



SKRIPSI

**PENGHILANGAN ZAT WARNA *CRYSTAL VIOLET*
MENGUNAKAN METODE GABUNGAN OKSIDASI LANJUT
REAGEN FENTON DAN FILTRASI MEMBRAN SELULOSA
ASETAT/PEG**

**RACHMAWATI
NRP 1412100046**

**Dosen Pembimbing
Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.**

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



SCRIPT

**REMOVAL OF CRYSTAL VIOLET USING HYBRIDE
METHODE AOP (ADVANCED OXIDATION PROCESS)
REAGEN FENTON AND FILTRATION MEMBRANE
CELLULOSE ACETATE/PEG**

**RACHMAWATI
NRP 1412100046**

**Advisor Lecturer
Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.**

Department of Chemistry
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

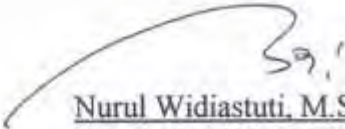
**PENGHILANGAN ZAT WARNA *CRYSTAL VIOLET*
MENGUNAKAN METODE GABUNGAN OKSIDASI
LANJUT REAGEN FENTON DAN FILTRASI
MEMBRAN SELULOSA ASETAT/PEG**

Oleh :


Rachmawati
NRP. 1412 100 046

Surabaya, 15 Juli 2016

Menyetujui,
Dosen Pembimbing


Nurul Widiastuti, M.Si. Ph.D
NIP. 19710425 199412 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia


Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc
NIP. 19710616 199703 1 002

**PENGHILANGAN ZAT WARNA *CRYSTAL VIOLET*
MENGUNAKAN METODE GABUNGAN OKSIDASI
LANJUT REAGEN FENTON DAN FILTRASI
MEMBRAN SELULOSA ASETAT/PEG**

Nama : Rachmawati
NRP : 1412100046
Jurusan : Kimia
Pembimbing : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D

ABSTRAK

Penghilangan zat warna *crystal violet* (CV) telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode gabungan oksidasi lanjut reagen fenton dan filtrasi membran selulosa asetat/PEG. Penggabungan kedua metode bertujuan mengurangi proses penyumbatan pada membran dan memisahkan produk hasil oksidasi lanjut reagen fenton, sehingga dicapai penghilangan zat warna CV yang dapat menghemat waktu, biaya, dan energi. Penelitian mencari komposisi optimum reaktan pada reagen fenton dan pengaruh gaya dorong berupa tekanan terhadap kinerja membran. Reagen fenton mempunyai kondisi optimum dan efisien untuk mendegradasi 100 mg/L zat warna CV pada konsentrasi 1000 mg/L H₂O₂ dan 200 mg/L FeSO₄. Nilai Fluks membran pada larutan umpan CV dan hasil oksidasi lanjut yaitu 7,07 L/m² jam dan 14,68 L/m² jam pada tekanan 4 bar. Nilai rejeksi zat warna CV pada larutan umpan CV dan hasil oksidasi lanjut yaitu 98,96% dan 99,92% pada tekanan 4 bar.

Kata Kunci: Oksidasi Lanjut Reagen Fenton, Membran Filtrasi, Crystal Violet, Selulosa Asetat.

**REMOVAL OF CRYSTAL VIOLET USING
HYBRIDE METHODE AOP (ADVANCED
OXIDATION PROCESS) REAGENT FENTON AND
FILTRATION MEMBRANE CELLULOSE
ACETATE/PEG**

Name : Rachmawati
NRP : 1412100046
Departement : Chemistry
Supervisor : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D

ABSTRACT

Removal of crystal violet (CV) has been successfully carried out using the combined method AOP reagent Fenton and membrane filtration cellulose acetate / PEG, the merger of the two methods aimed at reducing fouling of the membrane and separate the products of advanced oxidation reagent Fenton, thus achieved the removal of CV which can save time, cost and energy. This research looked for the optimal composition of reactants on Fenton reagent and the effect of pressure on the membrane performance. Regen Fenton has optimum composition and efficient way to degrade 100 mg / L dye CV at a concentration of 1000 mg/L H₂O₂ and 200 mg/L FeSO₄. Flux membranes in the feed solution of CV and advanced oxidation product at membrane pressure 4 bar are 7.07 L/m² h and 14.68 L/m² h. Rejection dye CV in the feed solution of CV and advanced oxidation product at membrane pressure 4 bar are 98.96% and 99.92%.

Keywords: AOP Fenton Reagent, Membrane Filtration, Crystal Violet, Cellulose Acetate.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Jenis-jenis Zat Warna	7
2.2 Crystal Violet	9
2.3 Teknik Pemisahan Zat Warna	10
2.3.1 Sedimentasi	13
2.3.2 Metode Degradasi Zat Warna dengan Elektrokimia	15
2.3.3 Metode Degradasi Zat Warna Menggunakan Spesi Biologi	15
2.3.4 Metode Adsorpsi	16
2.3.5 Oksidasi	19
2.4 Penyumbatan Membran	20
2.4.1 Zat Penyumbat	22

2.5	<i>Advanced Oxidation Processes (AOP) / Oksidasi Lanjut ..</i>	24
2.5.1	Reagen Fenton	26
2.6	Membran	27
2.7	Parameter Membran	30
2.7.1	Fluks/Laju Aliran	30
2.7.2	Rejeksi/Selektivitas	30
2.8	Karakterisasi	31
2.8.1	Fourier Transform Infra Red (FT-IR)	31
2.8.2	Spektrofotometer UV-Vis	34
2.8.3	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	35
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Alat dan bahan	37
3.1.1	Alat dan Instrumen	37
3.1.2	Bahan	37
3.2	Prosedur Kerja	37
3.2.1	Proses Oksidasi Lanjut <i>Crystal Violet</i>	37
3.2.2	Preparasi dan Uji Kinerja Membran	38
3.2.2.1	Preparasi Membran	38
3.2.2.2	Uji Kinerja Membran	39
3.2.3	Penggabungan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Menggunakan Membran Selulosa Asetat	40
3.2.4	Metode Spektroskopi dan Karakterisasi	41
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Pembutan Membran	44
4.2	Kinerja Membran	46
4.2.1	Fluks Air Murni	47
4.2.2	Fluks Larutan Hasil Oksidasi Lanjut Reagen Fenton	50
4.2.3	Rejeksi Membran	58

4.3	Proses Oksidasi Lanjut Regen Fenton	60
4.3.1	Variasi Komposisi Reaktan	61
4.3.2	Analisis Produk Hasil Oksidasi Lanjut	63
BAB V.	KESIMPULAN	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	83
BIODATA PENULIS	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur CV	10
Gambar 2.2	Skema proses pemisahan pada membran	27
Gambar 2.3	Skema Alat FT-IR	32
Gambar 2.4	Spektra ATR-FTIR Selulosa Asetat (a) <i>Cross Link</i> dengan TMC 2,3% b/b, (b) Murni	33
Gambar 2.5	Spektra FT-IR (a) <i>Crytal Violet</i> , (b) Produk Oksidasi <i>Crytal Violet</i> Menggunakan Reagen Fenton	33
Gambar 2.6	Energi Relatif Orbital yang Terlibat dalam Spektroskopi Elektronik	34
Gambar 2.7	Membran Selulosa Asetat (a) Permukaan dan (b) Penampang Melintang	36
Gambar 3.1	Proses Filtrasi Larutan Hasil Oksidasi Lanjut Menggunakan Membran Selulosa Asetat/PEG	40
Gambar 4.1	Mikrograf Penampang Melintang Membran Selulosa Asetat/PEG	46
Gambar 4.2	Spektra FT-IR Membran Selulosa Asetat/PEG	46
Gambar 4.3	Grafik Fluks Membran Selulosa Asetat/PEG (A) Air Murni dan (B) Zat Warna CV	49
Gambar 4.4	Pengaruh Waktu dan Variasi Tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar Terhadap Fluks Zat Warna CV	50
Gambar 4.5	Mikrograf Tampang Lintang Membran selulosa Asetat/PEG (A) Sebelum dan (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Hasil Oksidasi Lanjut	52
Gambar 4.6	Pengaruh Waktu dan Variasi Tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar Terhadap Fluks Larutan Hasil Oksidasi Lanjut	53

Gambar 4.7	SEM Morfologi Permukaan Membran (A) Sebelum Proses Filtrasi (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Umpan Oksidasi Lanjut	55
Gambar 4.8	Spektra FT-IR Membran (A) Sebelum dan (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Umpan Oksidasi Lanjut	56
Gambar 4.9	Grafik Fluks Larutan Hasil Proses Oksidasi Lanjut pada tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar dan Fluks Larutan Zat Warna CV pada tekanan (a) 4 bar, (b) 3 bar, (c) 2 bar	57
Gambar 4.10	Membran Filtrasi Larutan Umpan (A) Zat Warna CV (B) Larutan Hasil Oksidasi Lanjut	57
Gambar 4.11	Rejeksi Membran Selulosa Asetat/PEG terhadap Zat warna CV pada Larutan Umpan (A) Zat Warna CV (B) Larutan Oksidasi Lanjut	59
Gambar 4.12	Larutan Permeat Hasil Filtrasi Membran Selulosa Asetat/PEG (A) Larutan zat warna CV (Kiri: Umpan CV, Kanan: Hasil Permeat) (B) Larutan Hasil Oksidasi Lanjut (Kiri: Hasil Permeat, Kanan: Umpan Larutan Hasil Oksidasi Lanjut)	60
Gambar 4.13	Grafik Proses Degradasi CV oleh Reagen Fenton, dengan Variasi Konsentrasi Fe^{2+} pada 100 mg/L CV dan 1000 mg/L H_2O_2	62
Gambar 4.14	Grafik Proses Degradasi CV oleh Reagen Fenton, dengan Variasi Konsentrasi H_2O_2 pada 100 mg/L CV dan 200 mg/L $FeSO_4$	62
Gambar 4.15	Spektra FT-IR (A) Zat Warna CV (B) Produk Hasil Oksidasi Lanjut (C) Permeat Membran	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis Zat Warna	8
Tabel 2.2	Metode Pemisahan Zat Warna	11
Tabel 2.3	Proses Pemisahan Zat Warna dengan Metode Sedimentasi	14
Tabel 2.4	Proses Degradasi Zat Warna Oleh Mikroorganisme	16
Tabel 2.5	Contoh <i>foulant</i> dan model <i>fouling</i> dalam aplikasi membran yang melibatkan pemisahan zat cair-padat	23
Tabel 2.6	Data Nilai Potensial Oksidasi Dari Bererapa Agen Pengoksidasi	24
Tabel 2.7	Tipe Oksidasi AOP	25
Tabel 2.8	Bahan Polimer Pembuat Membran	28
Tabel 2.9	Bilangan Gelombang Infra Merah	32
Tabel 3.1	Variasi Konsentrasi H ₂ O ₂ dan FeSO ₄ .7H ₂ O .	38
Tabel 3.2	Larutan Umpan Membran	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil, selain menjadi kontributor perekonomian dari banyak negara, juga merupakan sumber utama berbagai limbah cair dan padat. Industri tekstil menggunakan air dalam jumlah besar. Penggunaan air untuk berbagai proses pada industri tekstil diperkirakan sebesar 378 miliar L/tahun dengan total volume air limbah yang dihasilkan sekitar 150 miliar L/tahun (Clay, 2004; Drioli dan Giorno, 2010) dan lebih dari 80.000 ton/tahun pewarna digunakan dalam proses pencelupan tekstil (Mendez-Martinez dkk., 2012).

Jumlah permintaan yang besar terhadap industri tekstil mengakibatkan terjadinya peningkatan proporsional pada produksi pewarna sintesis. Salah satu pewarna tekstil yaitu *crystal violet*. Masuknya polutan limbah zat warna ke dalam perairan menimbulkan bahaya ekotoksik dan bahaya bioakumulasi yang akhirnya dapat mempengaruhi kesehatan manusia melalui rantai makanan.

Akibat dari sifat toksisitas limbah zat warna terhadap makhluk hidup dan lingkungan, maka perlu adanya pengolahan atau penanganan terhadap limbah zat warna. Metode pengolahan limbah zat warna yang telah dikembangkan hingga saat ini yaitu adsorpsi, oksidasi, koagulasi, degradasi mikrobiologi aerob dan anaerob, hingga teknologi pemisahan menggunakan membran. Pada penggunaan metode koagulasi, flokulasi atau adsorpsi, polutan ditransfer dari fase cair ke fase padat, sehingga menghasilkan polusi sekunder. Selain itu regenerasi adsorben adalah proses yang memerlukan biaya dan waktu. Di sisi lain, degradasi zat warna menggunakan mikrobiologi memiliki keuntungan antara lain biaya efektif, ramah lingkungan. Tetapi, prosesnya memakan waktu dan tidak cocok untuk sebagian besar pewarna (Tan dkk., 2006). Teknologi pemisahan menggunakan

membran mempunyai keuntungan antara lain penggunaan energi yang relatif kecil, dapat memisahkan segala jenis zat warna. Nowak dan Winnicki (1986) melaporkan membran polisulfon dapat memisahkan limbah zat warna organik sebesar 90-100%. Penghilangan zat warna reaktif lebih dari 99%, berasal dari campuran pewarna/garam, dapat dicapai oleh membran asimetris selulosa asetat dan membran komposit poliamida nanofiltrasi (Yu dkk., 2010).

Penelitian terkait kinerja membran untuk aplikasi pengolahan limbah zat warna dan upaya peningkatan kinerja membran telah banyak dilakukan. Salah satunya dilaporkan oleh Sulystia (2015) tentang peningkatan kinerja membran selulosa asetat. Pada penelitian tersebut dilaporkan perbandingan komposisi selulosa asetat yang digunakan yaitu 12,5%, 15%, 17,5% dan 20%. Pada penelitian tersebut juga dilakukan modifikasi penambahan polietilenglikol (PEG) untuk meningkatkan porositas membran, sehingga kinerja membran dapat ditingkatkan. Pada penambahan 2% PEG dan komposisi selulosa asetat 20% diperoleh kondisi optimum kinerja membran yaitu nilai fluks sebesar 18,75 L/m² jam dan rejeksi 99,74%. Dalam penelitian ini digunakan kondisi optimum membran pada penelitian sebelumnya yaitu 20% selulosa asetat dan penambahan 2% PEG. Pada penelitian ini dipilih selulosa asetat sebagai bahan materi pembuat membran karena memiliki beberapa kelebihan yaitu bersifat hidrofilik, memiliki nilai flux yang relatif tinggi, nilai rejeksi yang tinggi terhadap garam-garam, ekonomis, mudah dibentuk dan dibuat menjadi membran, berasal dari bahan yang dapat diperbaharui (*renewable*), dan tidak beracun (Nagendran dkk., 2008).

Disamping kelebihan menggunakan membran, penyumbatan/*fouling* yang terjadi pada membran masih menjadi masalah besar yang membatasi potensi teknik ini. Penyumbatan terjadi ketika partikel menempel pada permukaan membran, sehingga menyebabkan penurunan di daerah filtrasi efektif membran, pengurangan volume cairan yang melalui membran, penurunan produktivitas membran dan memperpendek waktu

hidup membran (Chi-Chuan dkk., 2015). Penyumbatan membran biasanya dipengaruhi oleh larutan umpan (*feed*), karakteristik membran, dan modul filtrasi yang digunakan (Costa dkk., 2006). Penyumbatan pada membran dapat mengakibatkan peningkatan biaya operasional, karena permintaan energi meningkat, serta membutuhkan biaya pemeliharaan tambahan pada membran.

Selain teknik pemisahan zat warna dengan membran, metode oksidasi lanjut/AOP (*Advanced Oxidation Processes*) juga banyak digunakan untuk mendegradasi zat warna. Oksidasi lanjut merupakan metode yang efektif untuk mendegradasi limbah yang sulit diuraikan dengan cara membentuk spesi radikal hidroksi (Oller dkk., 2011). Radikal hidroksi dihasilkan oleh reaksi UV/H_2O_2 , UV/O_3 , O_3/H_2O_2 , TiO_2/H_2O_2 , Fe^{2+}/H_2O_2 (Tisa dkk., 2014). Penelitian tentang degradasi zat warna CV menggunakan radikal hidroksi telah dilakukan antara lain menggunakan ZnO/UV (Couto dkk., 2002), H_2O_2/UV (Alshamsi dkk., 2007), $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$ (Alshamsi dkk., 2007), Fe^{3+}/UV (Sirés dkk., 2008), Fe^{2+}/H_2O_2 (Jana dkk., 2010). Metode oksidasi lanjut menggunakan reagen fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) memiliki kelebihan diantara metode yang lain yaitu dapat menghasilkan radikal hidroksida dengan mudah dan tidak rumit, bahan kimia yang relatif ekonomis dan tersedia secara umum, hemat energi, tidak memerlukan peralatan khusus seperti lampu UV, TiO_2/ZnO , reaktor ozon, tidak memerlukan instalasi reaktor yang rumit (Fan dkk., 2009). Karena kesederhanaan ini, reagen fenton memiliki potensi untuk digunakan secara luas dalam mendegradasi limbah zat warna. Namun selama oksidasi lanjut, reagen fenton menghasilkan produk samping berupa lumpur hasil dari pembentukan endapan besi hidroksida (Jana dkk., 2010). Apabila proses ini diaplikasikan pada skala industri, pengendapan lumpur yang dilakukan pada bak sedimentasi memiliki kekurangan yaitu proses pengendapan partikel-partikel tersebut lama dan tidak semuanya mengendap pada waktu yang bersamaan. Sebagian partikel yang berukuran kecil masih melayang-layang, sehingga perlu proses pemisahan yang cepat dan efisien agar penggunaan metode oksidasi lanjut ini dapat dilakukan di industri.

Solusi dalam mengatasi kelemahan kedua metode tersebut dilakukan dengan menggabungkan metode oksidasi lanjut reagen fenton dan membran untuk mendegradasi serta memisahkan zat warna CV. Sebelumnya, penggabungan metode untuk mendegradasi zat warna telah diteliti oleh Mozia dkk. (2006) yaitu dengan menggabungkan metode fotokatalisis-membran destilasi pada proses degradasi zat warna golongan azo. Kombinasi metode koagulasi-flokulasi dengan membran nanofiltrasi untuk pemisahan zat warna tekstil oleh Rierra-Torres dkk. (2010). Gabungan metode pengolahan limbah zat warna dengan membran dibandingkan dengan proses pengolahan air limbah tradisional memberikan beberapa keuntungan seperti kuantitas air limbah yang diolah besar, efisiensi penghilangan limbah tinggi, mengontrol penyumbatan pada membran, dan konsumsi energi yang rendah (Basar dkk., 2006).

Tahapan awal pada penelitian adalah pendegradasian zat warna CV menggunakan metode oksidasi lanjut reagen fenton dengan memvariasikan konsentrasi reaktan. Reaktan reagen fenton yaitu H_2O_2 dan ion Fe^{2+} . Variasi konsentrasi H_2O_2 yang digunakan antara lain 800, 1000, dan 1200 mg/L, sedangkan variasi konsentrasi FeSO_4 yaitu 200, 300, dan 500 mg/L untuk mendegradasi zat warna CV 100 mg/L. Tujuan dilakukan variasi konsentrasi reagen fenton pada penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh komposisi reaktan dari reagen fenton terhadap proses degradasi zat warna CV. Komposisi reaktan yang optimal dan efisien dalam mendegradasi zat warna CV, selanjutnya digunakan sebagai larutan umpan yang akan difiltrasi menggunakan membran.

Tahapan selanjutnya setelah oksidasi lanjut pada penelitian ini adalah filtrasi menggunakan membran. Pada proses filtrasi membran menggunakan modul *dead end cylindrical filtration stirred cell* dilakukan variasi tekanan sebagai gaya pendorong larutan umpan membran. Tujuan dilakukannya variasi tekanan yaitu untuk mengetahui pengaruh gaya dorong berupa tekanan terhadap kinerja membran.

1.2 Rumusan Masalah

Teknologi membran telah banyak diteliti untuk pemisahan zat warna dan menghasilkan proses pemisahan yang memuaskan, namun penyumbatan/*fouling* yang terjadi pada membran masih menjadi masalah besar yang membatasi potensi teknik ini. Disisi lain proses oksidasi lanjut reagen fenton mempunyai keuntungan waktu yang relatif cepat dan proses yang digunakan sederhana dalam mendegradasi zat warna. Namun, selama oksidasi lanjut, reagen fenton menghasilkan produk samping berupa lumpur hasil dari pembentukan endapan besi hidroksida. Penelitian ini mencoba menggabungkan kedua metode oksidasi lanjut reagen fenton dan membran untuk mengatasi kekurangan masing-masing.

Selain masalah diatas penelitian ini juga dilakukan untuk mencari kondisi komposisi reagen fenton yang optimum dan efisien dalam degradasi zat warna CV, serta mencari kondisi operasi pada membran berupa tekanan untuk mengetahui kinerja membran terbaik.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi optimum reaksi degradasi zat warna CV menggunakan oksidasi lanjut reagen fenton dan untuk mengetahui pengaruh gaya dorong berupa tekanan terhadap kinerja membran. Penggabungan dua metode oksidasi lanjut reagen fenton dan membran bertujuan untuk mengurangi proses penyumbatan pada membran dan memisahkan lumpur hasil produk samping oksidasi lanjut reagen fenton.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini yaitu:

1. Bahan utama membran filtrasi dari selulosa asetat dengan pelarut dimetil asetat (DMAc) dipreparasi dengan metode inversi fasa.
2. Komposisi membran yang digunakan 20% selulosa asetat dan 2% PEG.

3. Variasi komposisi reagen fenton yang digunakan yaitu 800, 1000, dan 1200 mg/L H_2O_2 ; 200, 300, dan 500 mg/L $FeSO_4$.
4. Variasi tekanan sebagai gaya dorong larutan umpan membran sebesar 2, 3, dan 4 bar.
5. Konsentrasi zat warna CV yang digunakan untuk larutan umpan membran dan oksidasi lanjut yaitu 100 mg/L.

1.5 Manfaat Penelitian

Penggabungan kedua metode oksidasi lanjut reagen fenton dan membran diharapkan dapat mengurangi penyumbatan pada membran serta mendapatkan proses yang cepat dan efisien dalam mendegradasi zat warna CV secara sempurna.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis-jenis Zat Warna

Zat warna adalah senyawa yang dapat terikat pada suatu permukaan atau serat, sehingga dapat memberikan warna pada benda tersebut. Warna yang dihasilkan oleh zat warna berasal dari senyawa organik kompleks yang umumnya tahan terhadap kondisi yang cukup ekstrim, seperti tahan oleh deterjen dan lain sebagainya. Zat warna terdiri atas dua komponen yaitu kromofor dan auksokrom. Kromofor merupakan komponen yang memproduksi warna. Peran auksokrom selain sebagai zat tambahan pada kromofor juga berfungsi meningkatkan kelarutan molekul zat warna di dalam air dan meningkatkan affinitas pengikatan zat warna pada serat (Hunger, 2003).

