal pangan dan agroindustri* 1 (1) : 90-100
- Loukidau, M.X., Zouboulis, A.I. 2001. Comparison of two biological treatment processes using attached growth biomass of sanitary landfill leachate treatment. *Environ. Poulut.* 111.p 273-281
- Lainé, J.M., Vial, D., and Moulart, P. 2000. Status after 10 years of operation – overview of UF technology today. in the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production.
- Li, Qinglian; Xi, Sancai; dan Zhang, Xiwen, (2013), “Conservation of paper relics by electrospun PVDF fiber membranes”, *Journal of Cultural Heritage*, Hal. 1 – 6.
- Liu, Qianyu; Huang, Shaobin; Zhang, Yongqing; Zhao Shuaifei, 2018. Comparing the Antifouling Effects of Activated Carbon and TiO₂ in Ultrafiltration Membrane Development. *Journal of Colloid and Interface Science* : 109 – 118, <https://www.elsevier.com/locate/jcis>
- Lu, C.H., Wu, W.H., Kale, R.B. 2008. Micro emulsion-mediated hydrothermal synthesis of photocatalytic TiO₂ powders. *J. Hazard. Mat* 154
- Madaeni, Sayed Siavash dan Yeganeh, Mehrdad Kasrayie, (2003), “Microfiltration of Emulsified Oil Wastewater”, *Journal of Porous Materials*, Vol. 10, No. 2, Hal. 131 – 138.
- Masuelli M., Grasselli, J., Marchese, N.A., Ocho. 2012. Preparation, structural and functional characterization of modified porous PVDF membranes by irradiation. *Journal of Membrane Science*. 389.91-98
- Matsui, Y., Yuasa, A., and Colas, F., 2001. Effect of Operational Modes on the Removal of a Synthetic Organic Chemical by Powdered Activated Carbon During Ultrafiltration. *Water Supply*. 1(5): p.39-47.
- Mulder, M., 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher
- Madorsky, S. L., (1964), *Fluorocarbon and chlorocarbon polymers in thermal degradation of organic polymers*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Mudjirahardjo, dkk, 2006. *Pengetahuan Minyak Bumi dan Minyak Bakar*.

PT. Akamigas.Cepu.

- Novianti, S. 2010. Pembuatan dan Karakterisasi Bata Konstruksi dengan Memanfaatkan Limbah Sludge Pertamina Pangkalan Susu. Repository USU
- Notodarmojo S. 2005. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Nguyen, T., (1985), “Degradation of poly[vinilidene fluoride] and poly[vinilydene fluoride]”, *Polymer Reviews*, Vol. 2, Hal. 227 – 225.
- O’Mahony, T., dan Guibal, E., (2002), “Reactive dye biosorption by *Rhizopus*
- Ong, C. S.; Lau, W. J.; Goh, P. S.; Ng, B. C.; dan Ismail, A. F., (2013), “Preparation and characterization of PVDF-PVP-TiO₂ composite hollow fiber membranes for oily wastewater treatment using submerged membrane system”, Hal. 1 – 11. *arrhizus biomass*”, *Enzyme Microb Technol*, Vol. 31, Hal. 456 – 463.
- O’Neil, M. J., (2001), *The Merck Index: An Enclopedia of Chemical, Drugs, and Biological*, Merck & Co. Inc., New York.
- Ong, C. S.; Lau, W. J.; Goh, P. S.; Ng, B. C.; dan Ismail, A. F., (2013), “Preparation and characterization of PVDF-PVP-TiO₂ composite hollow fiber membranes for oily wastewater treatment using submerged membrane system”, Hal. 1 – 11.
- Prince, J. A.; Bhuvana, S.; Anbharasi, V.; Ayyanar, N.; Boodhoo, K. V. K.; dan Singh, G., (2014), “Self-cleaning Metal Organic Framework (MOF) based ultra filtration membranes – A solution to bio-fouling in membrane separation processes”, *Scientific Reports*, No. 6555.
- Rahman, Enya Rima; Izak, Djoni; dan Ady, Jan, (2015), “Pengaruh Variasi Komposisi Madu Terhadap Karakteristik Hidrogel Kitosan, Madu, dan Gelatin untuk Aplikasi Occlusive Dressing”, *Jurnal Fisika dan Terapannya*, Vol. 3, No. 1, Hal. 1 – 13.
- Rumidatul, Alfi. 2006. *Efektivitas Arang Aktif Sebagai Adsorber Pada Pengolahan Air Limbah*. Bogor: Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Rukmana, R. 1997. *Ubi Kayu: Budi Daya Pascapanen*. Kanisius, Yogyakarta.
- S. Martini, H.M. Ang, Hybrid TiO₂/UV/PVDF Ultrafiltration Membrane for Raw Conola Oil Wastewater Treatment. *Desalination and Water Treatment*, 148(2019) 51-59.