Zat warna dapat digolongkan berdasarkan struktur kimia dan aplikasinya pada jenis serat (Hunger, 2003). Penggolongan zat warna berdasarkan struktur kimia antara lain golongan azo, antraquinon, indigoid, kelompok senyawa sulfur, kompleks logam, flouresen, nitro, dan nitroso (Hunger, 2003). Adapun penggolongan zat warna berdasarkan muatannya dapat digolongkan menjadi 3 yaitu: anionik, kationik dan non-ionik. Kelompok zat warna anionik adalah *direct dyes*, zat warna reaktif, zat warna asam. Kelompok zat warna kationik adalah semua zat warna jenis basa. Sedangkan kelompok zat warna non-ionik adalah *disperse dyes* (El Qada dkk., 2008). Penggolongan jenis zat warna dan aplikasi pada serat dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis-jenis zat warna

Jenis Zat Warna	Aplikasi (Substrat)	Deskripsi	Golongan Struktur
Zat warna asam	Nylon, wol, sutera, acrylic, kertas, kulit, tinta printer, makanan, cosmetic.	Larut dalam air, Anionik.	Azo, antraquinon, trifenilmethan, azin, nitro, nitroso, xanthen
Zat warna basa / Kationik	Kertas, poliakrilonitril, nilon termodifikasi, poliester termodifikasi, obat-obatan, wool, sutera, katun	Kationik, larut dalam air	Sianin, hemisianin, thiazin, oxazin, acridine, triarilmethan
<i>Disperse Dyes</i>	Selulosa, selulosa asetat, serat acrylic, poliester, nylon	Tidak larut air, zat warna non ionik, digunakan pada serat yang bersifat hidrofobik	Azo, antraquinon, styiril, nitro, kelompok benzodifuranon
<i>Direct Dyes</i>	Katun, kertas, kulit, nilon	Larut dalam air, zat	Oxazine, senyawa poliazo,

		warna anionik	stilbane, phthalosianin
Zat warna reaktif	Katun, wool, nilon	Membentuk ikatan kovalen dengan serat, warna yang dihasilkan sangat terang	Azo, antraquinone, triarilmethan, phthalosianin, formazan, oxazin
<i>Solvent Dyes</i>	Plastik, minyak bahan bakar, pelumas, oli, lilin	Larut dalam solvet, tidak larut dalam air, bersifat nonpolar	Azo, antraquinon
Zat warna sulfur	Katun, beberapa pada serat poliamida, sutera, kulit, kertas, kayu	Biaya murah, mudah dicuci	-
<i>Vat Dyes</i>	Terutama pada katun, selulosa, juga pada wool dan rayon	Tidak larut dalam air,	Antraquinone, indigoid

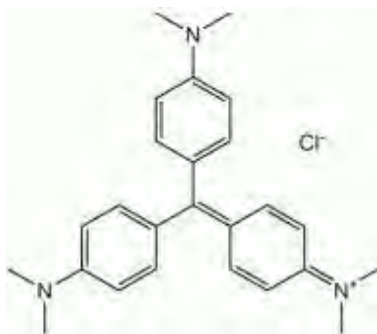
(Christie, 2007; Hunger, 2003)

2.2 Crystal Violet

Crystal violet (CV) atau gentian violet (diketahui juga sebagai methyl violet 10B, hexamethyl pararosaniline chloride, atau pyocyanin) adalah zat warna triarilmethane. Zat warna ini digunakan sebagai histology zat warna dan metode Gram dari

klasifikasi bakteri. Crystal violet mempunyai sifat-sifat antibakteri, antijamur, dan anthelmintic dan pembentukannya sebagai antiseptic. Bidang obat-obat menggunakan zat warna yang telah digantikan dengan obat-obatan yang lebih modern, meskipun masih ada pengawasan WHO.

Nama “gentian violet” pada awalnya digunakan untuk campuran zat warna methyl pararosaniline (methyl violet) tetapi sekarang sering disebut sebagai *crystal violet*. Nama ini merujuk kepada warnanya, seperti daun bunga dari bunga gentian, namun tidak terbuat dari gentian atau violet. Ketika dilarutkan dalam air zat warna menjadi biru-violet dengan absorbansi maksimum 590 nm dan koefisien ekstinsinya $87.000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Warna dari zat warna bergantung pada keasaman dari larutan. Struktur zat warna CV disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur CV (Samira, 2012)

2.3 Teknik Pemisahan Zat Warna

Pewarna dianggap sebagai objek polutan karena sifatnya yang beracun. Umumnya dikonsumsi secara oral dan bila terkena kulit dan mata menyebabkan iritasi, serta bersifat karsinogenik (Christie, 2007; Rai dkk., 2005). Limbah zat warna yang memasuki perairan menimbulkan warna yang dapat dilihat jelas oleh mata sehingga merusak estetika lingkungan. Tidak hanya itu, zat warna juga mengganggu transmisi cahaya dan mengganggu proses metabolisme biologi perairan yang menyebabkan kerusakan

komunitas pada ekosistem (Kuo, 1992;. Walsh et al, 1980). Selanjutnya, zat warna memiliki kecenderungan untuk menyerap logam dan dapat menyebabkan mikrotoksitas pada ikan dan organisme lain (Walsh dkk., 1980). Akibat dari tingginya sifat toksisitas limbah zat warna terhadap makhluk hidup dan lingkungan, maka perlu adanya pengolahan atau penanganan terhadap limbah zat warna.

Metodologi pemisahan limbah zat warna berdasarkan sifatnya dapat dikelompokkan berdasarkan proses fisika, kimia, biologis, radiasi dan elektrik (Gupta dan Suhas, 2009). Kelebihan dan kekurangan masing-masing metode pemisahan zat warna disajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Metode Pemisahan Zat Warna

	Metode	Kelebihan	Kekurangan
Proses Kimia	Proses oksidasi	Mudah diaplikasikan	Butuh proses pengaktifasi
	H ₂ O ₂ + garam Fe (II) (reagen fenton)	Pembuatan reagen yang mudah	Menghasilkan limbah lumpur
	Ozonasi	Dapat diaplikasikan sebagai gas sehingga tidak menambah volume limbah dan lumpur	Waktu paruh pendek (20 menit)
	NaOCl	Mempercepat pemecahan ikatan pewarna golongan azo	Melepaskan amin aromatik

Proses Biologi	Kultur mikroba campuran	Proses degradasi selama 24-30 jam	Pada kondisi aerobik zat warna azo tidak dapat didegradasi
	Jamur akar putih	Degradasi zat warna menggunakan enzim	Produksi enzim <i>unreliable</i>
	Sistem bioremediasi	Dapat mendegradasi zat warna golongan azo dan jenis lain yang larut dalam air	Menghasilkan metana dan hidrogen sulfida
Proses Fisika	Adsorpsi menggunakan karbon aktif	Sangat baik dalam mendegradasi berbagai jenis zat warna	Sangat mahal
	Filtrasi dengan membran	Memisahkan segala jenis zat warna	Menghasilkan lumpur konsentrat
	Irradiasi	Pada skala lab aktif untuk mengoksidasi	Membutuhkan oksigen terlarut yang banyak
	Elektrokinetik koagulasi	ekonomis	Menghasilkan lumpur dalam jumlah besar

(Robinson dkk., 2001)

2.3.1 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan metode utama yang digunakan untuk memproses air limbah pada industri (Cheremisinoff, 2002). Ada sejumlah pilihan proses yang tersedia untuk meningkatkan pengendapan partikel yang tersuspensi, termasuk menggunakan flokulan kimia dan bak cekungan sedimentasi.

Pada penelitian Saitoh (2014) dilaporkan bahwa zat warna methylene biru, perunggu hijau, dan *crystal violet* dapat didegradasi sebesar <4% oleh aluminium hidroksida, serta nilai persentase degradasi meningkat dengan meningkatnya jumlah SDS yang ditambahkan. Pada range pH 7,9-8,6, dengan penambahan 100 mg L⁻¹ masing-masing ion Al (III) dan SDS menghasilkan nilai persentase degradasi tiga zat warna kationik tersebut hampir > 99% dalam waktu 30 menit. Pada Tabel 2.3 disajikan data proses pemisahan zat warna menggunakan metode sedimentasi beserta jenis zat warna dan kondisi optimum reaksi.

Tabel 2.3 Proses Pemisahan Zat Warna dengan Metode Sedimentasi

Koagulan	Flokulan	Jenis Zat Warna	Kondisi Optimum			Pustaka
			Dosis (mg/L)	pH	% Degradasi	
Tawas	-	<i>Disperse dan reactive dyes</i>	300	5.3	82.9	El-Gohary dan Tawfik, 2009
Kapur / lime	-	<i>Disperse dan reactive dyes</i>	600	11.7	100	El-Gohary dan Tawfik, 2009
Magnesium Klorida	Kalsium hidroksida	<i>Disperse dan reactive dyes</i>	800	12	98	Gao dkk., 2007
Besi (III) Korida	Polimer Kationik	Limbah industri	56	4	92	Suksaroj dkk., 2005

2.3.2 Metode Degradasi Zat Warna dengan Elektrokimia

Degradasi zat warna dapat dilakukan dengan menggunakan metode elektrokimia seperti pada penelitian Gupta dkk. (2007b), Lin dan Peng (1994). Beberapa bahan anoda seperti besi, polimer yang memiliki daya hantar contohnya boron yang didoping oleh elektroda berlian, dengan kondisi percobaan yang berbeda-beda telah berhasil dilakukan elektro-degradasi pewarna (Dogan dan Turkdemir, 2005; Faouzi dkk., 2007; Oliveira dkk., 2007a). Pada penelitian Lopes dkk., (2004) degradasi *direct dyes* merah 80 sebesar 83-100% dapat dicapai dengan menggunakan tiga elektroda yang berbeda yaitu: besi, polipirol didoping dengan kromium dan boron didoping elektroda berlian. Teknik ini efektif untuk degradasi jenis zat warna larut dan tidak larut air dengan menurunkan angka *chemical oxygen demand* (COD). Variabel tingkat kecepatan degradasi zat warna dan bahan organik lain tergantung pada jenis anoda dan potensial kerja yang digunakan. Namun demikian, kelemahan utama metode ini adalah mengkonsumsi biaya listrik yang tinggi, menghasilkan lumpur dan juga polusi dari hasil diklorinasi organik dan logam berat akibat oksidasi tidak langsung.

2.3.3 Metode Degradasi Zat Warna Menggunakan Spesi Biologi

Degradasi zat warna pada limbah menggunakan metode pengolahan biologi sudah banyak digunakan. Metodologi ini menawarkan keuntungan seperti biaya relatif murah, hasil akhir proses mineralisasi tidak beracun.

Pada proses aerobik, bakteri dan jamur adalah dua kelompok mikroorganisme yang paling banyak dipelajari kemampuannya dalam mendegradasi zat warna pada limbah. Pada kondisi aerobik, enzim yang disekresi oleh bakteri ke dalam air limbah untuk memecah senyawa organik. Zat warna golongan trifenilmetana seperti magenta, *crystal violet*, hijau brilian, *malachite green*, dan etil violet dilaporkan dapat didegradasi 92-100% oleh strain *Kurthia* sp. (Sani dan Banerjee, 1999b). Pada penelitian yang dilaporkan oleh Sani dan Banerjee (1999b)

dijelaskan bahwa setelah biotransformasi, tingkat penurunan COD ekstrak sel bebas dari pewarna trifenilmetana lebih dari 88% di semua pewarna kecuali pada kasus etil violet 70%. Namun demikian, hal ini menunjukkan pewarna sintetis tidak dengan seragam mudah terdekomposisi pada proses aerobik konvensional (Husain, 2006). Proses degradasi zat warna oleh mikroorganisme dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Proses Degradasi Zat Warna Oleh Mikroorganisme

Bakteri	Zat Warna	Waktu (jam)	Degradasi (%)	Pustaka
<i>Acinetobacter radioresistens</i>	Merah Asam	48	> 70	Ramya dkk., 2010
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Remazol orange	24	94	Sarayu dan Sandhya, 2010
<i>Proteus</i> sp.	Merah Kongo	48	67	Perumal dkk., 2012
Mutan <i>Bacillus</i> sp. ACT2	Merah Kongo	37-48	12-30	Gopinath dkk., 2009

2.3.4 Metode Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses akumulasi pada permukaan material adsorben. Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis. Jika tarik menarik antara permukaan zat padat dan molekul yang diserap adalah secara fisik, adsorpsi ini disebut sebagai adsorpsi fisik (*physiosorption*). Umumnya, dalam adsorpsi fisik tarik menarik antara molekul teradsorpsi dan permukaan padat karena adanya gaya *Van der Waals* yang menghasilkan tarikan yang lemah dan zat yang di adsorpsi bersifat reversibel. Di sisi lain jika kekuatan tarik menarik yang terjadi karena ikatan kimia, proses adsorpsi disebut *chemisorption*. Kekuatan tarik menarik lebih tinggi terjadi pada *chemisorption*, sulit untuk

menarik/menghilangkan spesies *chemisorbed* dari permukaan zat padat (Gupta dan Suhas, 2009).

Salah satu karakteristik penting adsorben adalah kemampuan menghimpun adsorbat sebanyak banyaknya pada adsorben yang biasanya dihitung dengan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi adalah kesetimbangan pada suhu konstan yang berhubungan dengan kuantitas adsorbat per unit adsorben (q_e) dan keseimbangan konsentrasi larutan (C_e). Beberapa persamaan atau model adsorpsi yang tersedia menggambarkan fungsi ini seperti persamaan Freundlich dan Langmuir. Zat warna yang sulit didegradasi oleh spesi biologi dapat sering didegradasi dengan menggunakan adsorben. Sebuah adsorben yang baik menurut Linsen (1970) dan Tien (1994) umumnya harus memiliki struktur berpori (memiliki luas permukaan yang tinggi) dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi harus sekecil mungkin sehingga dapat digunakan untuk degradasi limbah zat warna dalam waktu yang cepat. Beberapa adsorben, yang umumnya digunakan untuk pengolahan limbah zat warna yaitu alumina, silika gel, karbon aktif (Gupta dan Suhas, 2009).

Alumina, kristal gel sintesis berpori, yang tersedia dalam bentuk butiran dengan ukuran yang berbeda-beda. Alumina memiliki luas permukaan antara 200-300 $m^2 g^{-1}$ (Do, 1998). Bauksit merupakan kristal alumina alam berpori yang terkontaminasi dengan kaolin dan oksida besi biasanya memiliki luas permukaan antara 25-250 $m^2 g^{-1}$ (Mantell, 1951). Alumina telah dipelajari oleh berbagai peneliti untuk menghilangkan zat warna (Adak dkk., 2005, 2006; Huang dkk., 2007).

Salah satu jenis adsorben yaitu silika gel. Silika gel memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan alumina, yang berkisar antara 250-900 $m^2 g^{-1}$ (Do, 1998). Pada penelitian yang dilaporkan oleh Alexander dan McKay (1997) dan Allingham dkk. (1958) tentang adsorpsi pewarna dasar pada silika, walaupun memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi tetapi silika merupakan bahan adsorben yang mahal (McKay dkk., 1997).

Karbon aktif adalah adsorben tertua yang digunakan dan biasanya dibuat dari batubara, batok kelapa, lignit, kayu. Metode aktivasi karbon yaitu secara fisika dan kimia (Bansal dkk., 1988; Carrott dkk., 2003; Hassler, 1963; Phan dkk., 2006). Umumnya, aktivasi fisika membutuhkan suhu tinggi dan waktu aktivasi lebih lama dibandingkan dengan aktivasi kimia, namun, pada aktivasi kimia, karbon yang teraktivasi membutuhkan pencucian kembali karena penggunaan bahan kimia. Karbon aktif umumnya memiliki struktur berpori dengan luas permukaan besar mulai dari 500-2000 m² g⁻¹ (Carrott dkk., 1991). Telah diketahui bahwa adsorpsi pada karbon aktif bersifat tidak selektif karena terjadi melalui gaya-gaya van der Waals. McKay (1982) menggunakan karbon aktif tipe filtratorb untuk menghilangkan zat warna jenis asam, *basic*, *disperse* dan *direct dyes* dan menunjukkan hasil yang sangat baik untuk menghilangkan semua zat warna tersebut kecuali *direct dyes*. Al-degs dkk. (2000 dan 2001) mempelajari lebih lanjut tentang karbon aktif untuk degradasi zat warna kationik (metilen biru) dan pewarna anionik (hitam reaktif), dan dilaporkan bahwa ada hubungan antara kinerja karbon aktif dan kapasitas biru metilen per luas permukaan. Penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif adalah bahan yang baik untuk menghilangkan berbagai jenis pewarna tetapi penggunaannya terbatas dalam persoalan biaya yang tinggi. Karbon teraktivasi yang telah digunakan dalam pengolahan air limbah tidak lagi mampu menyerap pewarna. Setelah karbon aktif telah jenuh dan kotor, perlu dilakukan regenerasi ulang menggunakan sejumlah metode seperti metode termal, kimia, oksidasi, elektrokimia proses regenerasi karbon aktif, dan yang paling umum digunakan adalah metode termal (Gupta dan Suhas, 2009).. Untuk meregenerasi karbon aktif membutuhkan tambahan biaya, terlebih lagi setiap proses regenerasi menyebabkan hilangnya karbon dan produk hasil regenerasi karbon aktif mungkin memiliki kapasitas adsorpsi sedikit lebih rendah dibandingkan dengan karbon aktif awal (Gupta dan Suhas, 2009).

2.3.5 Oksidasi

Oksidasi adalah metode pengolahan air limbah menggunakan agen pengoksidasi. Agen pengoksidasi antara lain klorin, hidrogen peroksida, reagen fenton, ozon, atau kalium permanganat dengan bantuan sinar ultra violet (UV). Oksidasi merupakan metode paling umum yang digunakan untuk proses degradasi zat warna karena memerlukan jumlah yang rendah dan waktu reaksi yang singkat. Proses oksidasi zat warna dengan sempurna secara teoritis dapat mengubah molekul kompleks menjadi karbon dioksida dan air. Katalis dan pH memainkan peran penting dalam proses oksidasi (Gupta dan Suhas, 2009).

Klorin adalah agen pengoksidasi kuat. Senyawa klorin dapat berupa kalsium hipoklorit dan natrium hipoklorit. Klorin juga berfungsi sebagai disinfektan yang paling banyak digunakan untuk pengolahan air, juga banyak digunakan untuk degradasi zat warna pada pulp dan pemutihan tekstil. Jenis zat warna reaktif, asam, *direct dyes* dan kompleks logam, dan zat warna yang larut air dapat didegradasi dengan mudah oleh hipoklorit, tetapi pada jenis zat warna yang tidak larut air dan *vat dyes* tidak dapat didegradasi menggunakan proses ini (Nambodri dkk., 1994a, b). Telah dilaporkan bahwa proses degradasi zat warna reaktif umumnya memerlukan waktu reaksi yang lama, sementara pewarna kompleks logam masih tetap berwarna walaupun telah dilakukan proses degradasi dalam jangka panjang. Pewarna yang memiliki gugus amino atau gugus amino tersubstitusi pada cincin naftalena, merupakan pewarna yang mudah didegradasi menggunakan senyawa klorin dari pada pewarna lainnya. Proses oksidasi dapat ditingkatkan melalui kontrol pH dan penambahan katalis. Misalnya, dalam penguraian pewarna kompleks logam, logam seperti besi, tembaga, nikel dan kromium yang dibebaskan memiliki efek katalitik yang dapat meningkatkan proses degradasi pewarna. Meskipun penggunaan gas klorin adalah metodologi yang murah untuk degradasi zat warna pada air limbah, namun penggunaannya menyebabkan reaksi samping yang tidak dapat

dihindari, yaitu dengan memproduksi senyawa organoklorin termasuk trihalomethane yang bersifat racun (Omura, 1994).

Hidrogen peroksida (H_2O_2) adalah cairan yang berwarna biru pucat dan berubah menjadi tidak berwarna dalam larutan yang encer, sedikit lebih kental dari pada air. Hidrogen peroksida memiliki sifat pengoksidasi yang kuat dan karena itu digunakan sebagai agen pemutihan kertas. Pada tahun 1994 sekitar 50% dari produksi hidrogen peroksida di dunia digunakan untuk pemutih kertas dan pulp (Hage dan Lienke, 2006). Hidrogen peroksida juga digunakan untuk membuat enzim peroksidase, yang digunakan untuk proses degradasi zat warna (Morita dkk., 1996). Namun, proses ini tergantung pada pH dan menghasilkan lumpur (Gupta dan Suhas, 2009).

Fenton reagen merupakan larutan hidrogen peroksida dengan besi sebagai katalis yang digunakan untuk mengoksidasi air limbah zat warna (Wang, 2008) dan memiliki sifat oksidasi lebih kuat dari pada hidrogen peroksida. Metode ini efektif dalam mendegradasi zat warna, baik jenis zat warna larut dan tak larut dalam air (Kim dkk., 2004). Meskipun beberapa zat warna seperti zat warna jenis vat dan *disperse dyes* resisten terhadap fenton reagen. Contoh pewarna seperti 3RT biru palanil tahan terhadap reagen fenton (Gregor, 1992). Reagen fenton tidak hanya mendegradasi zat warna, tetapi juga menurunkan nilai COD (kecuali pada pewarna reaktif), jumlah total karbon organik dan toksisitas limbah. Proses ini juga dapat diaplikasikan pada limbah yang memiliki jumlah zat tersuspensi yang tinggi (Gupta dan Suhas, 2009).

2.4. Penyumbatan Membran

Teknik pemisahan zat warna menggunakan membran filtrasi saat ini mengalami pengembangan berkelanjutan dan penggunaan membran filtrasi terdapat dalam berbagai bidang, mulai dari pemurnian zat kimia, pengolahan air, pengolahan limbah, pengolahan susu, penggunaan medis (Cheryan, 1986). Namun, penyumbatan pada membran masih menjadi masalah yang membatasi potensi teknologi membran. Penyumbatan dapat

mengakibatkan peningkatan biaya operasional, karena permintaan energi meningkat, perlu biaya tambahan untuk pemeliharaan, biaya pembersihan kimia, dan waktu hidup membran lebih pendek. Upaya mencegah terjadinya penyumbatan pada membran antara lain dengan metode pra-treatment pada limbah sebelum difiltrasi, melakukan modifikasi kimia untuk meningkatkan sifat anti-penyumbatan pada membran, melakukan optimalisasi kondisi operasional (Xiafu dkk., 2014).

Pada proses filtrasi membran, pelarut dapat melewati penyaringan membran namun molekul yang lebih besar atau makromolekul tidak dapat melewati membran dan tertahan dipermukaan membran. Molekul-molekul yang berada pada permukaan membran ini membutuhkan waktu lama untuk berdifusi kembali kedalam larutan awal sehingga menghasilkan perbedaan konsentrasi (gradien konsentrasi) yang terjadi tepat pada permukaan membran. Jenis penyumbatan ini disebut polarisasi konsentrasi. Polarisasi konsentrasi dapat meningkatkan resistensi terhadap laju aliran cairan dan dengan demikian mengurangi flux permeat. Solusi dari permasalahan ini yaitu dengan meningkatkan kecepatan aliran silang sehingga dapat menurunkan polarisasi konsentrasi (Porter, 1972; Bhattacharjee dkk., 1999; Zhao dkk., 2000).

Penyumbatan eksternal yaitu pengendapan partikel, koloid dan makromolekul pada permukaan membran membentuk 'lapisan penyumbatan' pada permukaan membran. Umumnya, penyumbatan eksternal dapat dibagi dalam dua jenis yaitu lapisan *cake* dan lapisan gel. Lapisan *cake* terbentuk karena adanya endapan padatan yang tertahan pada membran, sedangkan lapisan gel timbul karena pengendapan makromolekul yang terlarut, koloid, dan pelarut anorganik (Wang dan Waite, 2009; Wang dkk., 2012; Brink dkk., 2013).

Penyumbatan internal disebabkan oleh adsorpsi dan deposisi zat terlarut dan partikel kecil lainnya kedalam internal struktur membran. Contohnya adsorpsi zat penyumbat kedalam dinding pori membran, atau memblok pori membran, atau biasa

disebut dengan penutupan pori (*pore blocking*) (Holdich dan Zhang 1995; Broeckmann dkk., 2006; Iritani, 2013).

Pembentukan *cake* adalah proses dimana partikel membangun lapisan-lapisan pada permukaan eksternal membran, yang menyebabkan penurunan flux untuk aliran permeat. Hal ini sering disebut sebagai pembentukan *cake* penyumbatan. Morfologi *cake* penyumbatan menentukan penurunan fluks, sedangkan interaksi antara lapisan-lapisan *cake* dan permukaan membran menentukan reversibilitas penyumbatan (Jermann dkk., 2008).

Pembentukan gel disebabkan oleh konsolidasi lapisan-lapisan makromolekul yang terkonsentrasi di sekitar permukaan membran akibat dari polarisasi konsentrasi (Gupta dan Suhas, 2009). Transisi dari polarisasi konsentrasi menjadi penyumbatan terjadi ketika gaya tarik menarik lebih besar dari gaya tolakan elektrostatik (Jönsson dan Jönsson, 1996).

2.4.1 Zat Penyumbat

Zat penyumbat merupakan zat penyebab penyumbatan yang umum ditemukan di membran, Zat penyumbat dibagi menjadi empat kategori: partikulat, makromolekul, ion dan substansi biologi (Amy, 2008). Partikulat memiliki ukuran dari 1 nm sampai 1 mm dan memiliki bentuk relatif kaku (Belfort, 1994). Suatu partikel dapat benar-benar menutup pori membran, setengah menutupi pori atau penyempitan volume pori tergantung pada rasio ukuran partikel dengan pori membran (Field dan Pearce, 2011). Pada proses filtrasi berkesinambungan, menimbulkan lapisan *cake* yang mendominasi setelah pori-pori telah tertutupi. Karakteristik koloid (muatan permukaan, kekasaran, ukuran, hidrofobik dan stabilitas) menentukan interaksi antar-partikel dan sifat *cake* penyumbatan. Sedangkan jenis zat penyumbat makromolekul memiliki berat molekul yang berkisar satu juta sampai beberapa ribu dalton (Shi dkk., 2011). Makromolekul penyumbatan dapat diidentifikasi melalui gugus fungsinya untuk menentukan interaksi zat penyumbat dengan permukaan membran. Pada Tabel 2.5 akan

ditunjukkan contoh zat penyumbat dan model penyumbatan yang dihasilkan (Field, 2010).

Tabel 2.5 Contoh Zat Penyumbat dan Model Penyumbatan dalam Aplikasi Membran yang Melibatkan Pemisahan Zat Cair-Padat.

<i>Foulant</i>	<i>Model penyumbatan</i>
Partikel besar yang tersuspensi	Partikel yang ada di dalam larutan umpan atau partikel yang berkembang karena agregasi dapat membentuk lapisan <i>cake</i> sehingga menutup saluran modul membran
Pratikel koloid	Koloid merupakan hasil fermentasi yang dapat membentuk lapisan <i>cake</i> yang dapat menutup pori membran atau menyumbat di dalamnya
Makromolekul inert	Membentuk gel atau lapisan <i>cake</i> pada membran
Molekul serap	Protein dan asam humat telah banyak diketahui teradsorp pada permukaan membran atau didalam pori
Molekul yang berukuran kecil	Beberapa molekul organik memiliki kecenderungan berinteraksi kuat dengan beberapa membran polimer (misalnya, agen-anti busa, seperti polypropylene glikol yang digunakan selama proses fermentasi, terikat kuat pada membran polimer tertentu)
Substansi biologi	Pertumbuhan organisme biologis aktif seperti bakteri dan materi yang disekresikan membentuk biofilm pada permukaan membran
Kation	Pengendapan garam dan hidroksida membentuk scaling. Kation tertentu seperti kalsium dapat menyebabkan makromolekul <i>penyumbatan</i>

2.5 Oksidasi Lanjut/*Advanced Oxidation Processes (AOP)*

Mekanisme kerja utama dari oksidasi lanjut/AOP adalah menghasilkan radikal bebas yang sangat reaktif. Radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) efektif dalam mendegradasi bahan kimia organik karena bersifat elektrofil reaktif (suka elektron) yang bereaksi cepat dan tidak-selektif dengan hampir semua senyawa organik kaya elektron. Oksidasi lanjut memiliki nilai potensial oksidasi 2,33 V dan menunjukkan reaksi oksidasi lebih cepat dibandingkan dengan pengoksidasi konvensional seperti H_2O_2 atau KMnO_4 . Pada Tabel 2.6 menyajikan data potensial oksidasi dari beberapa agen pengoksidasi (Sharma dkk., 2011).

Adapun keuntungan proses oksidasi lanjut yaitu laju reaksi cepat, berpotensi untuk mengurangi toksisitas dan mineralisasi sempurna senyawa organik, tidak menghasilkan produk yang memerlukan perawatan lebih lanjut seperti "karbon " pada proses absorpsi dengan karbon aktif. Sedangkan kekurangan proses oksidasi lanjut adalah sedikit lebih mahal, untuk aplikasi tertentu membutuhkan pemahaman yang kompleks, untuk beberapa aplikasi membutuhkan peroksida berlebih.

Tabel 2.6 Data Nilai Potensial Oksidasi Dari Bererapa Agen Pengoksidasi

Agen Pengoksidasi	Potensial Oksidasi (V)
Radikal Hidroksi	2,80
Oksigen	2,42
Ozon	2,08
Hidrogen Peroksida	1,78
Hipoklorit	1,49
Klorin	1,36

Oksidasi lanjut terbagi menjadi berbagai tipe antara lain ozonasi, proses foto-fenton, radiasi ultraviolet, dan reagen fenton. Pada Tabel 2.7 disajikan data tipe oksidasi lanjut/AOP (Sharma dkk., 2011).

Tabel 2.7 Tipe Oksidasi Lanjut/AOP

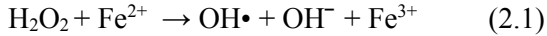
Tipe AOP	Efisiensi	Polutan	Referensi
O ₃ /UV	Warna=97,7% (pH 4) Warna=99,8% (pH 10)	<i>Reactive Red</i>	Wu dan Ng, 2008
O ₃ /H ₂ O ₂	Warna=98,7% (pH 4) Warna=99,0% (pH 10)	<i>Reactive Red</i>	Wu dan Ng, 2008
Ozonasi (O ₃)	Warna = 86%	<i>Malachite green</i>	Kusvuran dkk., 2011
	Warna = 83% TOC = 4%	<i>Direct Blue 199</i>	Shu, 2006
	Warna = 98,5% (pH 3)	<i>Basic yellow 28</i>	Kusvuran dkk., 2010
Radiasi UV	Warna =34,9%	<i>Acid Black 24</i>	Chang dkk., 2006
Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ (Fenton)	Warna =84,2%	<i>Reactive Yellow 14 Azo Dye</i>	Muruganan dham dan Swaminathan, 2006
	Warna=97,28%	<i>Reactive Orange 4</i>	Muruganan dham dan Swaminathan, 2004
	Warna = 97,5%	<i>Reactive Black 5</i>	Lucas dan Peres, 2006

2.5.1 Reagen Fenton

Proses pengolahan air limbah menggunakan reagen fenton dikenal sangat efektif dalam penghilangan polutan organik berbahaya dalam air. Keuntungan utama adalah penghilangan kontaminan secara sempurna menjadi produk senyawa yang tidak

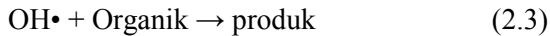
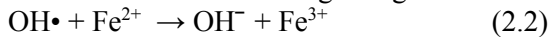
berbahaya, contoh CO₂, air dan garam anorganik. Reaksi Fenton menyebabkan disosiasi oksidan dan pembentukan hidroksil radikal yang sangat reaktif dalam menyerang dan menghancurkan polutan organik (Neyens dan Baeyens, 2003).

Pembentukan radikal OH menggunakan reagen fenton terjadi dengan cara penambahan garam Fe²⁺ (Haberd an Weiss, 1934)

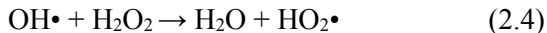


Reagen fenton merupakan cara sederhana untuk menghasilkan radikal OH yang tidak memerlukan reaktan atau alat khusus. Reagen fenton juga merupakan sistem oksidatif yang menarik untuk pengolahan limbah cair karena fakta bahwa besi adalah unsur yang sangat melimpah dan tidak beracun serta hidrogen peroksida mudah cara penanganannya dan ramah lingkungan (Sharma dkk., 2011).

Oksidasi menggunakan reagen fenton telah terbukti efektif dan menjanjikan untuk dekolonisasi dan degradasi pewarna (Wang dkk., 2005). Radikal hidroksil dapat bereaksi dengan Fe²⁺ untuk membentuk Fe³⁺ atau bereaksi dengan organik:



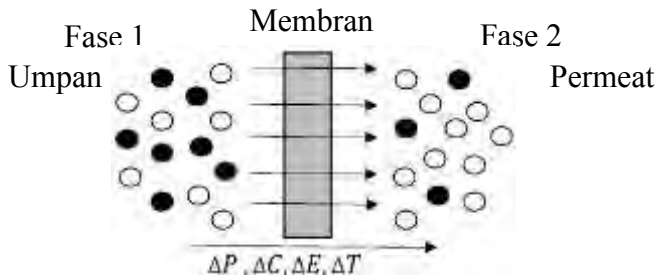
Radikal hidroksil juga dapat bereaksi dengan hidrogen peroksida untuk menghasilkan radikal lainnya, dan juga dapat menggabungkan dengan masing-masing lain untuk menghasilkan hidrogen peroksida, yang ditunjukkan di bawah ini (Titus dkk., 2004):



2.6 Membran

Membran merupakan lapisan tipis (film) yang fleksibel, pembatas antara dua fasa yang bersifat semipermeabel. Membran berfungsi sebagai penghalang selektif untuk memisahkan antara dua fasa, yang dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida berdasarkan perbedaan muatan listrik atau perbedaan kelarutan (Mulder, 1996). Proses pemisahan komponen-komponen tersebut dapat terjadi karena adanya proses fisika-kimia antara membran dengan komponen yang akan dipisahkan dan adanya gaya dorong (*driving force*). Gaya dorong berupa gradien konsentrasi (ΔC), gradien tekanan (ΔP), gradien temperatur (ΔT), dan gradien potensial (ΔE) (Mulder, 1996).

Pada transport membran, komponen-komponen akan ditransfer dari potensial tinggi menuju potensial rendah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema proses pemisahan pada membran (Mulder, 1996)

Adanya gaya dorong menyebabkan terjadinya pemisahan pada membran. Sifat kimia dan sifat fisika antara membran dengan komponen yang akan dipisahkan juga menyebabkan terjadinya pemisahan (Mulder, 1996).

Berikut merupakan klasifikasi utama membran berdasarkan material pembuatan membran, struktur membran, metode preparasi membran, dan bentuk membran:

1. Material membran: polimer organik, anorganik (oksida, keramik, dan logam), campuran matriks atau komposit materials.
2. Struktur membran: *Isotropik* (simetris), *anisotropic* (asimetris), bi atau multilayer, lapis tipis atau campuran matriks komposit.
3. Metode preparasi membran: metode inversi fasa, metode sol-gel, reaksi antarmuka, stretching, *track-etching*.
4. Bentuk membran: lembar datar (*flat-sheet*), serat berongga (*hollow fiber*), tubular, *spiral wound*.

Penelitian ini menggunakan material membran yang berasal dari bahan polimer yaitu selulosa asetat. Pemilihan selulosa asetat sebagai bahan pembuat membran karena memiliki beberapa kelebihan yaitu bersifat hidrofilik, memiliki nilai flux yang relatif tinggi, nilai rejeksi yang tinggi terhadap garam-garam, ekonomis, mudah dibentuk dan dibuat menjadi membran, berasal dari bahan yang dapat diperbaharui (*renewable*), dan tidak beracun (Nagendran dkk., 2008). Selain selulosa asetat, polimer yang biasa digunakan untuk pembuatan membran disajikan pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 Bahan Polimer Pembuat Membran

Polimer	Struktur Membran
Selulosa Asetat	<i>Anisotropic/asimetris</i>
Poliethersulfon	<i>Anisotropic/asimetris</i> dan <i>Isotropic/simetris</i>
Polisulfon	<i>Anisotropic/asimetris</i>
<i>Polyvinylideneflouride</i>	<i>Anisotropic/asimetris</i> dan <i>Isotropic/simetris</i>

(Ulbricht, 2006)

Metode pembuatan membran yang digunakan pada penelitian ini adalah inversi fasa, yaitu proses pengubahan polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Pada proses *demixing*, salah satu fasa cair yaitu fasa polimer dengan konsentrasi yang semakin tinggi akan memadat sehingga terbentuk

matriks padat. Pengendalian tahap awal transisi menentukan struktur morfologi membran. Proses inversi fasa terjadi dengan berbagai cara antara lain penguapan pelarut, presipitasi fasa uap, presipitasi dengan penguapan terkendali, presipitasi termal, dan presipitasi *immersi*. Paling banyak digunakan adalah presipitasi *immersi* (Mulder, 1996).

a) Presipitasi dengan penguapan pelarut

Merupakan metode yang paling sederhana. Larutan polimer yang telah dicetak dibiarkan menguap pada suasana *inert* untuk mengeluarkan uap air, sehingga didapatkan membran homogen yang tebal.

b) Presipitasi fase uap

Metode ini dilakukan dengan cara meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut pada suasana uap dimana fase uap mengandung uap jenuh nonpelarut dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap mencegah penguapan pelarut dari cetakan film. Pembentukan membran terjadi karena difusi dari nonpelarut ke dalam cetakan film. Membran yang terbentuk adalah membran berpori tanpa lapisan atas.

c) Presipitasi dengan penguapan terkendali

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dan nonpelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari pada nonpelarut maka perubahan komposisi selama penguapan bergerak ke arah kandungan nonpelarut yang lebih tinggi dan konsentrasi polimer yang lebih tinggi.

d) Presipitasi Termal

Metode ini membentuk membran dengan cara mendinginkan larutan polimer supaya terjadi pemisahan fase dan penguapan pelarut. Penguapan pelarut sering mengakibatkan terbentuknya membran berkulit untuk mikrofiltrasi.

e) Presipitasi Rendam Endap

Metode presipitasi imersi adalah metode yang saat ini sering dipakai untuk membuat membran. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung nonpelarut. Membran terbentuk karena pertukaran pelarut dan nonpelarut (Mulder, 1996).

2.7 Parameter Membran

Ada dua parameter utama yang menentukan kinerja membran, yaitu fluks (laju aliran) dan rejeksi (selektivitas). Secara umum, fluks akan menentukan berapa banyak permeat yang dapat dihasilkan melalui filtrasi membran (kuantitas), sedangkan selektivitas berkaitan dengan kualitas permeat.

2.7.1 Fluks/Laju Aliran

Fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Secara umum fluks dirumuskan seperti Persamaan 2.6 berikut (Mulder, 1996).

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (2.6)$$

Dimana:

J	= fluks (L/m ² .jam)
V	= Volume permeat (L)
A	= Luas permukaan membran (m ²)
t	= waktu (Jam)

2.7.2 Rejeksi/Selektivitas

Rejeksi/selektivitas membran merupakan ukuran kemampuan membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya dan ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien Rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut

yang tidak menembus membran, dan dirumuskan pada Persamaan 2.7

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana, C_f dan C_p adalah konsentrasi zat terlarut pada larutan umpan dan permeat. Dengan harga R berkisar antara 0 sampai 1. Jika harga $R = 1$ berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna. Membran yang baik adalah membran yang memiliki nilai fluks dan persen rejeksi yang tinggi (Mulder, 1996).

2.8. Karakterisasi

2.8.1 Fourier Transform Infra Red (FT-IR)

Spektrometer inframerah (IR) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis ikatan dari suatu molekul. Ketika cahaya inframerah menumbuk sampel, frekuensi yang sesuai dengan frekuensi getaran alami suatu molekul akan diserap, sehingga meningkatkan besarnya getaran alami molekul.

Spektrofotometer Fourier Transformasi Inframerah (FT-IR) menggunakan interferometer yang memungkinkan berbagai panjang gelombang diproduksi secara bersamaan, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk analisis. Proses ini dikenal sebagai keuntungan Fellgett. Interferometer pada spektrometer inframerah memiliki radiasi cahaya yang tinggi karena semua radiasi inframerah dilewatkan, atau dipancarkan atau dipantulkan dari sampel dan menyerang detektor sekaligus (keuntungan Jacquinot) (King dkk., 2004). Skema alat FT-IR ditunjukkan pada Gambar 2.3. Data bilangan gelombang infra merah dapat dilihat pada Tabel 2.9

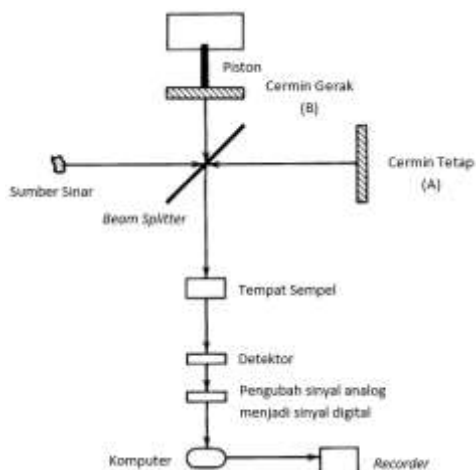
Spektrofotometer FT-IR telah banyak digunakan untuk mengkarakterisasi membran, salah satunya membran selulosa asetat. Pada Gambar 2.4 contoh spektra FT-IR membran selulosa asetat. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan spektra FT-IR zat warna

crystal violet dan produk hasil oksidasi *crystal violet* menggunakan reagen fenton yang berkaitan dengan penelitian ini.

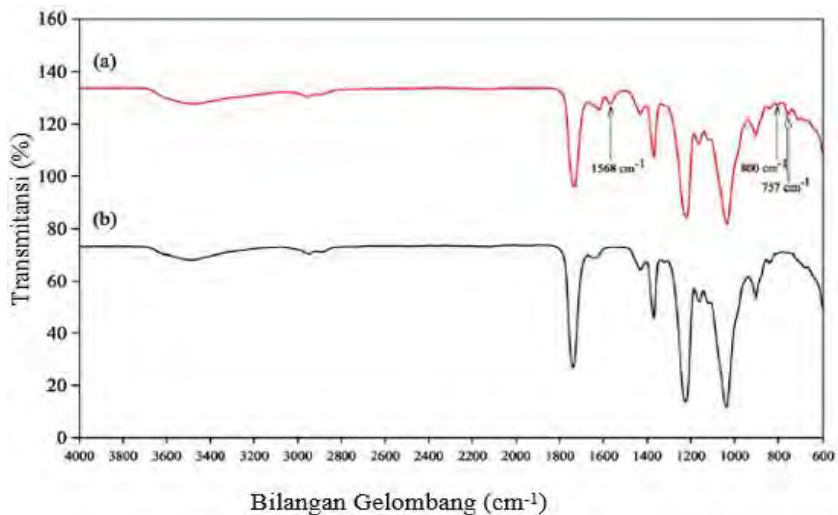
Tabel 2.9 Bilangan Gelombang Infra Merah

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
RC=C	1600-1700	C-H (sp ³)	2800-3000
RC-C	1450-1600	C-H (sp ²)	3000-3300
RC≡C	2100-2250	C-H (sp)	~ 3300
RC≡N	2200-2400	C-H (aldehida)	2820-2900
O-H	3000-3700	C=O(Aldehida)	1720-1740
N-H	3000-3700	C=O (Keton)	1705-1750
R-OH	900-1300	C=O(Karbonil)	1700-1725
C-N (Amina)	900-1300		

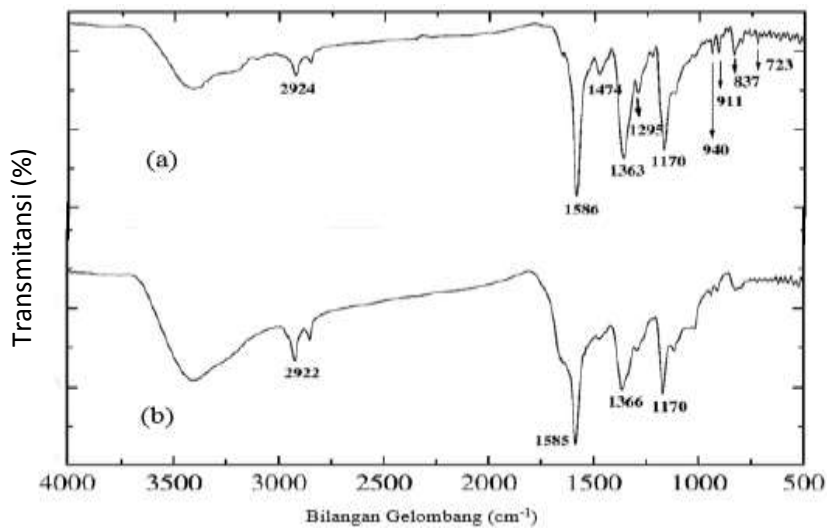
(Fessenden dan Fessenden, 2010)



Gambar 2.3 Skema Alat FT-IR



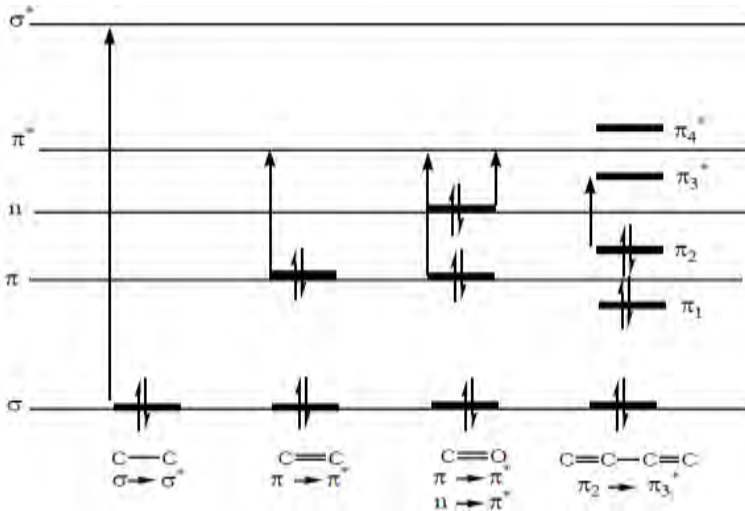
Gambar 2.4 Spektra ATR-FTIR Selulosa Asetat (a) *Cross Link* dengan TMC 2,3% b/b, (b) Murni (Lee dkk., 2016)