- S. Martini, S. Afroze, K.A. Roni, Eucalyptus Bark as a Sorbent for Simultaneous Removal of COD, Oil, and Cr(III) from Industrial Wastewater, *Alexandria Engineering Journal*, 59 (2020) 1637-1648.
- Sani, N. A. A.; Lau, W. J.; dan Ismail, A. F., (2015), "Polyphenylsulfone-based solvent resistant nanofiltration (SRNF) membrane incorporated with copper-1,3,5-benzenetricarboxylate (Cu-BTC) nanoparticles for methanol separation", *Royal Society of Chemistry Advances*, Vol. 5, Hal. 13000 – 13010.
- Saxena, S., and Bhardwaj, V., 2001. Tech Trends: Increasing use of the membrane process. <http://www.nrwa.org/2001/publications/articles/TechTrends2nd.htm>
- Sciencelab, (2001), Material Safety Data Sheet Titanium, Texas.
- Sciencelab, (2001), Material Safety Data Sheet Poly(ethylene glycol), Texas.
- Sembiring, M. dan Sinaga, T. 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Medan: Universitas Sumatera Utara
- Semiati, R., 2000. Present and Future. *Water International*, Desalination 25(1): p. 54-65.
- Scholz, W dan Fuchs, W., (2000), "Treatment of oil contaminated wastewater in membrane bioreactor", *Water Research*, Vol. 34, Hal. 3621 – 3629.
- Speight, J.G. 1991. *The Chemistry and Technology of Petroleum*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Song, Chengwen; Wang, Tonghua; Pan, Yanqiu; dan Qiu, Jieshan, (2006), "Preparation of coal-based microfiltration carbon membrane and application in oily wastewater treatment", *Separation and Purification*, Vol. 51, Hal. 80 – 84.
- Song, Hongchen; Shao, Jiahui; He, Yiliang; Liu, Ba; dan Zhong, Xiaoqing, (2012), "Natural organic matter removal and flux decline with PEG-TiO₂-doped PVDF membranes by integration of ultrafiltration with photocatalysis", *Journal of Membrane Science*, Vol. 405 – 406, Hal. 48 – 65
- Seymour, Raymond and Cheng, Tai, (1986), *History of Polyolefin*, Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Sun, Tianyu; Liu, Ying; Shen, Liguang; Xu, Yanchao; Li, Renjie; Huang, Lili; Lin, Hongjun, 2020. Magnetic Field Assisted Arrangement of Photocatalytic TiO₂ Particles on Membrane Surface to Enhance Membrane Antifouling Performance for Water Treatment. *Journal of Colloid and Interface Science* : 273 – 285, <https://www.elsevier.com/locate/jcis>

- Suyata I. 2009. Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi . Jurnal Molekul. Vol. 4. No. 2. November, 2009 : 105- 114 .
- Syafrizal., Rani, D., Rahayu, S. 2010. Pemanfaatan Surfaktan dalam Pengolahan Limbah Berminyak secara Bioproses. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”.LEMIGAS. Jakarta
- Teow, Y. H., Ahmad, A. L., Lim, J. K., dan Ooi, B. S., (2012), “Preparation and characterization of PVDF/TiO₂ mixed matrix membrane via in situ colloidal precipitation method”, Desalination, Vol. 295, Hal. 61 – 69.
- Tomaszewska, M. 1996. Preparation and properties of flat sheet membranes from polyvinylidene fluoride for membrane distillation, Desalination 104
- Wenten, I.G. 2016. Teknologi membran dalam pengolahan air dan limbah. Departemen Teknik Kimia-ITB. <https://www.researchgate.net/publication/281236230>. (Diakses 15 April 2019)
- Weiss, S., Militzer, K.-E. dan Gramlich, K. 1993. Thermische Verfahrenstechnik. Deutsche Verlag fuer Grundstoffindustrie, Stuttgart
- Winarno, F.G. 2008. Kimia Pangan dan Gizi: Edisi Terbaru. Gramedia. Jakarta
- Xiaobo, Chen, (2009), “Titanium Dioxide Nanomaterials and Their Energy Applications”, Chinese Journal of Catalysis, Vol. 30, Hal. 839 – 851.
- Yan, Lu; Hong, Sun; Li, Meng Li; dan Li, Yu Shui, (2009), “Application of the Al₂O₃-PVDF nanocomposite tubular ultrafiltration (UF) membrane for oily wastewater treatment and its antifouling research”, Separation and Purification Technology, Vol. 66, Hal. 347 – 352.
- Yu, Li; Han, Mei; dan He, Fang, (2013), “A review of treating oily wastewater”, Arabian Journal of Chemistry, Hal. 1 – 10.
- Zaidi, A.H.e.a. Solar photocatalytic Post-Treatment of Anaerobically Digested Distillery Effluent. in Solar'95. proceedings of the ASES Annual Conference. 1993. Minneapolis
- Zeng, Yubin; Yang, Changzhu; Zhang, Jingdong; dan Pu, Wenhong, (2007), “Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 147, Hal. 991 – 996.

Zhang, Qinglei; Lu, Xiaolong; dan Zhao, Lihua, (2014), "Preparation of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Hollow Fiber Hemodialysis Membranes", Journal Membranes, Vol. 4, Hal. 81 – 95

Zularisman.A.W.Ismail,M.R.,Salim.,2006. Behavior of natural organik matter (NOM) in membrane filtration for surface water treatment