Gambar 2.5 Spektra FT-IR (a) *Crystal Violet*, (b) Produk Oksidasi *Crystal Violet* Menggunakan Reagen Fenton (Jana dkk., 2010)

2.8.2 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer Uv-Vis merupakan spektroskopi absorpsi yang menggunakan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang antara 190-800nm dan dibagi kedalam dua daerah yaitu ultraviolet (UV, 190-400nm) dan cahaya tampak /visible (VIS, 400-800nm). Absorpsi radiasi sinar ultraviolet atau cahaya tampak oleh suatu molekul menyebabkan transisi pada level energi elektronik molekul. Oleh karena itu Spektrofotometer UV-Vis disebut juga sebagai spektroskopi elektronik. Ketika molekul menyerap energi, elektron dipromosikan dari HOMO (*High Occupied Molecule Orbital*) biasanya pada orbital *non-bonding* n atau orbital ikatan π ke LUMO (*Lowest Unoccupied Molecule Orbital*) yaitu pada orbital anti-ikatan π^* atau σ^* yang memiliki energi potensial lebih tinggi (Kumar, 2006). Energi potensial orbital dan beberapa pola transisi elektronik yang mungkin terjadi disajikan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Energi Relatif Orbital yang Terlibat dalam Spektroskopi Elektronik (Kumar, 2006)

Prinsip dari spektroskopi absorpsi adalah hukum Lambert-Beer. Ketika cahaya radiasi melewati sampel, jumlah cahaya yang diserap atau ditransmisikan merupakan fungsi eksponensial dari konsentrasi molekul zat terlarut dan juga fungsi dari panjang radiasi yang melalui sampel. Oleh karena itu,

$$\log I_0 / I = \epsilon c l \quad (2.8)$$

dimana, I_0 = Intensitas cahaya awal

I = Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh sampel

c = Konsentrasi larutan (mol L^{-1})

l = Panjang kuvet (cm)

ϵ = koefisien molar ekstinsi

Rasio I / I_0 dikenal sebagai transmitansi (T) dan invers logaritma dari rasio I_0 / I dikenal sebagai absorbansi (A). Maka,

$$-\log I / I_0 = -\log T = \epsilon c l \quad (2.9)$$

$$\text{dan, } \log I_0 / I = A = \epsilon c l \quad (2.10)$$

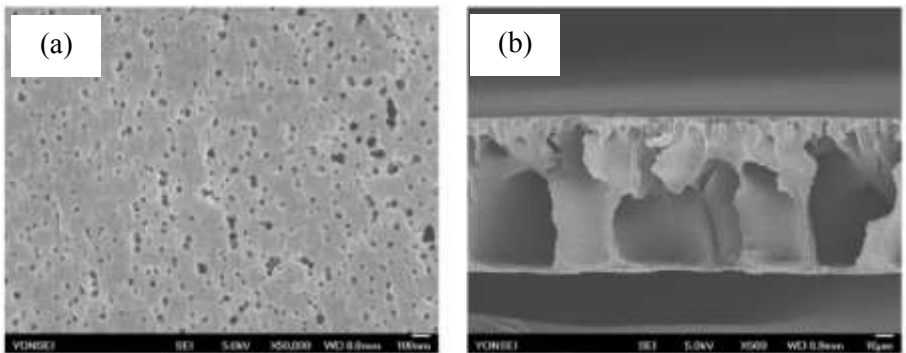
$$\text{atau, } A = \epsilon c l \quad (2.11)$$

2.8.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan ke mana arah kemiringan. Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra yang tajam pada permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron. Oleh karena itu, benda yang akan di uji

harus dilapisi dengan logam. Jika benda yang akan diamati berasal dari logam tidak perlu dilapisi dengan logam lagi (Mikrajuddin A. dan Khairurrijal, 2008).

Teknik karakterisasi menggunakan mikroskop elektron dapat memberikan hasil gambar dengan resolusi yang mencapai nanometer, sehingga cocok digunakan untuk karakterisasi membran. Gambar hasil karakterisasi dengan SEM dapat memberikan informasi morfologi permukaan membran dan penampang melintangnya. Pada Gambar 2.7 morfologi membran selulosa asetat yang dikarakterisasi menggunakan SEM.



Gambar 2.7 Membran Selulosa Asetat (a) Permukaan dan (b) Penampang Melintang (Lee, 2016).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat dan Instrumen

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah erlenmeyer, batang pengaduk kaca, *dead end cylindrical filtration stirred cell*, wadah air, *hotplate stirrer*, pengaduk magnet, sendok tanduk, neraca analitik, plat kaca, gelas beker, oven, lakban hitam, kertas saring, gelas ukur, pipet ukur, pipet tetes, pinset, dan gunting. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer UV-Vis Optima SP-300, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) Thermo Scientific Nicolet iS10, dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) Zeiss EVO MA 10 .

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain selulosa asetat (CA) (Fluka Analytical), dimetil acetamid (DMAc) (Merck), zat warna *crystal violet* (CV) (Merck), polietilen glikol 400 (Bratachem), akuades, hidrogen peroksida 30% (SAP *chemical*), besi (II) sulfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Merck). Bahan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dan digunakan langsung tanpa adanya perlakuan khusus terlebih dahulu.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Proses Oksidasi Lanjut *Crystal Violet*

Pada proses oksidasi lanjut molekul *crystal violet* (CV) didegradasi oleh hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan katalis besi (II) sulfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), campuran kedua senyawa ini di sebut sebagai reagen fenton.

Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi H_2O_2 dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ untuk mendegradasi 100 mg/L CV. Variasi konsentrasi disajikan dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi Konsentrasi H₂O₂ dan FeSO₄.7H₂O

No	Konsentrasi H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Konsentrasi FeSO ₄ .7H ₂ O (mg L ⁻¹)
1	1000	200
2	1000	300
3	1000	500
4	800	200
5	1000	200
6	1200	200

Proses degradasi zat warna CV diamati berdasarkan perubahan waktu dan penurunan konsentrasi. Penurunan konsentrasi zat warna CV diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yaitu 590 nm. Selama reaksi, 10mL larutan diambil dari labu ukur setiap 5-10 menit dan absorbansinya diukur.

3.2.2 Preparasi dan Uji Kinerja Membran

3.2.2.1 Preparasi Membran

Pembuatan membran dilakukan secara inversi fasa dengan jumlah larutan cetak 50 g. Komposisi larutan cetak yaitu 20% berat CA dan 2% berat PEG dilarutkan dalam 78% berat DMAc dengan pengadukan konstan pada suhu 65°C selama 4 jam hingga diperoleh larutan homogen yang disebut larutan cetak. Larutan ini kemudian didiamkan selama 12 jam untuk menghilangkan gelembung udara yang terbentuk pada proses pengadukan. Membran diperoleh dengan cara menuangkan larutan cetak pada plat kaca lalu dicetak dengan bantuan *stainless steel roller* hingga terbentuk lapisan tipis. Lapisan tipis tersebut didiamkan selama 60 detik, lalu dicelupkan ke dalam akuades selama 10 menit hingga membran terkelupas dari plat kaca. Membran yang dihasilkan dibilas dengan akuades kemudian disimpan dalam akuades.

3.2.2.2 Uji Kinerja Membran

1. Analisis Fluks Membran

Membran yang telah dicuci dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 55 mm. Permeabilitas membran diukur pada variasi tekanan 2, 3, dan 4 bar dengan menggunakan *dead end cylindrical filtration stirred cell*. Proses filtrasi menggunakan modul *dead end cylindrical filtration stirred cell* dapat dilihat pada Gambar 3.1. Area filtrasi efektif membran sebesar 23,746 cm². Permeat membran ditampung di gelas ukur, laju fluks permeat diukur dengan mencatat volume permeat dalam selang waktu tertentu. Fluks membran kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 (Sivakumar dkk., 1998). Komposisi larutan umpan yang digunakan untuk uji filtrasi membran dapat dilihat pada Tabel 3.2.

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad 3.1$$

Dengan

J = fluks air murni (L/m² jam)

V = volume air permeat (L)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

Tabel 3.2. Larutan Umpan Membran

No	Larutan Umpan	Konsentrasi
1	Akuades	-
2	Larutan <i>crystal violet</i> (CV)	100 mg/L
3	Larutan oksidasi lanjut	1000 mg/L H ₂ O ₂ , 200 mg/L FeSO ₄ dan 100 mg/L CV

2. Analisis Rejeksi *Crystal Violet*

Larutan zat warna sintetis *crystal violet* (CV) dibuat dengan konsentrasi 100 mg/L. Larutan ini kemudian dilewatkan

membran yang telah dipersiapkan sebelumnya menggunakan modul *dead end cylindrical filtration stirred cell* pada variasi tekanan 2, 3, dan 4 bar disertai pengadukan konstan. Konsentrasi zat warna yang terdapat dalam permeat dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 590 nm. Pada panjang gelombang tersebut nilai absorbansi CV paling besar. Rejeksi dari CV dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad 3.2$$

Dimana, C_f dan C_p adalah konsentrasi zat warna pada larutan umpan dan permeat (Clesceri dkk., 1998).



Gambar 3.1. Proses Filtrasi Larutan Hasil Oksidasi Lanjut Menggunakan Membran Selulosa Asetat/PEG

3.2.3 Penggabungan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Menggunakan Membran Selulosa Asetat

Sebelum dilakukan proses filtrasi menggunakan membran, sebanyak 250 mL larutan yang mengandung 1000 mg/L H_2O_2 , 200

mg/L FeSO_4 dan 100 mg/L CV disiapkan terlebih dahulu. Larutan tersebut didiamkan selama 1 jam agar proses oksidasi lanjut zat warna CV berjalan sempurna. Larutan tersebut selanjutnya digunakan sebagai larutan umpan membran. Nilai fluks permeat membran diamati setiap 5 menit selama 1 jam pada variasi tekanan 2, 3, dan 4 bar.

3.2.4 Metode Spektroskopi dan Karakterisasi

Membran selulosa asetat dikarakterisasi menggunakan SEM. Membran yang akan dikarakterisasi yaitu membran sebelum digunakan dan membran setelah digunakan untuk filtrasi larutan hasil proses oksidasi lanjut. Tujuan karakterisasi membran menggunakan instrumen tersebut adalah untuk mengetahui morfologi dan pori membran sebelum dan setelah membran digunakan.

Pada penelitian ini karakterisasi gugus fungsi dilakukan menggunakan spektrofotometer FT-IR. Adapun sampel yang dikarakterisasi FT-IR yaitu *crystal violet*, membran sebelum dan setelah proses filtrasi larutan hasil oksidasi lanjut, padatan hasil oksidasi lanjut, dan larutan permeat membran.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggabungkan dua metode untuk mendegradasi zat warna *crystal violet* (CV) yaitu metode oksidasi tingkat lanjut dan filtrasi menggunakan membran. Penggabungan dua metode ini dipilih karena mempertimbangkan keuntungan keduanya bila digabungkan. Keuntungannya antara lain, efisiensi degradasi zat warna yang tinggi, mengontrol *fouling*/penyumbatan yang terjadi pada membran, konsumsi energi yang rendah, memperpanjang hidup membran, memperpanjang jarak waktu pencucian membran (Basar dkk., 2006).

Degradasi zat warna CV diawali dengan proses oksidasi lanjut. Proses oksidasi lanjut menggunakan pereaksi reagen fenton. Reagen fenton merupakan campuran larutan H_2O_2 dan ion Fe^{2+} , yang menghasilkan radikal hidroksi ($\cdot OH$). Ion Fe^{2+} menginisiasi dan mengkatalisis dekomposisi H_2O_2 untuk menghasilkan radikal hidroksi (Neyens dan Baeyens, 2002). Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi H_2O_2 dan $FeSO_4$ untuk mempelajari pengaruh komposisi reaktan terhadap degradasi zat warna CV. Selanjutnya, dipilih komposisi H_2O_2 dan $FeSO_4$ dengan kondisi optimum dan efisien untuk mendegradasi zat warna CV 100 mg/L. Setelah mendapatkan komposisi reagen fenton yang optimum dan efisien, larutan hasil oksidasi tersebut didiamkan selama satu jam agar proses degradasi berjalan sempurna dan selanjutnya digunakan sebagai larutan umpan membran

Tahap selanjutnya yaitu filtrasi menggunakan membran. Pada metode filtrasi membran dilakukan variasi tekanan sebagai gaya dorong larutan umpan. Variasi tekanan yang digunakan adalah 2, 3, dan 4 bar. Tujuan dilakukannya variasi tekanan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap kinerja membran yaitu nilai fluks dan rejeksinya.

4.1 Pembuatan Membran

Pada penelitian ini membran filtrasi dibuat dengan metode inversi fasa rendam endap dari material polimer selulosa asetat, DMAc, dan air. Selulosa asetat merupakan bahan dasar untuk membuat membran. DMAc berfungsi sebagai pelarut yang dapat melarutkan selulosa asetat dengan sempurna. Air sebagai non-pelarut yang bertugas menggantikan pelarut DMAc saat proses rendam endap sehingga terbentuk membran padat.

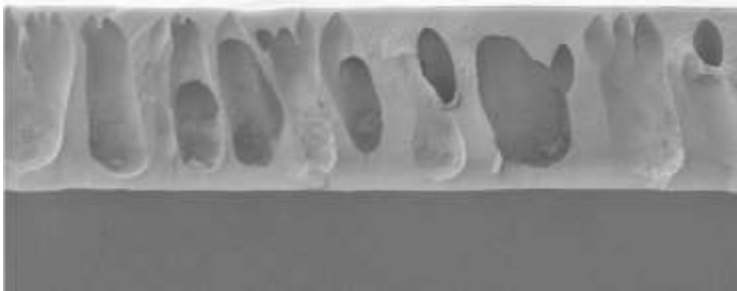
Konsentrasi selulosa asetat (SA) yang dipakai sebesar 20% b/b, penentuan konsentrasi polimer dalam pembuatan membran mempengaruhi sifat fisik membran. Semakin tinggi konsentrasi polimer yang digunakan, semakin rendah porositas dan ukuran pori membran (Baker, 2004). SA 20% b/b dilarutkan kedalam DMAc membentuk larutan bening kental yang homogen. Pada proses pengadukan menggunakan pengaduk magnet terbentuk gelembung udara yang terperangkap didalam larutan cetak membran, sehingga untuk menghilangkan gelembung udara tersebut dilakukan pendiaman selama 12 jam. Apabila masih terdapat gelembung udara saat membran sudah dicetak maka pada proses rendam endap akan terbentuk lubang pada membran akibat gelembung udara yang hilang. Larutan cetak membran dicetak pada plat kaca menggunakan roll besi. Selanjutnya dimasukkan kedalam bak berisi air sebagai tempat pertukaran pelarut dan non-pelarut, saat ini terjadi proses inversi fasa rendam endap. Ketika *casting film* direndam ke dalam bak yang berisi air, proses inversi fasa dimulai karena daya campur yang rendah antara polimer (SA) dan non-pelarut (air). Secara bersamaan, percampuran antara pelarut (DMAc) dan non-pelarut (air) menyebabkan aliran difusi pelarut dan non-pelarut (pertukaran pelarut dan non-pelarut) di beberapa titik pada lapisan atas dan sublayer membran yang kemudian menyebabkan pembentukan nukleasi fase polimer. Nukleasi ini terus tumbuh sampai konsentrasi polimer pada pori-pori/antarmuka larutan menjadi tinggi, sehingga proses pepadatan terjadi (proses *demixing* selesai) (Saljoughi, 2009). Laju proses *demixing* mempengaruhi morfologi membran. *Demixing* seketika

menyebabkan pembentukan makrovoid pada struktur membran, sedangkan *demixing* secara lambat menghasilkan struktur membran yang padat (Han dkk., 2013). Proses perendaman *casting film* kedalam bak koagulasi berlangsung selama 10 menit untuk memberikan waktu pertukaran antara DMAc dengan air. Sesuai dengan penelitian Senthilkumar (2013) perendaman membran selulosa asetat membutuhkan waktu sekitar 8-10 menit karena sifat afinitas selulosa asetat dengan air yang kuat.

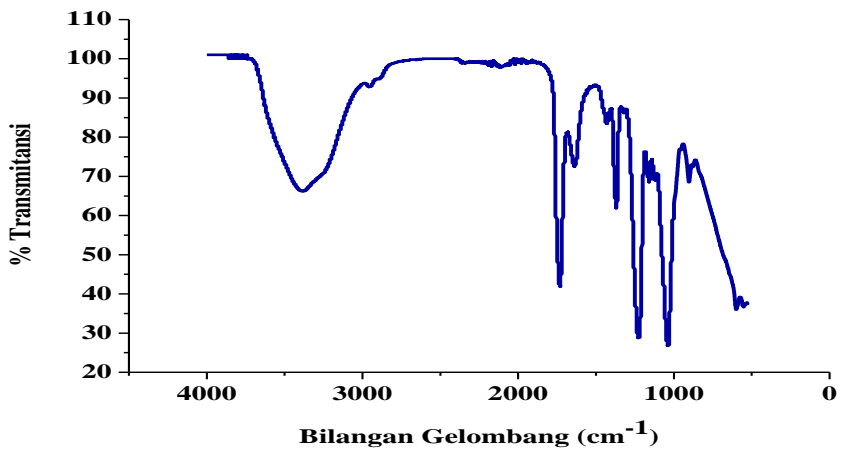
Pada penelitian ini larutan cetak membran ditambahkan aditif PEG 2%. PEG merupakan polimer aditif yang berfungsi sebagai pembentuk pori dan meningkatkan sifat hidrofilisitas membran. Penambahan PEG pada larutan cetak menghasilkan makrovoid pada permukaan membran, hal ini karena terjadi ketidakstabilan termodinamika sehingga meningkatkan proses pengendapan dan porositas (Strathmann dkk., 1975). Pada penelitian Malaisamy (2002) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi PEG menghasilkan nilai fluks yang semakin tinggi, akibat dari pembentukan pori yang lebih tinggi dan lebih besar (Malaisamy dkk., 2002). Mekanisme pembentukan makrovoid oleh PEG dijelaskan pada penelitian Malaisamy (1998) bahwa pencampuran PEG ke dalam larutan cetak akan tercuci pada saat proses gelasi sehingga menghasilkan pembentukan pori yang dominan diisi oleh molekul air.

Membran selulosa asetat yang dibuat dengan metode inversi fasa menghasilkan membran yang berstruktur asimetrik. Hal ini dilihat dari hasil uji karakterisasi SEM pada Gambar 4.1

Membran selulosa asetat/PEG juga dikarakterisasi menggunakan FT-IR. Spektra membran selulosa asetat/PEG ditampilkan pada Gambar 4.2. Terdapat puncak tajam pada bilangan gelombang 1731 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gerak vibrasi ikatan C=O. Puncak yang lebar pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} menunjukkan adanya gerak vibrasi ikatan O-H. Pada bilangan gelombang 1227 cm^{-1} dan 1036 cm^{-1} terdapat puncak yang mewakili gerak vibrasi C-O (ester) dan C-O (alkohol).



Gambar 4.1 Mikrograf Penampang Melintang Membran Selulosa Asetat/PEG



Gambar 4.2 Spektra FT-IR Membran Selulosa Asetat/PEG

4.2 Kinerja Membran

Uji fluks membran selulosa asetat/PEG dilakukan untuk mengetahui laju alir permeat yang dihasilkan dari proses filtrasi membran. Uji fluks membran selulosa asetat/PEG menggunakan modul *dead end cylindrical filtration stirred cell* dengan gaya dorong berupa tekanan. Filtrasi membran menggunakan sistem alir *dead end* karena membran selulosa asetat/PEG berbentuk *flat*

sheet. Dead end filtrasi adalah keseluruhan aliran larutan umpan terakumulasi pada permukaan membran (Munir, 2006). Larutan umpan membran selulosa asetat/PEG antara lain akuades (air), zat warna CV, larutan hasil proses oksidasi lanjut.

Selain uji fluks, dilakukan uji rejeksi untuk mengetahui selektifitas membran terhadap zat yang ingin dipisahkan. Rejeksi membran merupakan ukuran kemampuan membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya (Mulder, 1996). Uji rejeksi membran selulosa asetat/PEG menggunakan larutan umpan yaitu zat warna CV dan larutan hasil proses oksidasi lanjut. Membran yang baik adalah membran yang memiliki nilai fluks dan persen rejeksi yang tinggi (Mulder, 1996).

4.2.1 Fluks Air Murni dan Zat Warna CV

Fluks air menunjukkan permeabilitas air murni dari suatu membran. Hasil uji fluks seperti pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai fluks air pada tekanan 4 bar cenderung lebih tinggi, dibandingkan pada tekanan 3 dan 2 bar. Nilai fluks air tertinggi terdapat pada tekanan 4 bar yaitu 11,199 L/m² jam dan fluks air terendah pada tekanan 2 bar sebesar 5,56 L/m² jam. Fluks air meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan yang diberikan. Hal ini sesuai dengan penelitian Escobar (2010). Tekanan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja membran. Pada proses filtrasi membran selulosa asetat/PEG tekanan merupakan gaya dorong larutan umpan untuk melewati membran. Oleh karena itu, tekanan menentukan kecepatan dan laju alir permeat yang dihasilkan oleh membran.

Selain nilai fluks air murni, kinerja flux membran selulosa asetat/PEG terhadap larutan zat warna CV juga diteliti. Konsentrasi zat warna CV yang digunakan sebagai larutan umpan membran adalah 100 mg/L. Volume larutan umpan CV yang dimasukkan ke dalam modul *dead end cylindrical filtration stirred cell* sebanyak 50 mL. Pada Gambar 4.3 menunjukkan nilai flux zat warna CV dengan variasi gradien tekanan sebagai gaya dorong. Seiring meningkatnya tekanan yang diberikan, nilai fluks zat warna CV

juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan yang diberikan dan nilai fluks berbanding lurus. Hal serupa telah diteliti oleh Escobar (2010). Nilai fluks CV tertinggi adalah pada tekanan 4 bar dan terendah pada tekanan 2 bar yaitu $7,07 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$ dan $3,03 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$.

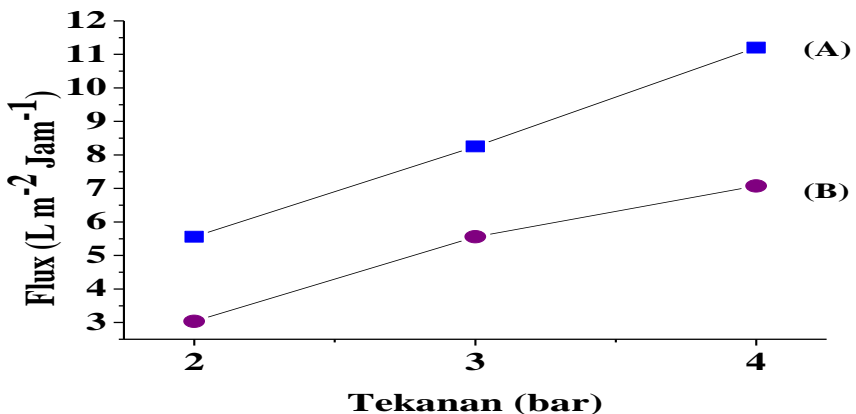
Terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai fluks zat warna CV dengan fluks air murni. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada tekanan 4 bar fluks air murni sebesar $11,199 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, sedangkan fluks zat warna CV adalah $7,07 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$. Pada tekanan 3 bar nilai fluks air murni dan zat warna CV yaitu $8,25 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$ dan $5,56 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, sedangkan tekanan 2 bar adalah $5,56 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$ dan $3,03 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$. Hal ini karena pada larutan umpan air murni tidak ada zat yang terlarut, sedangkan pada larutan umpan zat warna CV terdapat partikel zat warna yang terlarut. Partikel zat warna CV yang tertahan menyebabkan penumpukan pada permukaan membran yang mempengaruhi laju alir fluks permeal. Menurut Setiawan (2013) padatan yang tersuspensi merupakan faktor yang mempengaruhi permeabilitas membran.

Fluks zat warna CV diamati seiring berjalannya waktu filtrasi dan variasi tekanan. Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa dengan berjalannya waktu, nilai fluks zat warna CV cenderung mengalami penurunan. Fluks zat warna CV pada awal filtrasi dengan tekanan 4 bar sebesar $7,074 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, selama 15 menit pertama nilai fluks stabil. Hal ini karena pada awal filtrasi membran selulosa asetat masih bekerja dengan baik dan optimal, serta belum terjadi penyumbatan pada membran. Pada menit ke 20 fluks mengalami penurunan hingga $6,82 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, penurunan fluks terjadi hingga pada menit ke 40. Pada menit ke 45 sampai menit ke 60 terjadi penurunan fluks yang stabil sebesar $6,2 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$.

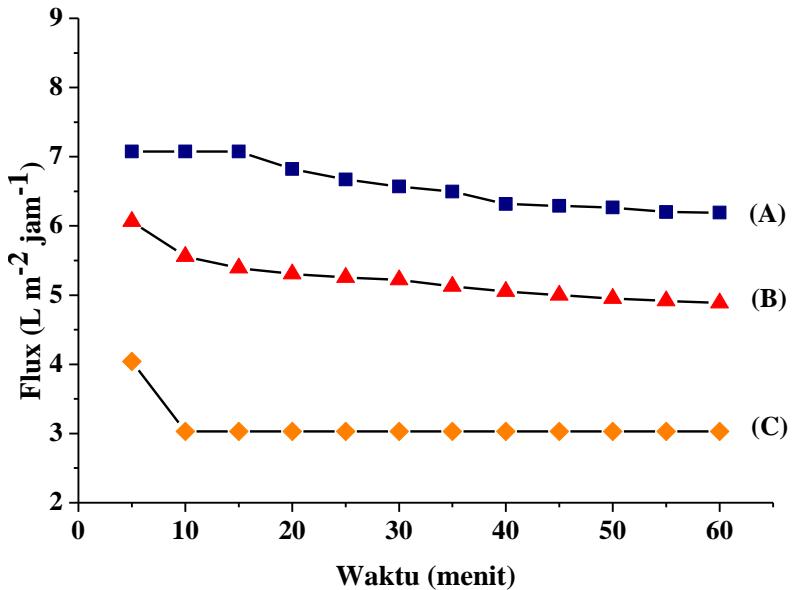
Pada tekanan 3 bar nilai fluks awal filtrasi yaitu $6,06 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, selama 15 menit pertama terjadi penurunan yang cukup tajam. Namun, selanjutnya penurunan terjadi secara stasioner. Penurunan yang tajam diawal, penurunan ini terjadi karena adanya penyumbatan pada membran akibat polarisasi konsentrasi zat

warna CV. Molekul-molekul zat warna CV yang berada pada permukaan membran ini membutuhkan waktu untuk berdifusi kembali ke dalam larutan awal, sehingga menghasilkan perbedaan konsentrasi (gradien konsentrasi) yang terjadi tepat pada permukaan membran. Polarisasi konsentrasi dapat meningkatkan resistensi terhadap laju aliran cairan, sehingga mengurangi flux permeat (Zhao dkk., 2000). Selanjutnya pada menit ke 45 sampai 60, penurunan terjadi secara stasioner yaitu sekitar $4,9 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$.

Fluks zat warna CV pada tekanan 2 bar memberi pola penurunan fluks tajam pada 10 menit pertama filtrasi, Selanjutnya menunjukkan fluks yang stabil. Pada awal filtrasi fluks yang dihasilkan sebesar $4,04 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$, selanjutnya fluks tetap stabil pada $3,03 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$. Pada awal filtrasi sudah terjadi polarisasi konsentrasi zat warna CV dan menit selanjutnya fluks tetap. Bila dibandingkan nilai fluks yang ada pada tekanan 4 dan 3 bar yang stabil pada menit ke 45, pada tekanan 2 bar nilai fluks sudah stabil pada menit ke 10. Hal ini karena filtrasi pada tekanan 2 bar gaya dorong tekanan yang digunakan rendah, sehingga fluks stabil pada menit-menit awal filtrasi yaitu setelah menit ke 10.



Gambar 4.3 Grafik Fluks Membran Selulosa Asetat/PEG (A) Air Murni dan (B) Zat Warna CV.



Gambar 4.4 Pengaruh Waktu dan Variasi Tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar Terhadap Fluks Zat Warna CV

4.2.2 Fluks Larutan Hasil Oksidasi Lanjut Reagen Fenton

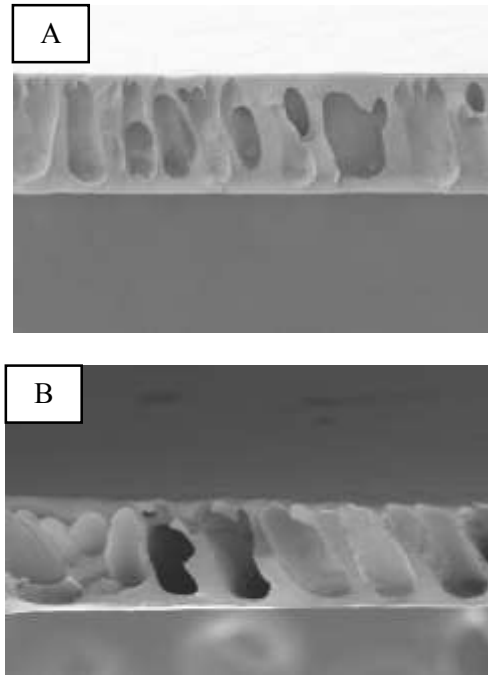
Penelitian oksidasi lanjut menggunakan reagen fenton menghasilkan produk samping berupa lumpur. Lumpur terbentuk akibat endapan besi hidroksida (Jana dkk., 2010). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemisahan terhadap limbah lumpur tersebut. Pada penelitian ini proses pemisahahan dilakukan menggunakan metode filtrasi membran selulosa asetat/PEG. Larutan umpan yaitu 1000 mg/L H₂O₂, 200 mg/L FeSO₄, dan 100 mg/L CV. Larutan umpan didiamkan selama 1 jam untuk proses degradasi yang sempurna. Selanjutnya, dilakukan penyaringan menggunakan membran selulosa asetat/PEG.

Membran selulosa asetat mempunyai sifat ketahanan rendah terhadap zat kimia, perubahan pH yang tajam, suhu dan

mikrobiologi. Salah satu zat kimia adalah agen pengoksidasi. Membran selulosa asetat memiliki ketahanan terhadap H_2O_2 dengan konsentrasi maksimum sebesar 930 ppm (Regula dkk., 2014). Dari hasil mikroskop SEM membran pada Gambar 4.5, menunjukkan bahwa larutan umpan zat oksidasi lanjut tidak merusak struktur makrovoid membran selulosa asetat/PEG. Oleh karena itu, larutan hasil oksidasi lanjut 1000 mg/L H_2O_2 , 200 mg/L $FeSO_4$, dan 100 mg/L CV dipilih sebagai larutan umpan membran.

Data fluks hasil larutan oksidasi lanjut disajikan pada Gambar 4.6, fluks larutan umpan hasil oksidasi lanjut diamati berdasarkan variasi tekanan dan waktu filtrasi. Pada variasi tekanan 4 bar nilai fluks awal larutan hasil oksidasi lanjut adalah 14,68 L/m^2 jam. Sedangkan tekanan 3 dan 2 bar nilai fluks awal sebesar 12,23 dan 7,34 L/m^2 jam.

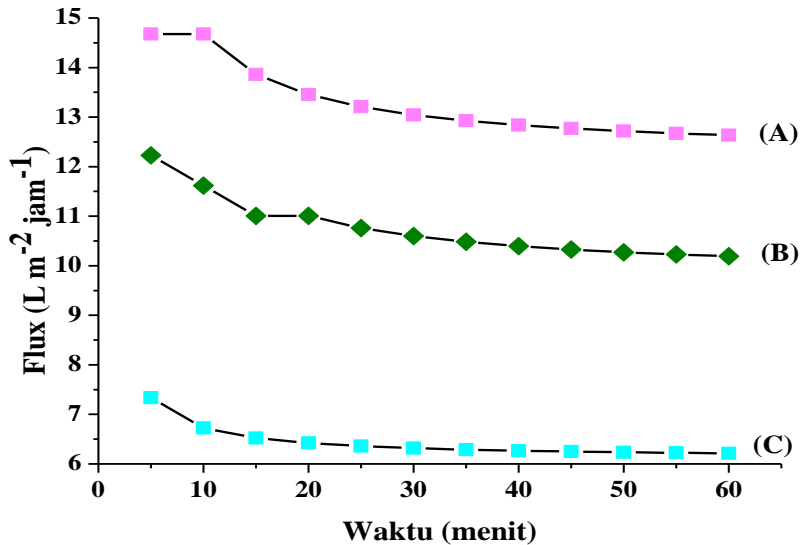
Fluks yang dihasilkan pada tekanan 4 bar memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan fluks pada tekanan 3 dan 2 bar. Hal ini sesuai dengan hasil data sebelumnya yaitu fluks CV variasi tekanan. Seiring meningkatnya tekanan yang diberikan, nilai fluks juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan dan nilai fluks berbanding lurus. Hal serupa telah diteliti oleh Escobar (2010). Tekanan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja membran. Ini karena proses pemisahan pada membran terjadi akibat adanya gaya dorong. Kecepatan perpindahan molekul melewati membran ditentukan oleh gaya dorong, salah satu gaya dorong adalah tekanan. Adanya tekanan yang diberikan pada larutan umpan untuk melewati membran akan mengakibatkan fluida/aliran dengan ukuran partikel yang lebih kecil dari pori membran dapat melewati membran, sementara partikel yang lebih besar seperti kontaminan akan tertahan (Setiawan dkk., 2013).



Gambar 4.5 Mikrograf Tampang Lintang Membran selulosa Asetat/PEG (A) Sebelum dan (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Hasil Oksidasi Lanjut.

Pemilihan tekanan 2, 3, dan 4 bar dikarenakan pada rentang tekanan ini tergolong dalam tekanan operasi kritis. Pada tekanan operasi kritis proses filtrasi terjadi pada tahap kesetimbangan, dimana transportasi partikel menuju membran diimbangi dengan transportasi partikel menuju aliran massal (larutan umpan) (Muro dkk., 2012). Apabila menggunakan tekanan yang lebih tinggi dapat mengakibatkan pepadatan/kompaksi pada membran. Kompaksi pada membran menyebabkan membran yang lebih padat dengan pori-pori yang lebih kecil, atau seiring dengan waktu terjadi pembesaran pori-pori membran, yang

memungkinkan partikel untuk menembus matriks membran (Choi dkk., 2005).

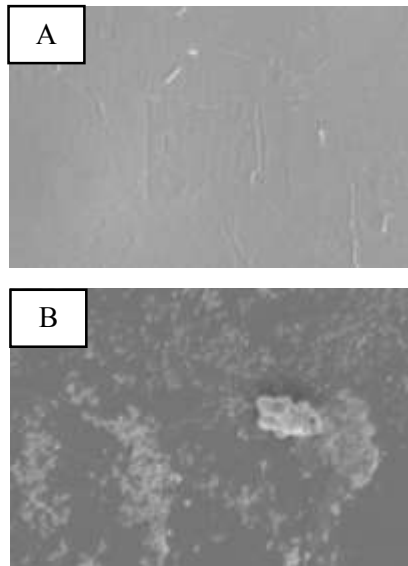


Gambar 4.6 Pengaruh Waktu dan Variasi Tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar Terhadap Fluks Larutan Hasil Okidasi Lanjut

Fluks hasil oksidasi lanjut diamati seiring berjalannya waktu filtrasi dan variasi tekanan. Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa dengan berjalannya waktu, nilai fluks hasil oksidasi lanjut cenderung mengalami penurunan. Keseluruhan fluks hasil oksidasi lanjut pada tekanan 4, 3, dan 2 bar mengalami penurunan tajam pada 20 menit awal filtrasi, pada menit selanjutnya yaitu menit ke 25 sampai ke 60 penurunan terjadi secara satbil. Nilai fluks pada 20 menit awal filtrasi terjadi penurunan akibat adanya polarisasi konsentrasi di permukaan membran selulosa asetat/PEG, polarisasi konsentrasi dapat meningkatkan resistensi terhadap laju aliran cairan dan dengan demikian mengurangi flux permeat pada proses filtrasi (Shi dkk, 2014). Pada menit ke 25 sampai ke 60 penurunan

secara stabil telah terjadi akibat terbentuknya lapisan *cake* pada membran. Pola fluks saat terbentuknya *cake* ini sesuai dengan penelitian Jana dkk. (2010). Penyumbatan terjadi ketika partikel menempel pada permukaan membran, sehingga menyebabkan penurunan di daerah filtrasi efektif membran, pengurangan volume cairan yang melalui membran, penurunan produktivitas membran dan memperpendek waktu hidup membran (Chi-Chuan dkk., 2015). Hal ini dikonfirmasi dengan Gambar 4.7 SEM membran selulosa asetat/PEG terdapat partikel yang menutupi permukaan membran yang mengakibatkan penurunan nilai fluks larutan oksidasi lanjut. Namun, penyumbatan ini bersifat reversibel karena zat penyumbat/*foulant* tidak berikatan kimia dengan membran selulosa asetat/PEG yang dibuktikan dengan data pada Gambar 4.8 spektra FT-IR membran sebelum dan setelah filtrasi yang tidak mengalami perubahan puncak. Hal ini menunjukkan tidak adanya perubahan pada gugus fungsi.

Filtrasi membran selulosa asetat/PEG menggunakan larutan umpan hasil oksidasi lanjut menghasilkan nilai fluks lebih besar daripada filtrasi larutan zat warna CV diberbagai variasi tekanan. Ini ditunjukkan pada Gambar 4.9 nilai fluks larutan zat warna CV lebih rendah karena partikel zat warna CV yang terdispersi ke dalam larutan umpan berukuran lebih kecil daripada partikel padatan lumpur hasil oksidasi lanjut, sehingga partikel zat warna mengendap pada permukaan membran dan menutup pori-pori membran. Selain itu, konsentrasi larutan umpan zat warna CV lebih pekat dari pada hasil proses oksidasi lanjut. Oleh karena itu, polarisasi konsentrasi lebih besar terjadi pada larutan umpan zat warna CV. Modul filtrasi membran juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses penyumbatan pada membran (Costa dkk., 2006), dengan modul *dead end* filtrasi arah aliran larutan umpan zat warna dan oksidasi lanjut mengarah tegak lurus dengan permukaan membran sehingga semua partikel yang terlarut terakumulasi pada permukaan membran mengakibatkan penurunan luas area filtrasi efektif. Hal ini mengakibatkan turunnya nilai fluks membran.

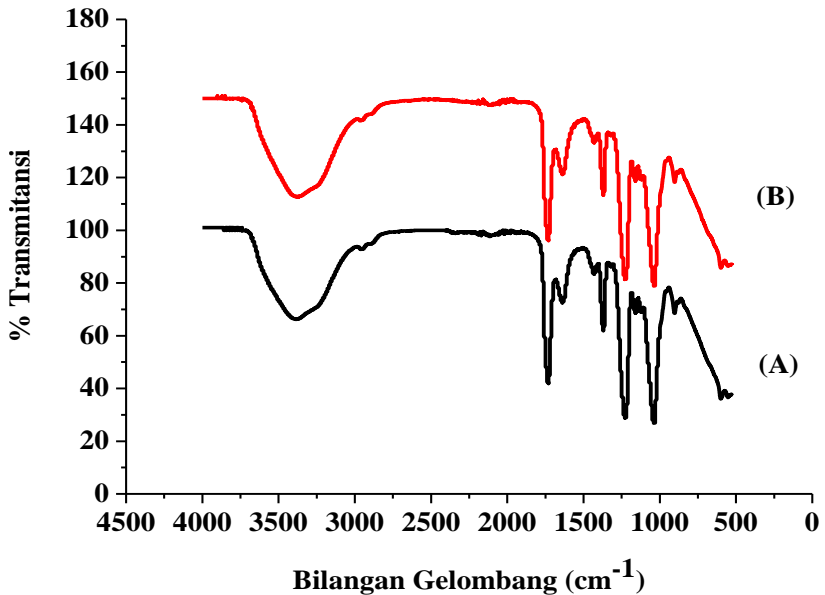


Gambar 4.7 SEM Morfologi Permukaan Membran (A) Sebelum Proses Filtrasi (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Umpan Oksidasi Lanjut

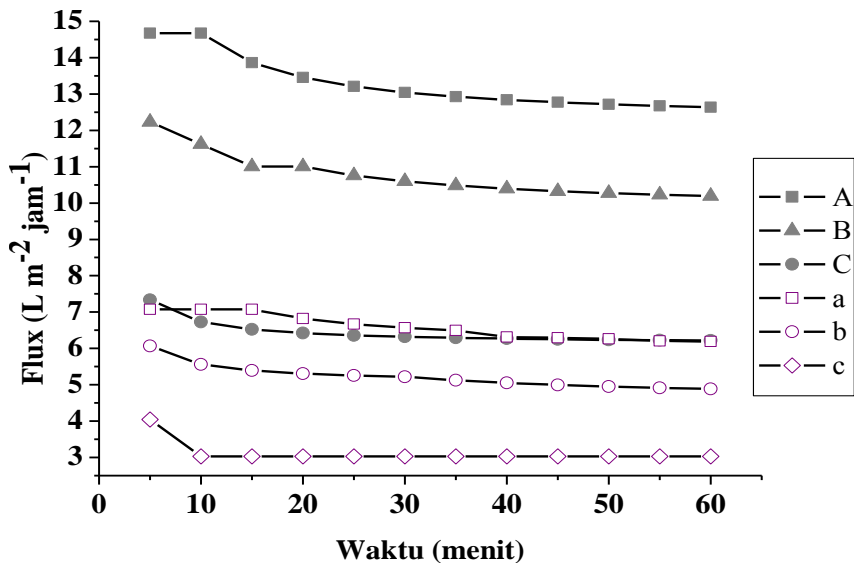
Proses filtrasi membran selulosa asetat/PEG menggunakan modul *dead end cylindrical filtration stirred cell*. Fungsi pengadukan oleh *stirrer* adalah untuk menjaga partikel yang terlarut tetap terdispersi pada larutan umpan dan tidak mengendap pada permukaan membran. Pada larutan umpan zat warna CV, partikel menempel pada permukaan membran. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10, karena partikel zat warna CV yang berukuran kecil sehingga menempel pada permukaan membran dengan gaya van der Waals dan menurunkan daerah filtrasi efektif membran, sehingga fluks permeat rendah. Sedangkan pada lumpur hasil oksidasi lanjut ukuran partikel lebih besar, saat mengendap dipermukaan membran gaya van der Waals tidak cukup kuat untuk menahan partikel lumpur tetap pada permukaan membran karena ukurannya lebih besar sehingga lumpur bisa berdifusi kembali

pada larutan umpan. Selain itu dengan bantuan pengadukan oleh pengaduk magnet mempercepat proses difusi kembali lumpur ke larutan umpan sehingga daerah filtrasi efektif tidak tertutupi oleh lumpur hasil oksidasi dan dihasilkan fluks yang lebih banyak dari pada umpan zat warna CV.

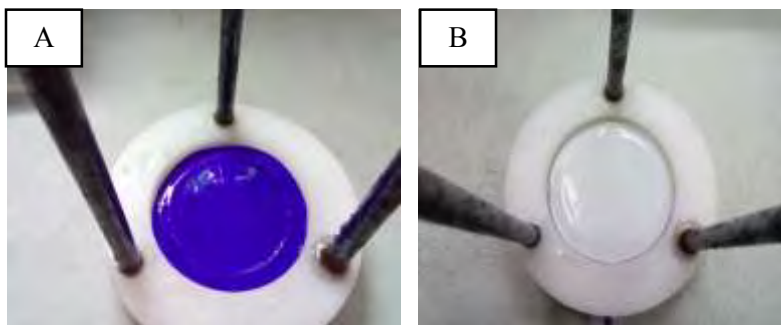
Potensi penyumbatan ini yang menyebabkan peneliti menggabungkan proses oksidasi lanjut reagen fenton dengan membran filtrasi. Oleh karena itu, didapatkan keuntungan antara lain menghemat waktu proses filtrasi karena nilai fluks larutan umpan hasil oksidasi lanjut lebih besar dibandingkan zat warna CV dan dapat digunakan untuk mengolah limbah dalam jumlah yang lebih besar, serta memperpanjang waktu hidup membran.



Gambar 4.8 Spektra FT-IR Membran (A) Sebelum dan (B) Setelah Proses Filtrasi Larutan Umpan Oksidasi Lanjut



Gambar 4.9 Grafik Fluks Larutan Hasil Proses Oksidasi Lanjut Pada Tekanan (A) 4 bar, (B) 3 bar, (C) 2 bar dan Fluks Larutan Zat Warna CV Pada Tekanan (a) 4 bar, (b) 3 bar, (c) 2 bar



Gambar 4.10 Membran Filtrasi Larutan Umpan (A) Zat Warna CV (B) Larutan Hasil Oksidasi Lanjut

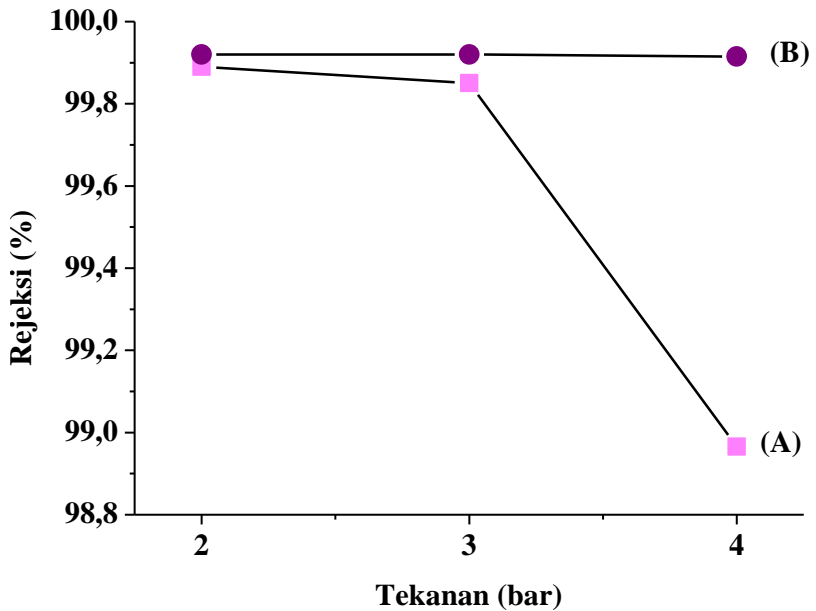
4.2.3 Rejeksi Membran

Nilai rejeksi membran didefinisikan sebagai kemampuan suatu membran dalam menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen tertentu lainnya pada larutan umpan (Mulder, 1996). Nilai rejeksi membran selulosa asetat/PEG terhadap larutan zat warna CV dan larutan hasil proses oksidasi lanjut dapat dilihat pada Gambar 4.11. Konsentrasi zat warna CV yang digunakan sebagai larutan umpan membran adalah 100 mg/L. Pada larutan oksidasi lanjut konsentrasi reagen fenton dan zat warna yaitu 1000 mg/L H_2O_2 , 200 mg/L $FeSO_4$, 100 mg/L CV dan larutan telah didiamkan selama satu jam. Uji rejeksi dilakukan dengan volume larutan umpan 50 mL. Larutan permeat hasil filtrasi membran selulosa asetat/PEG dapat dilihat pada Gambar 4.12.

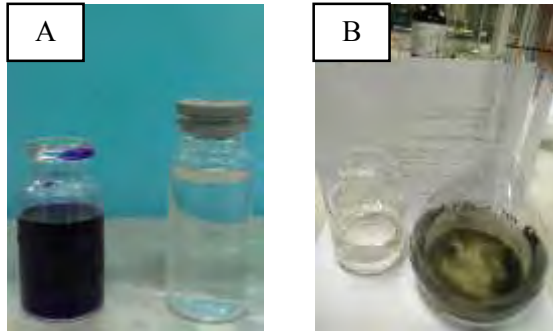
Nilai rejeksi larutan umpan zat warna CV pada tekanan 4, 3, dan 2 bar yaitu sebesar 98,96, 99,85, dan 99,89%. Nilai rejeksi tertinggi membran terhadap zat warna CV adalah pada tekanan 2 bar. Rejeksi terendah pada tekanan 4 bar. Hal serupa terjadi pada nilai rejeksi membran terhadap zat warna CV dengan larutan umpan hasil oksidasi lanjut. Nilai rejeksi pada tekanan 4, 3, dan 2 bar yaitu 99,915, 99,919, dan 99,919%. Dari data pada Gambar 4.11, penurunan rejeksi terjadi seiring dengan meningkatnya tekanan. Hal ini dikarenakan pada tekanan tinggi terjadi laju difusi yang tinggi. Laju difusi yang tinggi menyebabkan interaksi umpan lebih cepat dan membran sukar menahan umpan yang berdifusi melewati membran, sehingga koefisien rejeksi rendah (Setiawan dkk., 2013). Nilai rejeksi yang tinggi berarti molekul atau partikel terlarut tertahan oleh membran dan tidak dapat berdifusi melawan membran.

Sesuai data pada Gambar 4.11, nilai rejeksi membran menggunakan larutan umpan proses oksidasi lanjut lebih besar dibandingkan dengan larutan umpan zat warna CV diberbagai tekanan. Hal ini karena zat warna CV telah mengalami degradasi oleh reagen fenton. Selain itu, ukuran partikel lumpur hasil oksidasi lanjut lebih besar dibandingkan dengan partikel zat warna

CV, sehingga lebih susah untuk menembus pori-pori membran. Nilai rejeksi umumnya meningkat dengan meningkatnya berat molekul (atau diameter) dari zat terlarut. Partikel akan tertahan oleh membran menurut ukuran mereka (*sieving effect*) (Muro dkk., 2012).



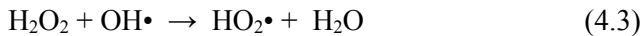
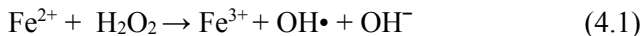
Gambar 4.11 Rejeksi Membran Selulosa Asetat/PEG Terhadap Zat Warna CV Pada Larutan Umpan (A) Zat Warna CV (B) Larutan Oksidasi Lanjut



Gambar 4.12 Larutan Permeat Hasil Filtrasi Membran Selulosa Asetat/PEG (A) Larutan zat warna CV (Kiri: Umpan CV, Kanan: Hasil Permeat) (B) Larutan Hasil Oksidasi Lanjut (Kiri: Hasil Permeat, Kanan: Umpan Larutan Hasil Oksidasi Lanjut)

4.3 Proses Oksidasi Lanjut Reagen Fenton

Proses oksidasi lanjut didefinisikan oleh Gottschalk dkk. (2000) sebagai proses yang melibatkan pembentukan radikal hidroksi ($\text{OH}\cdot$) dalam jumlah yang cukup untuk proses penguraian air limbah, salah satu jenis proses oksidasi lanjut yaitu reagen fenton. Pada reagen fenton, reaksi antara H_2O_2 dan Fe^{2+} telah diketahui menghasilkan radikal hidroksi ($\text{OH}\cdot$) dan melibatkan reaksi seperti pada Persamaan 4.1-4.3



Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi reaktan reagen fenton yaitu H_2O_2 dan Fe^{2+} . Variasi konsentrasi H_2O_2 antara lain 800, 1000, dan 1200 mg/L sedangkan variasi konsentrasi Fe^{2+} yaitu 200, 300, dan 500 mg/L. Pemilihan variasi konsentrasi mengacu pada penelitian Jana (2010). Pengaruh variasi konsentrasi

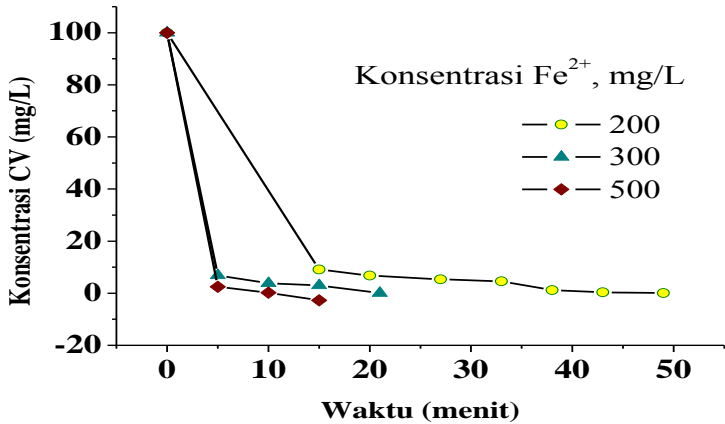
reaktan reagen fenton untuk mendegradasi zat warna CV akan dipelajari pada sub-bab berikut.

4.3.1 Variasi Komposisi Reaktan

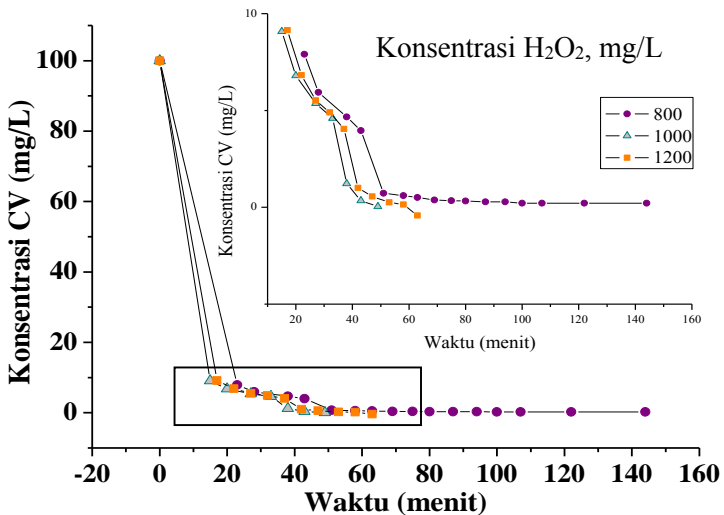
Data variasi konsentrasi Fe^{2+} disajikan dalam Gambar 4.13. Degradasi zat warna terjadi lebih cepat pada konsentrasi Fe^{2+} 500 mg/L dibandingkan dengan yang lain, yaitu membutuhkan waktu 15 menit. Sedangkan pada konsentrasi Fe^{2+} 300 mg/L dan 200 mg/L membutuhkan waktu degradasi selama 20 dan 50 menit. Hal ini menunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi Fe^{2+} dapat meningkatkan laju reaksi dan waktu degradasi zat warna CV semakin cepat. Peningkatan konsentrasi Fe^{2+} dalam reagen fenton mengkatalisis pembentukan radikal hidroksi ($\text{OH}\cdot$) (Persamaan 4.1), sehingga laju degradasi zat warna meningkat. Hasil yang serupa dilaporkan oleh Jana dkk. (2010).

Selain variasi konsentrasi Fe^{2+} dilakukan juga variasi konsentrasi H_2O_2 yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.14. Proses degradasi zat warna CV dengan waktu tercepat diperoleh pada konsentrasi H_2O_2 sebesar 1000 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi H_2O_2 800 mg/L, membutuhkan waktu lebih lama yaitu sekitar hampir 145 menit. Ini menunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi H_2O_2 , laju degradasi zat warna CV lebih cepat. Hal ini terjadi karena pada reagen fenton, proses oksidasi akan meningkat dengan meningkatnya jumlah radikal hidroksi ($\text{OH}\cdot$) dalam larutan yang diperoleh dari meningkatnya konsentrasi H_2O_2 (Persamaan 4.1). Namun saat peningkatan konsentrasi H_2O_2 sebesar 1200 mg/L laju degradasi zat warna CV menurun. Hal tersebut dapat dijelaskan menggunakan Persamaan 4.3, radikal hidroksi ($\text{OH}\cdot$) yang sangat reaktif bereaksi dengan H_2O_2 menghasilkan $\text{HO}_2\cdot$ yang bersifat kurang reaktif (Fan dkk., 2009).

Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih komposisi reagen fenton 100 mg/L zat warna CV, 200 mg/L FeSO_4 , dan 1000 mg/L H_2O_2 yang digunakan sebagai larutan umpan membran.



Gambar 4.13 Grafik Proses Degradasi CV oleh Reagen Fenton, dengan Variasi Konsentrasi Fe^{2+} pada 100 mg/L CV dan 1000 mg/L H_2O_2

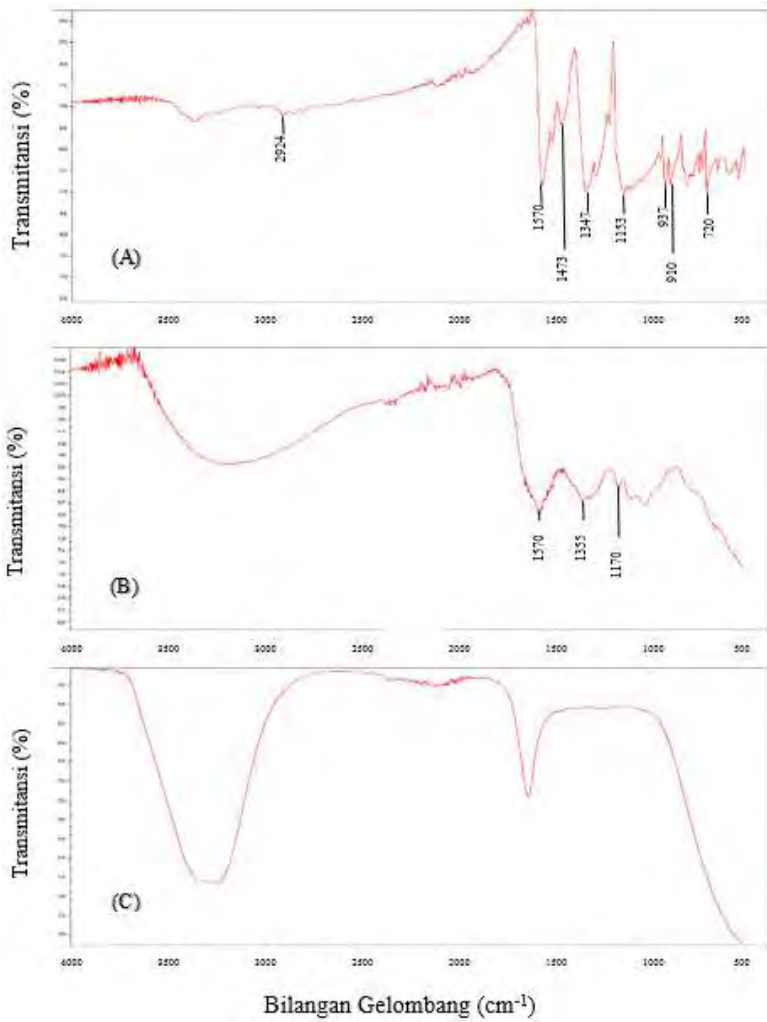


Gambar 4.14 Grafik Proses Degradasi CV oleh Reagen Fenton, dengan Variasi Konsentrasi H_2O_2 pada 100 mg/L CV dan 200 mg/L FeSO_4

4.3.2 Analisis Produk Hasil Oksidasi Lanjut

Produk hasil degradasi zat warna CV diamati menggunakan spektrofotometer FT-IR. Data hasil pengamatan disajikan pada Gambar 4.15. Pada Gambar 4.15 terdapat perbedaan spektra antara zat warna CV dengan produk hasil oksidasi lanjut. Pada bilangan gelombang 2924, 1473, 937, 910, dan 720 cm^{-1} dari CV tidak muncul pada produk hasil oksidasi lanjut. Bilangan gelombang 2924 cm^{-1} merupakan gerak getar khas ikatan CH_3 ulur. Bilangan gelombang 1473 cm^{-1} mewakili $\text{C}=\text{C}$ kelompok siklik. Bilangan gelombang 930 dan 910 cm^{-1} menunjukkan hilangnya gugus aromatik pada produk hasil oksidasi lanjut. Sedangkan pada bilangan gelombang 720 cm^{-1} yang mewakili klorin terlihat menghilang pada produk oksidasi lanjut. Hal yang sama telah diteliti oleh Jana (2010). Puncak yang masih terlihat pada spektra hasil oksidasi lanjut yaitu pada bilangan gelombang 1577, 1355, dan 1170 cm^{-1} yang menunjukkan senyawa aromatik, CH_3 tekuk, dan CH_3 ulur secara berturut-turut.

Selain zat warna CV dan produk hasil proses oksidasi lanjut, larutan permeat membran juga dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FT-IR. Pada Gambar 4.15 terlihat puncak pada bilangan gelombang sekitar 3200-3400 cm^{-1} mewakili gugus OH yang merupakan ikatan O dengan H pada air.



Gambar 4.15 Spektra FT-IR (A) Zat Warna CV (B) Produk Hasil Oksidasi Lanjut (C) Permeat Membran

BAB V

KESIMPULAN

Degradasi zat warna CV telah berhasil dilakukan menggunakan kombinasi metode proses oksidasi lanjut reagen fenton dan filtrasi membran selulosa asetat/PEG. Tingkat degradasi zat warna CV sangat dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan reagen fenton. Pada penelitian ini diperoleh hasil komposisi reagen fenton yang optimum dan efisien dalam mendegradasi zat warna CV 100 mg/L yaitu pada konsentrasi 1000 mg/L H_2O_2 dan 200 mg/L FeSO_4 . Laju degradasi CV semakin cepat seiring meningkatnya konsentrasi FeSO_4 dan H_2O_2 . Namun, saat konsentrasi H_2O_2 terlalu tinggi menghasilkan $\text{OH}\cdot$ yang sangat reaktif dan bereaksi dengan H_2O_2 , sehingga membentuk $\text{HO}_2\cdot$ yang kurang reaktif dan menurunkan laju degradasi. Pada konsentrasi 1200 mg/L H_2O_2 waktu degradasi zat warna CV 100 mg/L selama 60 menit, sedangkan pada konsentrasi 1000 mg/L H_2O_2 hanya membutuhkan waktu degradasi kurang dari 45 menit. Lumpur hasil produk samping oksidasi lanjut dipisahkan menggunakan membran selulosa asetat/PEG. Kinerja membran selulosa asetat PEG dipengaruhi oleh gaya dorong tekanan. Dengan meningkatnya tekanan mengakibatkan peningkatan nilai fluks dan menurunkan nilai rejeksi membran. Nilai fluks zat warna CV pada tekanan 2, 3, dan 4 bar yaitu 3,03; 5,56; dan 7,07 L/m^2 jam. Nilai fluks larutan umpan hasil oksidasi lanjut pada tekanan 2, 3, dan 4 bar sebesar 5,56; 9,60; dan 12,13 L/m^2 jam. Sedangkan nilai rejeksi zat warna CV pada larutan umpan zat warna CV dan larutan hasil oksidasi lanjut dengan tekanan 2, 3, dan 4 bar yaitu 99,89%, 99,85%, 98,96% dan 99,91%, 99,92%, dan 99,92%. Hal ini terjadi karena tekanan merupakan gaya dorong larutan umpan, sehingga fluks meningkat, namun difusi larutan umpan yang cepat mengakibatkan turunnya nilai rejeksi karena membran sukar menahan larutan umpan yang berdifusi terlalu cepat.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Journal Nanosains & Nanoteknologi*. 2, 1.
- Adak, A., Bandyopadhyay, M., Pal, A., 2005. Removal of crystal violet dye from wastewater by surfactant-modified alumina. *Separation Purification Technology*. 44, 139–144.
- Adak, A., Bandyopadhyay, M., Pal, A., 2006. Fixed bed column study for the removal of crystal violet (C.I. Basic Violet 3) dye from aquatic environment by surfactantmodified alumina. *Dyes Pigments* 69, 245–251.
- Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N., 2000. Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent. *Water Research*. 34, 927–935.
- Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N.A., 2001. Sorption behaviour of cationic and anionic dyes from aqueous solution on different types of activated carbons. *Separation Science Technology*. 36, 91–102.
- Ali, I., Gupta, V.K., 2007. Advances in water treatment by adsorption technology. *Nature Protocols* 1, 2661–2667.
- Allingham, M.M., Cullen, J.M., Giles, C.H., Jain, S.K., Woods, J.S., 1958. Adsorption at inorganic surfaces. II. Adsorption of dyes and related compounds by silica. *Journal Application Chemistry*. 8, 108–116.

- Alshamsi, F.A., Albadwawi A.S., Alnuaimi, M.M., Rauf, M.A., Ashraf, S.S. 2007. Comparative efficiencies of the degradation of Crystal Violet using UV/hydrogen peroxide and Fenton's reagent, *Dyes Pigments*. 74, 283–287.
- Amy, G. 2008. Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes, *Desalination*. 231, 44–51.
- Bansal, R.C., Donet, J.-B., Fritz, S., 1988. Active Carbon. Marcel Dekker, New York.
- Basar, C.A., Aydiner, C., Kara, S., Keskinler, B., 2006. Removal of CrO₄ anions from waters using surfactant enhanced hybrid PAC/MF process. *Separation Purification Technology*. 48, 270–280.
- Belfort, G., Davis, R., Zydney, A. 1994. The behaviour of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration, *Journal Membrane Science*. 96, 1–58.
- Bhattacharjee, S., Kim, A.S., Elimelech, M. 1999. Concentration polarization of interacting solute particles in cross-flow membrane filtration, *Journal Colloid Interface Science*. 212, 81–99.
- Broeckmann, A., Busch, J., Wintgens, T., Marquardt, W. 2006. Modeling of pore blocking and cake layer formation in membrane filtration for wastewater treatment, *Desalination*. 189, 97–109.
- Carrott, P.J.M., Ribeiro Carrott, M.M.L., Moura~o, P.A.M., Lima, R.P., 2003. Preparation of activated carbons from cork by physical activation in carbon dioxide. *Adsorption Science Technology*. 21, 669–681.

- Carrott, P.J.M., Ribeiro Carrott, M.M.L., Roberts, R.A., 1991. Physical adsorption of gases by microporous carbons. *Colloids Surface*. 58, 385–400.
- Cheryan, M. 1986. *Ultrafiltration Handbook*, Technomic Publishing Company, Inc.
- Chi-Chuan K., D.A.D. Genuino, K. Katrina, P. Rivera, M.D de Luna. 2015. Ultrasonic cleaning of polytetrafluoroethylene membrane fouled by natural organic matter. *Journal Membrane Science*. 497, 450-457.
- Choi, K. H., Zhang, D.D., Dionysiou, D., Oerther, D & Sorial G.A. 2005. Effect of Permeate Flux and Tangential Flow On Membrane Fouling for Wastewater Treatment, *Separation and Purification Technology* Vol. 45. No.1, 68–78.
- Christie, R.M., 2007. *Environmental Aspects of Textile Dyeing*. Woodhead, Boca Raton, Cambridge.
- Clay, J.W., 2004. *World Agriculture and the Environment: a Commodity-bycommodity*
- Costa, A.R., de Pinho, M.N., Elimelech, M. 2006. Mechanisms of colloidal natural organic matter fouling in ultrafiltration. *Journal Membrane Science*. 281, 716-725.
- Couto, S.R., Dominguez, A., Sanroman, A. 2002. Photocatalytic degradation of dyes in aqueous solution operating in a fluidized bed reactor, *Chemosphere*. 46, 83–86.
- Do, D.D., 1998. *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*. Imperial College Press, London.

- Dogan, D., Turkdemir, H., 2005. Electrochemical oxidation of textile dye indigo. *Journal Chemistry Technology Biotechnology*. 80, 916–923.
- Drioli, E., Giorno, L., 2010. *Comprehensive Membrane Science and Engineering*. Elsevier, Amsterdam, London.
- El Qada, E.N., Allen, S.J., Walker, G.M. 2008. Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto activated carbons. *Chemical Engineering Journal*. 135,174–184.
- El-Gohary, F., Tawfik, A. 2009. Decolourisation and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process, *Desalination*. 249, 1159–1164.
- Escobar, J. 2010. Optimización Del Proceso de Ultrafiltración de Efluentes de Una Industria de Cereales. Thesis Doctor, Institute Technological of Toluca, México.
- Faouzi, A.M., Nasr, B., Abdellatif, G., 2007. Electrochemical degradation of anthraquinone dye Alizarin Red S by anodic oxidation on boron-doped diamond. *Dyes Pigments*. 73, 86–89.
- Fessenden, J. R. Fessenden, S. J. 2010. *Dasar-dasar Kimia Organik*. Terjemahan Maun, S. Anas, K. Saaly, T. S. Tangerang: Binarupa Aksara.
- Field, R.W., Pearce, G.K. 2011. Critical, sustainable and threshold fluxes for membrane filtration with water industry applications, *Advanced Colloid Interface Science*. 164, 38–44.

- Gao, B.Y., Yue, Q.Y., Wang, Y., Zhou, W.Z. 2007. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride, *Journal Environment Management*. 82, 167–172.
- Gopinath, K.P., Murugesan, S., Abraham, J., Muthukumar, K., 2009. Bacillus sp. mutant for improved biodegradation of Congo Red: random mutagenesis approach. *Bioresource Technology*. 100, 6295-6300.
- Gottschalk, C., Libra, J. A., Saupe, A. 2000. Ozaonation of Water and Wastewater. A Practical Guide to Understanding Ozone and Its Application. Weinheim, German. Willey-Vch Verlag GmbH.
- Gregor, K.H., 1992. Oxidative decolourisation of textile waste water with advanced oxidation proceses. In: Eckenfelder, W.W., Bowers, A.R., Roth, J.A. (Eds.), *Chemical Oxidation-Technologies for the Nineties: Proceedings of the First International Symposium, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, February 20–22, 1991*. Technomic, Lancaster, PA, pp. 161–193.
- Gupta, V.K., Suhas. 20009. Aplication of low-cost adsorbents for dye removal-A review. *Journal Environmental Management*. 90, 2313-2342.
- Haber, F., Weiss, J. 1934. Catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts, *Proc. R. Soc. Series A*. 147, 332.
- Hage, R., Lienke, A., 2006. Applications of transition-metal catalysts to textile and wood-pulp bleaching. *Angew. Chemistry, International Ed*. 45, 206–222.
- Han, B., Zhang, D., Shao, Z., Kong, L., Shaoyi, Lv. 2013. Preparation and characterization of cellulose

acetate/carboxymethyl cellulose acetate blend ultrafiltration membranes. *Desalination*. 311, 80–89.

Hassler, J.W., 1963. Activated Carbon. Chemical Publishing Company, Inc., New York.

Holdich, R.G., Zhang, G. M. 1995. Internal fouling of microporous cross-flow filtration membranes with dilute latex suspensions, *Chem. Eng. Journal Biochemistry Engineering*. 60, 31–37.

Huang, Y.-H., Hsueh, C.-L., Huang, C.-P., Su, L.-C., Chen, C.-Y., 2007. Adsorption thermodynamic and kinetic studies of Pb(II) removal from water onto a versatile Al₂O₃ supported iron oxide. *Separation Purification Technology*. 55, 23–29.

Huan-Jung Fan, Shiuh-Tsuen Huang, Wen-Hsin Chung, Jeng-Lyan Jan, Wan-Yu Lin, Chiing-Chang Chen. 2009. Degradation pathways of crystal violet by Fenton and Fenton-like systems: Condition optimization and intermediate separation and identification. *Journal Hazardous Material*. 171, 1032-1044.

Hunger, K., 2003. Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications. Wiley-VCH, Weinheim; Cambridge.

Husain, Q., 2006. Potential applications of the oxidoreductive enzymes in the decolorization and detoxification of textile and other synthetic dyes from polluted water: a review. *Critical Review Biotechnology*. 26, 201–221.

Iritani, E. 2013. A review on modeling of pore blocking behaviors of membranes during pressurized membrane filtration. *DryTechnol*. 31, 146–162.

- Jana, S., Purkait, M.K., Mohanty, K. 2010. Removal of crystal violet by advanced oxidation and microfiltration. *Applied Clay Science*. 50, 337-341.
- Jermann, D., Pronk, W., Kgi, R., Halbeisen, M., Boller, M. 2008. Influence of interactions between NOM and particles on UF fouling mechanisms, *Water Research*. 42, 3870–3878.
- Jönsson, A.S., Jönsson, B., 1996. Colloidal fouling during ultrafiltration, *Separation Science Technology*. 31, 2611–2620.
- Kim, T.H., Park, C., Yang, J.M., Kim, S., 2004. Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation. *Journal Hazardous Materials*. 112, 95–103.
- King, P. L., M. S. Ramsey, P. F. McMillan, and G. Swayze. 2004. Laboratory Fourier transform infrared spectroscopy methods for geologic samples. *Infrared Spectroscopy in Geochemistry, Exploration Geochemistry and Remote Sensing*; King, PL, Ramsey, MS, McMillan, PF, Swayze, GA, Eds: 57-91.
- Kumar, Subodh. 2006. Organic Chemistry. Depth. Of Chemistry Nanak Dev University: Amitsar.
- Kusvuran, E., Gulnaz, O., Samil, A., Yildirim, O. 2011. Decolorization of malachite green, decolorization kinetics and stoichiometry of ozone-malachite green and removal of antibacterial activity with ozonation processes, *Journal of Hazardous Materials*. 186, 133–143.
- Lee, J.S., Ah Heo, S., Jo, H.J., Min, B.R. 2016. Preparation and characteristics of cross-linked cellulose acetate ultrafiltration membranes with high chemical resistance

and mechanical strength. *Reactive and Functional Polymers*. 99, 114–121.

Lee, J.S., Heo, S.A., Jo, H.J., Min, B.R. 2015. Preparation and characteristics of cross-linked cellulose acetate ultrafiltration membranes with high chemical resistance and mechanical strength. *Reactive and Functional Polymers*. 99, 114–121.

Lin, S.H., Peng, C.F., 1994. Treatment of textile wastewater by electrochemical method. *Water Research*. 28, 277–282.

Lopes, A., Martins, S., Morãõ, A., Magrinho, M., Goncalves, I., 2004. Degradation of a textile dye C.I. direct red 80 by electrochemical processes. *Port. Electrochim. Acta* 22, 279–294.

Lucas, M., Peres, J.A. 2006. Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation. *Dyes and Pigment*. 71, 236-244.

Malaisamy, R., Mahendran, R., Mohan, D., Rajendran M., Mohan V. 2002. Cellulose Acetate and Sulfonated Polysulfone Blend Ultrafiltration Membranes. I. Preparation and Characterization. *Journal of Application Polymer Science*. Vol. 86, 1749–1761.

Malaisamy, R., Sivakumar, M., Mohan, D., Mohan, 1998. V. Proceedings of the IUPAC Symposium in Polymer Science and Engineering, MACRO '98, CLRI, Chennai, India. 499.

Mantell, C.L., 1951. In: Adsorption, second ed. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

McKay, G., 1982. Adsorption of dyestuffs from aqueous solutions with activated carbon I: Equilibrium and batch contact-

- time studies. *Journal Chemistry Technology Biotechnology*, 32.
- McKay, G., El-Geundi, M., Nassar, M.M., 1997. Equilibrium studies for the adsorption of dyes on bagasse pith. *Adsorption Science Technology*. 15, 251–270.
- Mendez-Martinez, A.J., Davila-Jimenez, A., Ornelas-Davilab, M., Elizalde-Gonzalez, O., Arroyo-Abad, U., Sires, I., Brillas, E., 2012. Electrochemical reduction and oxidation pathways for Reactive Black 5 dye using nickel electrodes in divided and undivided cells. *Electrochim. Acta*. 59, 140–149.
- Meyer, E. 1992. Atomic Force Microscopy. Pergamon Press Ltd.
- Morita, M., Ito, R., Kamidate, T., Watanabe, H., 1996. Kinetics of peroxidase catalyzed decoloration of Orange II with hydrogen peroxide. *Textile Research Journal*. 66, 470–473.
- Mozia, S., Tomaszewska, M., Morawski, A.W., 2006. Removal of azo-dye Acid Red 18 in two hybrid membrane systems employing a photodegradation process. *Desalination*. 198, 183–190.
- Mulder, M. 1996. Basic principal of membrane technology. Kluwer Academic Publishers.
- Munir, Ahsan. 2006. Dead End Membrane Filtration. Laboratory Feasibility Studies in Environmental Engineering.
- Muro, C., Riera, F., dan Díaz, M.C. 2012. Membrane Separation Process in Wastewater Treatment of Food Industry. *INTECH Open Access Publisher*.

- Muruganandham, M., Swaminathan, M. 2004. Decolourisation of Reactive Orange 4 by Fenton and photo-Fenton oxidation technology, *Dyes and Pigment*. 63, 315-321.
- Muruganandham, M., Swaminathan, M. 2006. Advanced oxidative decolourisation of Reactive Yellow 14 azo dye by UV/TiO₂, UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe²⁺ processes—a comparative study, *Separation and Purification Technology*. 48, 297–303.
- Nagendran, A., Vidya, S., dan Dr D. Mohan. 2008. Preparation and Characterization of Cellulose Acetate-Sulfonated Poly (Ether Imide) Blend Ultrafiltration Membranes and their Applications. *Soft Materials*. 6:2, 45-64.
- Namboodri, C.G., Perkins, W.S., Walsh, W.K., 1994a. Decolorizing dyes with chlorine and ozone: *Part I. Am. Dyestuff Rep.* 83, 17–22.
- Namboodri, C.G., Perkins, W.S., Walsh, W.K., 1994b. Decolorizing dyes with chlorine and ozone: *Part II. Am. Dyestuff Rep.* 83, 17–26.
- Neyens, E. dan Baeyens, J. 2002. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*. B98, 33–50.
- Neyens, E. dan Baeyens, J. 2003. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*. B98, 33–50.
- Nowak, K.M., Winnicki, T., 1986. Decolorization of dye solutions by continuous ultrafiltration. *Desalination*. 60, 59–66.
- Oliveira, F.H., Osugi, M.E., Paschoal, F.M.M., Profeti, D., Olivi, P., Zanoni, M.V.B., 2007a. Electrochemical oxidation of

an acid dye by active chlorine generated using Ti/Sn(1-x)Ir O-x(2) electrodes. *Journal Application Electrochemistry*. 37, 583–592.

- Oller, I., Malato, S., Sanchez-Perez, J.A. 2011. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination – a review. *Science Total Environment*. 409, 4141–4166.
- Omura, T., 1994. Design of chlorine-fast reactive dyes. 4. Degradation of aminocontaining azo dyes by sodium-hypochlorite. *Dyes Pigments*. 26, 33–50.
- Perumal, K., Malleswari, R.B., Catherin, A., Sambanda-Moorthy, T.A., 2012. Decolorization of Congo Red dye by bacterial consortium isolated from dye contaminated soil, Paramakudi, Tamil Nadu. *Journal Microbiol. Biotechnology Research*. 2, 475-480.
- Phan, N.H., Rio, S., Faur, C., Le Coq, L., Le Cloirec, P., Nguyen, T.H., 2006. Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. *Carbon*. 44, 2569–2577.
- Porter, M.C. 1972. Concentration polarization with membrane ultrafiltration, *Product R&D*. 11, 234–248.
- Ramya, M., Iyappan, S., Manju, A., Jiffe, J.S., 2010. Biodegradation and decolorization of Acid Red by *Acinetobacter radioresistens*. *Application Environment Microbiology*. 70, 837-844.
- Regula, C., Carretier, E., Wyart, Y., Ge'san-Guiziou, G., Vincent, A., Boudot, D., Moulin, P. 2014. Chemical cleaning/disinfection and ageing of organic UF membranes: A review. *Water Research*. 56, 325-365.

- Riera-Torres, M., Gutiérrez-Bouzán, C., Crespi, M., 2010. Combination of coagulation–flocculation and nanofiltration techniques for dye removal and water reuse in textile effluents. *Desalination*. 252, 53–59.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. 2001. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Journal Bioresearch Technology*. 77, 247–255.
- Samira, S., Akash Raja P, Mohan C dan J.M. Modak. 2012. Photocatalytic Degradation of Crystal Violet (C.I. Basic Violet 3) on Nano TiO₂ Containing Anatase and Rutile Phases (3:1). *Journal Thermodynamic Cat*. 3, 5.
- Sani, R., Banerjee, U., 1999b. Decolorization of triphenylmethane dyes and textile and dye-stuff effluent by *Kurthia* sp. *Enzyme Microbiology Technology*. 24, 433–437.
- Sarayu, K., Sandhya, S., 2010. Aerobic biodegradation pathway for Remazol Orange by *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied Biochemistry Biotechnology*. 160, 1241-1253.
- Senthilkumar, S., Rajesh, S., Mohan, D., dan Soundararajan, P. 2013. Preparation, Characterization, and Performance Evaluation of Poly(Ether-imide) Incorporated Cellulose Acetate Ultrafiltration Membrane for Hemodialysis, *Separation Science and Technology*. 48:1, 66-75.
- Setiawan, V.R., Cut M. Rosnelly, Darmadi. 2013. Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Membran Selulosa Dasetat Berbasis Selulosa Pulp Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 9. 3, 131 – 136.

- Sharma, S., Ruparelia, J.P., Patel, M.L. 2011. A general review on Advanced Oxidation Processes for waste water treatment. Institute of Technology Nirma University. Ahmedabad. 382-481.
- Shi, X., Field, R., Hankins, N. 2011. Review of fouling by mixed feeds in membrane filtration applied to water purification, *Desalinator Water Treatment*. 35, 68–81.
- Shi, X., Tal, G., Hankins, N.P., Gitis, V. 2014. Fouling and Cleaning of Ultrafiltration Membrane: A Riview. *Journal Water Process Engineering*. 1, 121-138.
- Shu, H. 2006. Degradation of dyehouse effluent containing C.I. Direct Blue 199 by processes of ozonation, UV/H₂O₂ and in sequence of ozonation with UV/H₂O₂l, *Journal. of Hazardous Material*. B133, 92–98.
- Sirés, I., Guivarch, E., Oturan, N., Oturan, M.A. 2008. Efficient removal of triphenylmethane dyes from aqueous medium by in situ electrogenerated Fenton's reagent at carbon-felt cathode, *Chemosphere*. 72, 592–600.
- Strathmann, H.; Kock, K.; Amar, P.; Baker, R. 1975. W. Desalination. 16, 179.
- Suksaroj, C., Heran, M., Allegre, C., Persin, F. 2005. Treatment of textile plant effluent by nanofiltration and/or reverse osmosis for water reuse, *Desalination*. 178, 333–341.
- Sulystia, Y.T., Widiasturi, N., Atmaja, L. 2015. Membran Selulosa Asetat/PEG dengan Perendaman Etilendiamin Untuk Penghilangan Zat Warna. *Journal Sains & POMITS* Vol. 4, No. 1, 1-5.

- Tan, X., Kyaw, N.N., Teob, W.K., Li, K., 2006. Decolorization of dye-containing aqueous solutions by the polyelectrolyte-enhanced ultrafiltration (PEUF) process using a hollow fiber membrane module. *Separation Purification Technology*. 52, 110–116.
- Tisa, F., Abdul Raman, A.A., Wan Daud, W.M.A. 2014. Applicability of fluidized bed reactor in recalcitrant compound degradation through advanced oxidation processes: A review. *Journal Of Environment Material*. 146, 260-275.
- Titus, M.P., Molina, V.G., Baños, M.A., Giménez, J., Esplugas, S. 2004. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review, *App. Cat. B: Env.* 47, 219–256.
- Ulbricht, Mathias. 2006. Advanced functional polymer membranes. *Polymer*. 47, 2217–2262.
- Van den Brink, P., Vergeldt, F., Van As, H., Zwijnenburg, A., Temmink, H., Van Loosdrecht, M. C. M. 2013. Potential of mechanical cleaning of membranes from a membrane bioreactor, *Journal Membrane Science*. 429, 259–267.
- Wang, A., Qu, J., Ru, J., Liu, H., Ge, J. 2005. Mineralization of an azo dye Acid Red 14 by electro-Fenton's reagent using an activated carbon fiber cathode, *Dyes and Pig.* 65, 227- 233.
- Wang, Q., Wang, Z., Wu, Z., Ma, J., Jiang, Z. 2012. Insights into membrane fouling of submerged membrane bioreactors by characterizing different fouling layers formed on membrane surfaces, *Chemical Engineering Journal*. 179, 169–177.

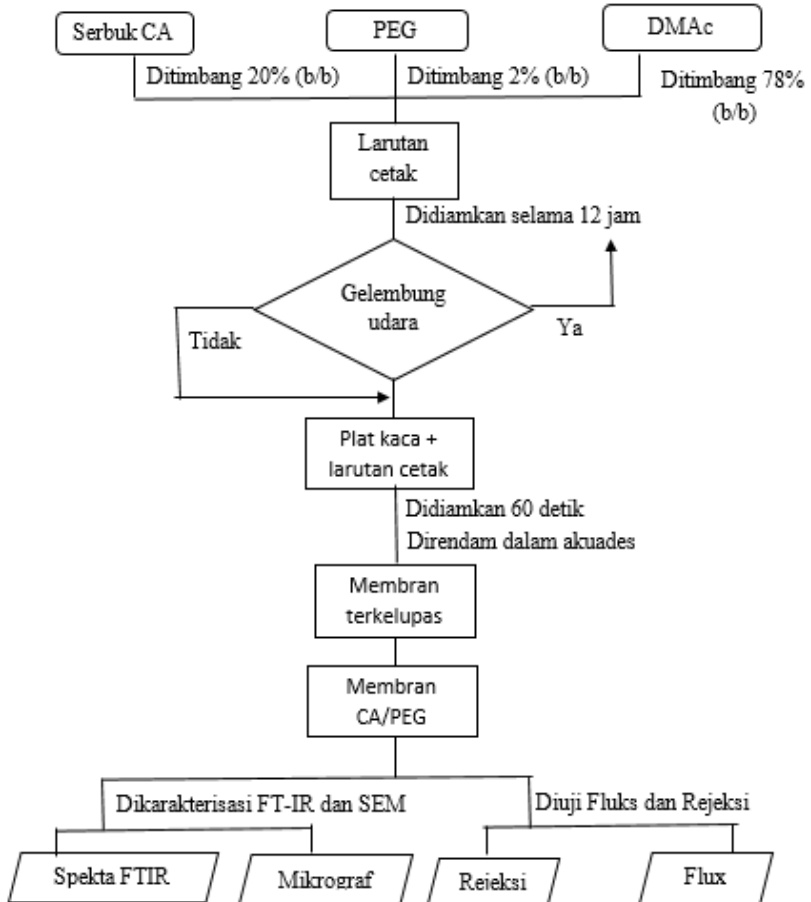
- Wang, S., 2008. A Comparative study of Fenton and Fenton-like reaction kinetics in decolourisation of wastewater. *Dyes Pigments* 76, 714–720.
- Wang, X. M., Waite, T.D. 2009. Role of gelling soluble and colloidal microbial products in membrane fouling, *Environment Science Technology*. 43, 9341–9347.
- Wu, C., Ng, H. 2008. Degradation of C.I. Reactive Red 2 (RR2) using ozone-based systems: Comparisons of decolorization efficiency and power consumption, *Journal of Hazard Materials*. 152, 120–127.
- Xiafu S., Galit Tal, Nicholas P. Hankins, Vitaly Gitis. 2014. Fouling and cleaning of ultrafiltration membranes: A review. *Journal Of Water Process Engineering*. 1, 121-138.
- Yu, S., Liu, M., Ma, M., Qi, M., Lü, Z., Gao, C., 2010. Impacts of membrane properties on reactive dye removal from dye/salt mixtures by asymmetric cellulose acetate and composite polyamide nanofiltration membranes. *Journal Membrane Science*. 350, 83–91.
- Zhao, Y., Wu, K., Wang, Z., Zhao, L., Li, S. 2000. Fouling and cleaning of membrane a literature review, *Environment Science*. 12, 241–251.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran A

Preparasi Membran CA/PEG



Gambar A.1. Bagan Preparasi dan Uji Pada Membran Selulosa Asetat/PEG

Lampiran B

Pehitungan Komposisi Bahan

B.1. Komposisi Bahan Membran Selulosa Asetat/ Polietilen Glikol (PEG)

Larutan cetak pada pembuatan membran SA/PEG adalah sebanyak 50 g. Pada penelitian ini komposisi bahan dihitung berdasarkan persen beratnya dari total larutan cetak, komposisi bahan yang digunakan sebagai berikut,

Jika Selulosa asetat yang digunakan sebanyak 20% dan PEG yang digunakan sebanyak 2% maka,

$$m \text{ CA} = 20\% \times 50 \text{ g}$$

$$= 10 \text{ g}$$

$$m \text{ PEG} = 2\% \times 50 \text{ g}$$

$$= 1 \text{ g}$$

$$m \text{ DMAc} = 78\% \times 50 \text{ g}$$

$$= 39 \text{ g}$$

B.2. Preparasi Larutan Induk *Crystal Violet*

Larutan induk crystal violet (CV) yang dipakai pada penelitian ini mempunyai konsentrasi 500 mg/L. Larutan induk CV 500 mg/L dibuat dengan menimbang kristal CV sebesar 125 mg lalu dilarutkan dengan aquadest pada labu ukur 250 mL dan ditambahkan aquadest sampai tanda batas.

B.3. Preparasi Larutan Umpan

Larutan umpan CV dibuat dengan mengencerkan larutan induk 500 mg/L. Larutan umpan yang digunakan mempunyai

konsentrasi 100 mg/L. Larutan umpan ini juga digunakan sebagai larutan kerja. Maka perhitungan pengencerannya sebagai berikut,

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 500 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 100 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

B.4. Preparasi Larutan Standar *Crystal Violet*

Larutan standart CV dibuat dengan mengencerkan larutan kerja CV 100 mg/L. Jika kita ingin membuat larutan standart CV yang memiliki konsentrasi 10 mg/L dari pengenceran larutan kerja 100 mg/L contoh perhitungannya sebagai berikut,

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 10 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

Tabel B.1. Volume Larutan Kerja CV 100 mg/L yang dibutuhkan

Konsentrasi Larutan Standart CV (mg/L)	Volume Larutan Kerja CV 100 mg/L yg dibutuhkan (mL)
0	0
0.5	0.25
1	0.5
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5

B.5. Perhitungan Larutan Pengoksidasi Lanjut

Pada penelitian ini pembuatan larutan pengoksidasi lanjut/reagen fenton dibuat dari variasi konsentrasi H_2O_2 dan variasi konsentrasi FeSO_4 . Perhitungan variasi konsentrasi H_2O_2 dan variasi konsentrasi FeSO_4 sebagai berikut,

- Perhitungan konsentrasi H_2O_2 induk dalam satuan mg/L dari H_2O_2 30% b/b, $\rho = 1.12 \text{ kg/L}$.

$$\begin{aligned}
 V &= m/\rho \\
 \text{H}_2\text{O}_2 \text{ 30\% b/b} &= 30 \text{ g}/100 \text{ g} \\
 &= \frac{30 \text{ g}}{\frac{100 \text{ g}}{1,12 \text{ kg/L}}} \\
 &= \frac{30 \text{ g} \times 1,12 \text{ kg/L}}{100 \text{ g}} \\
 &= 30 \times 1.12 \text{ kg/L} \\
 &= 336000 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi larutan kerja H_2O_2 3360 mg/L

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 336000 \text{ mg/L} &= 100 \text{ mL} \times 3360 \text{ mg/L} \\
 V_1 &= 1 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan variasi konsentrasi H_2O_2

$$\begin{aligned}
 - \text{ 800 mg/L } \text{H}_2\text{O}_2 \\
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 3360 \text{ mg/L} &= 250 \text{ mL} \times 800 \text{ mg/L} \\
 V_1 &= 59,5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

- 1000mg/L H₂O₂

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 3360 \text{ mg/L} &= 250 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg/L} \\ V_1 &= 74,4 \text{ mL} \end{aligned}$$
- 1200mg/L H₂O₂

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 3360 \text{ mg/L} &= 250 \text{ mL} \times 1200 \text{ mg/L} \\ V_1 &= 89,3 \text{ mL} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan variasi konsentrasi FeSO₄

- 200 mg/L FeSO₄

$$\begin{aligned} &= \frac{200 \text{ mg}}{L} \\ &= \frac{200 \text{ mg} \div 4}{1000 \text{ mL} \div 4} \\ &= \frac{50 \text{ mg}}{250 \text{ mL}} = \frac{50 \text{ mg}}{0,25 \text{ L}} \end{aligned}$$

Massa FeSO₄ yang ditimbang sebesar 50 mg.
- 300 mg/L FeSO₄

$$\begin{aligned} &= \frac{300 \text{ mg}}{L} \\ &= \frac{300 \text{ mg} \div 4}{1000 \text{ mL} \div 4} \\ &= \frac{75 \text{ mg}}{250 \text{ mL}} = \frac{75 \text{ mg}}{0,25 \text{ L}} \end{aligned}$$

Massa FeSO₄ yang ditimbang sebesar 75 mg.
- 500 mg/L FeSO₄

$$= \frac{500 \text{ mg}}{L}$$

$$= \frac{500 \text{ mg} \div 4}{1000 \text{ mL} \div 4}$$

$$= \frac{125 \text{ mg}}{250 \text{ mL}} = \frac{125 \text{ mg}}{0,25 \text{ L}}$$

Massa FeSO_4 yang ditimbang sebesar 125 mg.

- Perhitungan konsentrasi CV 100 mg/L dalam larutan oksidasi lanjut

- CV 100 mg/L

$$= \frac{100 \text{ mg}}{L}$$

$$= \frac{100 \text{ mg} \div 4}{1000 \text{ mL} \div 4}$$

$$= \frac{25 \text{ mg}}{250 \text{ mL}} = \frac{25 \text{ mg}}{0,25 \text{ L}}$$

Massa CV yang ditimbang sebesar 25 mg

Lampiran C

Data Uji

C.1. Data Fluks Membran

Membran diuji Fluks menggunakan larutan umpam berupa air, zat warna CV, dan produk hasil oksidasi tingkat lanjut yang telah didiamkan selama 1 jam. Uji fluks dihitung menggunakan Persamaan 3.1, dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diperoleh data sebagai berikut,

C.1.1 Fluks Air

Tabel C.1. Data Fluks Air

Variasi Tekanan (Bar)	A (m ²)	Q (L)	T (Jam)	J (L/m ² jam)
4	0,0024	0,0046	0,1667	11,6206
	0,0024	0,0044	0,1667	11,1153
	0,0024	0,0043	0,1667	10,8627
	Rata-rata			11,1995
3	0,0024	0,0034	0,1667	8,5891
	0,0024	0,0032	0,1667	8,0839
	0,0024	0,0032	0,1667	8,0839
	Rata-rata			8,2523
2	0,002375	0,0022	0,1667	5,5577
	0,002375	0,0022	0,1667	5,5577
	0,002375	0,0022	0,1667	5,5577
	Rata-rata			5,5577

C.1.2 Fluks CV

Tabel C.2. Data Fluks Zat Warna CV

Waktu (Menit)	Q (L)	J (L/m ² jam)	P (bar)
5	0,0014	7,0748	4
10	0,0028	7,0748	
15	0,0042	7,0748	
20	0,0054	6,8221	
25	0,0066	6,6705	
30	0,0078	6,5694	
35	0,0090	6,4973	
40	0,0100	6,3168	
45	0,0112	6,2887	
50	0,0124	6,2662	
55	0,0135	6,2019	
60	0,0147	6,1904	
5	0,0012	6,0641	
10	0,0022	5,5588	
15	0,0032	5,3903	
20	0,0042	5,3061	
25	0,0052	5,2556	
30	0,0062	5,2219	
35	0,0071	5,1256	
40	0,0080	5,0534	
45	0,0089	4,9972	
50	0,0098	4,9524	
55	0,0107	4,9156	
60	0,0116	4,8850	
5	0,0008	4,0427	2

10	0,0012	3,0320	
15	0,0018	3,0320	
20	0,0024	3,0320	
25	0,003	3,0320	
30	0,0036	3,0320	
35	0,0042	3,0320	
40	0,0048	3,0320	
45	0,0054	3,0320	
50	0,006	3,0320	
55	0,0066	3,0320	
60	0,0072	3,0320	

C.1.3 Fluks Larutan Hasil Oksidasi Lanjut

Tabel C.3. Data Fluks Larutan Hasil Oksidasi Lanjut

Waktu (Menit)	Q (L)	J (L/m ² jam)	P (Bar)
5	0,0024	12,1282	4
10	0,0048	12,1282	
15	0,0068	11,4544	
20	0,0088	11,1175	
25	0,0108	10,9154	
30	0,0128	10,7806	
35	0,0148	10,6844	
40	0,0168	10,6122	
45	0,0188	10,5560	
50	0,0208	10,5111	
55	0,0228	10,4744	
60	0,0248	10,4438	
5	0,0020	10,1068	3

10	0,0038	9,6015	
15	0,0054	9,0962	
20	0,0072	9,0962	
25	0,0088	8,8940	
30	0,0104	8,7593	
35	0,0120	8,6630	
40	0,0136	8,5908	
45	0,0152	8,5347	
50	0,0168	8,4898	
55	0,0184	8,4530	
60	0,0200	8,4224	
5	0,0012	6,0641	
10	0,0022	5,5588	
15	0,0032	5,3903	
20	0,0042	5,3061	
25	0,0052	5,2556	
30	0,0062	5,2219	
35	0,0072	5,1978	
40	0,0082	5,1798	
45	0,0092	5,1657	
50	0,0102	5,1545	
55	0,0112	5,1453	
60	0,0122	5,1377	

C.2. Data Rejeksi *Crystal Violet*

Membran diuji rejeksinya terhadap zat warna CV dan produk hasil oksidasi tingkat lanjut dihitung dengan persamaan 3.2. Konsentrasi permeat diperoleh dari mensubstitusikan nilai absorbansi permeat ke dalam persamaan garis kurva larutan

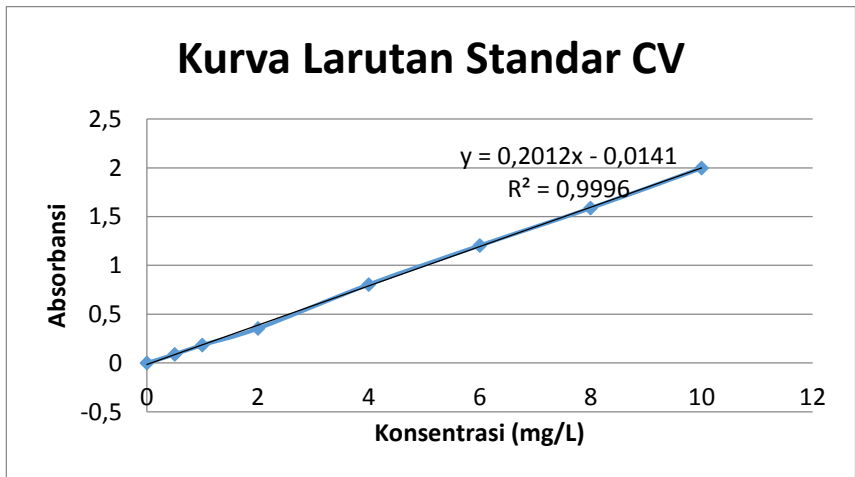
standar zat warna. Sebelum melakukan pembuatan kurva larutan standar dilakukan pencarian panjang gelombang maksimum terlebih dahulu untuk zat warna CV. Berikut data pencarian panjang gelombang maksimum untuk zat warna CV yaitu pada panjang gelombang 590 nm.

Tabel C.4. Data Pencarian Panjang Gelombang Maksimum pada Zat Warna CV

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
500	0,464
520	0,845
540	1,140
560	1,266
580	1,484
582	1,483
584	1,513
586	1,528
588	1,554
590	1,585
592	1,561
594	1,562
596	1,551
598	1,526
600	1,486

Tabel C.5. Data Absorbansi Larutan Zat Warna CV

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0	0,0000
0,5	0,0895
1	0,1850
2	0,3545
4	0,8055
6	1,2045
8	1,2045
8	1,5880
10	1,9980



Gambar C.1 Kurva Larutan Standar CV

Dari perhitungan menggunakan persamaan garis kurva larutan standar CV, dapat diperoleh data pada Tabel C.6, Tabel C.7, Tabel C.8, dan Tabel C.9.

Tabel C.6 Rejeksi CV pada Variasi Tekanan

Tekanan (P)	Absorbansi	Konsentrasi Permeat (mg/L)	Rejeksi (%)
4	0,194	1,0343	98,9657
3	0,016	0,1496	99,8504
2	0,008	0,1098	99,8902

Tabel C.7. Rejeksi CV Setelah Dioksidasi

Tekanan (P)	Absorbansi	Konsentrasi Permeat (mg/L)	Rejeksi (%)
4	0,003	0,0850	99,9150
3	0,002	0,0800	99,9200
2	0,002	0,0800	99,9200

Tabel C.8 Data Konsentrasi CV Pada Larutan Oksidasi Tingkat Lanjut dengan Variasi Konsentrasi FeSO₄

1000 mg/L H₂O₂; 200 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		
Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
15	1,813	9,081
20	1,353	6,795
27	1,065	5,363
33	0,910	4,593
38	0,232	1,223
43	0,055	0,343
49	0,007	0,035
1000 mg/L H₂O₂; 300 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		

Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
5	1,360	6,830
10	0,759	3,842
15	0,591	3,007
21	0,009	0,025
1000 mg/L H₂O₂; 500 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		
Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
5	0,486	2,486
10	0,025	0,194

Tabel C.9 Data Konsentrasi CV Pada Larutan Oksidasi Tingkat Lanjut dengan Variasi Konsentrasi H₂O₂

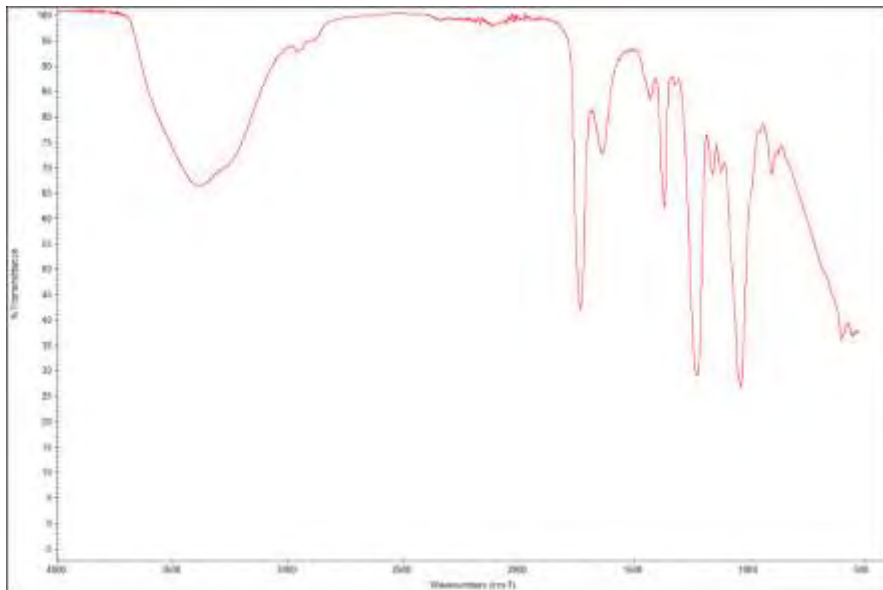
800 mg/L H₂O₂; 500 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		
Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
23	1,576	7,903
28	1,180	5,935
38	0,924	4,662
43	0,783	3,962
51	0,131	0,721
58	0,107	0,602
63	0,088	0,507
69	0,062	0,378
75	0,054	0,338
80	0,052	0,329
87	0,043	0,284
94	0,043	0,284
100	0,028	0,209
107	0,028	0,209
122	0,028	0,209
144	0,028	0,209

1000 mg/L H₂O₂; 500 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		
Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
15	1,813	9,081
20	1,353	6,795
27	1,065	5,363
33	0,910	4,593
38	0,232	1,223
43	0,055	0,343
1200 mg/L H₂O₂; 500 mg/L FeSO₄; 100 mg/L CV		
Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
0	-	100,000
17	1,826	9,145
22	1,359	6,824
27	1,097	5,522
32	0,972	4,901
37	0,800	4,046
42	0,187	0,999
47	0,098	0,557
53	0,037	0,254
58	0,015	0,145

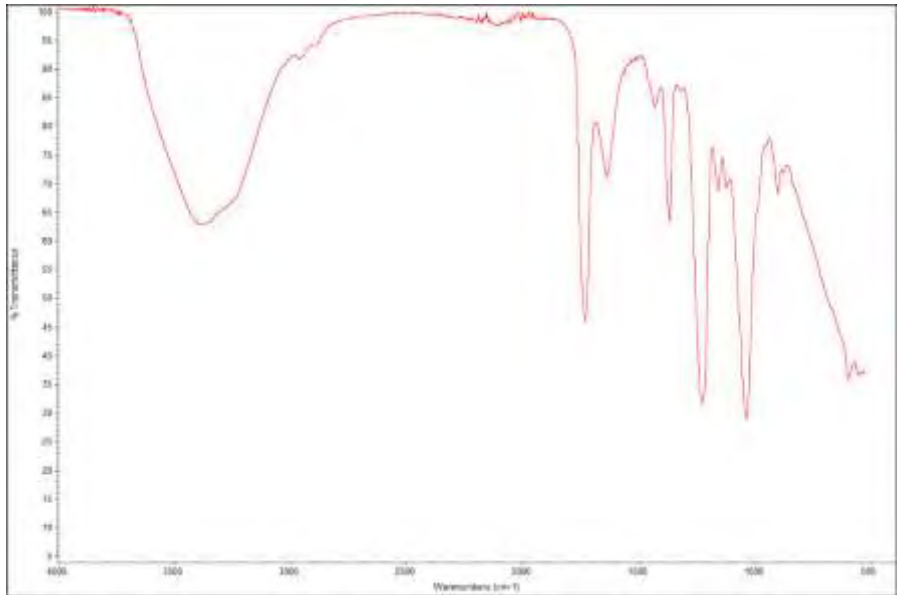
Lampiran D

Data dan Grafik Hasil Karakterisasi

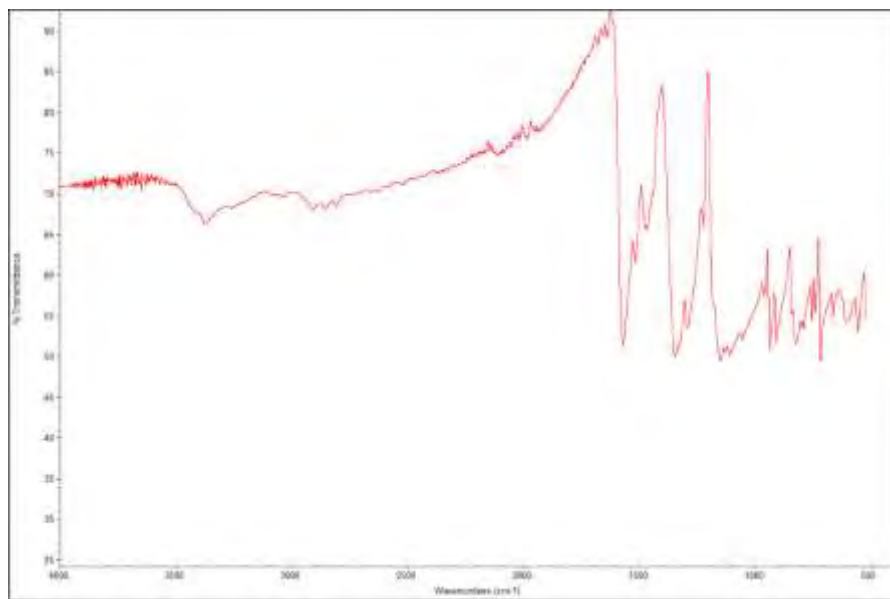
D.1. Data Fourier Transfer Infrared (FTIR)



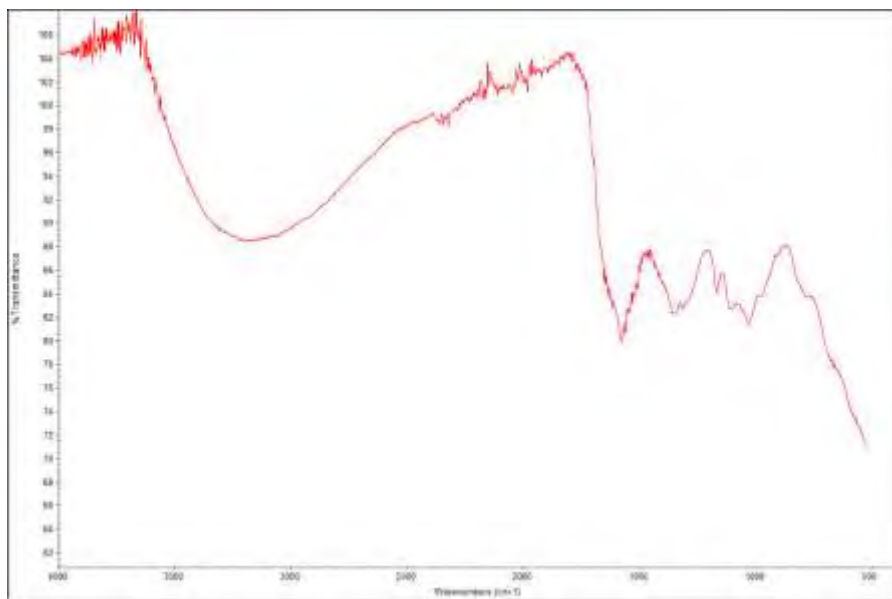
Gambar D.1. Spektra FTIR Membran Selulosa Asetat/PEG



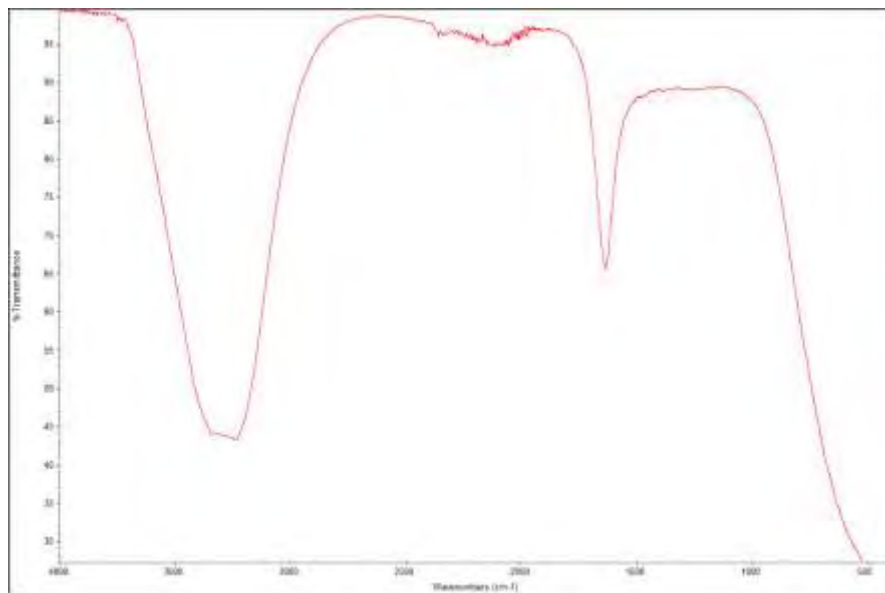
Gambar D.2. Spektra FTIR Membran Selulosa Asetat/PEG yang Sudah Digunakan untuk Filtrasi Larutan Hasil Oksidasi Lanjut Zat Warna CV



Gambar D.3. Spektra FTIR Zat Warna CV

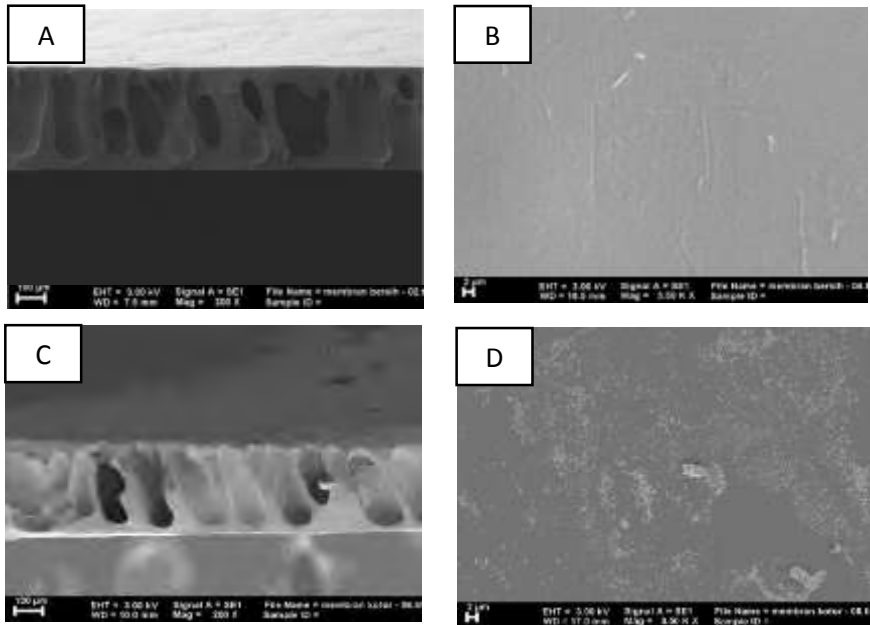


Gambar D.4. Spektra FTIR Produk Oksidasi Lanjut (*Sludge*)



Gambar D.5. Spektra FTIR Larutan Permeat (Larutan Oksidasi yang Difiltrasi dengan Membran)

D.2. Data Scanning Electron Microscopy (SEM)



Gambar D.6. Mikrograf membran selulosa asetat (A) tampak lintang membran sebelum dan (C) setelah dipakai, permukaan membran (B) sebelum dan (D) setelah dipakai.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rachmawati, lahir di Surabaya pada tanggal 6 Oktober 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis yaitu di SDI Raden Paku, SMP Negeri 19 dan SMK Farmasi Surabaya. Pada tahun 2012, penulis lulus dari jenjang SMA dan melanjutkan pendidikan di jurusan Kimia ITS melalui jalur SNMPTN dengan Nomor Registrasi Pokok 1412100046.

Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan berorganisasi. Penulis pernah aktif dalam Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) sebagai staff Departemen Riset dan Teknologi (2013-2014), sebagai Sahabat Mengajar IECC BEM ITS (2013-2014). Penulis pernah melakukan kerja praktik di BARISTAND Surabaya (Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya), dalam laboratorium kimia, lingkungan dan mikroorganisme pada tahun 2015. Pada masa akhir studi, penulis melakukan penelitian mengenai penghilangan zat warna *crystal violet* menggunakan metode gabungan AOP (*advanced oxidation process*) reagen fenton dan filtrasi membran selulosa asetat/PEG. Penelitian yang dilakukan penulis dibawah bimbingan Ibu Nurul Widiastuti. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan memberikan inspirasi untuk kemajuan ilmu pengetahuan. Penulis dapat dihubungi melalui *email* rahmawati30@ymail.com

“halaman ini sengaja dikosongkan”