



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENYIAPAN, PENCUCIAN, DAN APLIKASI
MEMBRAN BIOREAKTOR PADA PENGOLAHAN
AIR LIMBAH DOMESTIK**

RIZKA FAUZIA PUTRI
3313 100 102

DOSEN PEMBIMBING
ALIA DAMAYANTI ST., MT., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENYIAPAN, PENCUCIAN, DAN APLIKASI
MEMBRAN BIOREAKTOR PADA PENGOLAHAN
AIR LIMBAH DOMESTIK**

RIZKA FAUZIA PUTRI
3313 100 102

DOSEN PEMBIMBING
Alia Damayanti, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

PREPARATION, REGENERATION, AND APPLICATION MEMBRANE BIOREACTOR FOR DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT

RIZKA FAUZIA PUTRI
3313 100 102

SUPERVISOR
Alia Damayanti, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

PENYIAPAN, PENCUCIAN, DAN APLIKASI MEMBRAN BIOREAKTOR PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

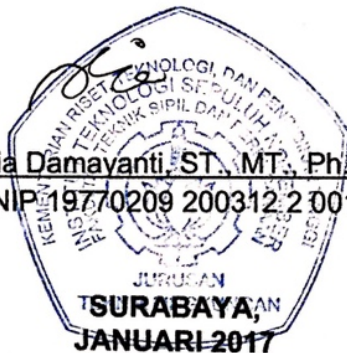
Oleh:

RIZKA FAUZIA PUTRI
NRP 3313 100 102

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D.

NIP. 19770209 200312 2 001



PENYIAPAN, PENCUCIAN, DAN APLIKASI MEMBRAN BIOREAKTOR PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK

Nama Mahasiswa : Rizka Fauzia Putri
NRP : 3313 100 102
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Alia Damayanti, ST., MT., PhD.

ABSTRAK

Air limbah mengandung lebih dari 99.9% cairan dan 0.1% padatan. Secara kualitatif, padatan limbah cair rumah tangga sebagian besar terdiri dari padatan organik yaitu protein (65%), karbohidrat (25%), dan lemak (10%). Sedangkan padatan non-organik terdiri dari grit, garam-garam dan logam berat, zat ini merupakan bahan pencemar utama bagi lingkungan. Salah satu teknologi pengolahan limbah yang sedang berkembang pesat adalah teknologi membran.

Pada penelitian ini digunakan 2 jenis variabel penelitian yaitu konsentrasi air limbah dan bahan kimia pencucian membran dengan menggunakan *cleaning agent*. Variasi konsentrasi air limbah yaitu pada COD 174 mg/L, 152 mg/L, dan 98 mg/L sedangkan TSS 357 mg/L, 282 mg/L, dan 195 mg/L. Variasi *cleaning agent* membran yaitu menggunakan larutan NaOCl 10% dan larutan lerak 15%.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh konsentrasi air limbah dan larutan pencuci terhadap koefisien rejeksi dan nilai fluks pada membran. Data koefisien rejeksi dan nilai fluks menentukan larutan pencuci yang terbaik untuk membran zeolit. Karakterisasi membran dilakukan dengan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Cleaning agent membran terbaik terhadap efektifitas kinerja membran zeolit adalah dengan larutan NaOCl 10%. Nilai koefisien rejeksi (%R) membran zeolit yang optimal pada membran yaitu 82% pada konsentrasi awal COD 174 mg/L dengan larutan NaOCl 10% dan 88% pada konsentrasi awal TSS 357 mg/L dengan larutan NaOCl 10%. Δ Nilai fluks (J) yang tinggi terjadi pada membran dengan larutan NaOCl 10% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 39.2 L/m².jam pada pencucian pertama dan 13.4

L/m².jam pada pencucian kedua. Sedangkan ΔNilai fluks (J) pada larutan lerak 15% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 8.1 L/m².jam pada pencucian pertama dan 10.0 L/m².jam pada pencucian kedua. *Scale up sidestream* MBR pada debit air limbah domestik 99 m³/hari yaitu membutuhkan volume pada tangki aerasi (4.8 x 4 x 3.3) m³ sebagai pengolahan biologis dan luas permukaan membran yang dibutuhkan 56.82 m² pada tahap filtrasi.

Kata kunci :COD, nilai koefisien rejeksi (%R), nilai fluks (J), limbah cair domestik, membran, zeolit, *scale up, sidestream* MBR, TSS.

PREPARATION, REGENERATION, AND APPLICATION MEMBRANE BIOREACTOR FOR DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT

Student : Rizka Fauzia Putri
Student ID Number : 3313 100 102
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Alia Damayanti, ST., MT., PhD.

ABSTRACT

Wastewater contains more than 99.9% liquid and 0.1% solid. Qualitatively, domestic wastewater mostly consist of organic solids, which are proteins (65%), carbohydrates (25%), and greases (10%). While the anorganic solids consist of grit, salts, and heavy metals, which are the main pollutants for environment. One of the advanced wastewater treatment technologies, is membrane technology.

In this research, two kinds of variables are used, they were the concentration of wastewater and the cleaning agent solutions for regeneration membrane. Variations in the concentration of wastewater that is at COD 174 mg/L, 152 mg/L, and 98 mg/L while TSS 357 mg/L, 282 mg/L, and 195 mg/L. Variations of cleaning agent solutions are NaOCl (liq) 10% and Lerak Solutions 15%.

The aims of this research to knew the effect of wastewater concentration and cleaning agent solution for rejection coefficient values and flux values of zeolite membrane. Characteristic of zeolite membrane will be analyzed by the method of SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

The best of cleaning agent solution for regeneration membrane was NaOCl (liq) 10%. The optimal rejection coefficient value of zeolite membrane is 82% with initial concentration of COD 174 mg/L and NaOCl (liq) 10% and 88% with initial concentration of TSS 357 mg/L and NaOCl (liq) 10% as well. The flux values (ΔJ) highest score for membrane happened when using NaOCl (liq) 10% and concentration of 100% wastewater, that result is 39.2 L/m².hour of the first cleaning process and 13.4 L/m².hour of the second cleaning process. While, The flux values (ΔJ) of lerak solution 15% and concentration of 100% wastewater is 8.1

L/m².hour of the first cleaning process and 10.0 L/m².hour of the second cleaning process. *Scale up* of MBR in the discharge of domestic wastewater 99 m³/day are volume in the aeration tank (4.8 x 4 x 3.3) m³ as biological treatment and surface area of membrane 56.82 m² as filtration process.

Key words :COD, rejection coefficient values, flux values, domestic wastewater, membrane, zeolite, scale up, sidestream MBR, TSS

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat, ridho dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tepat pada waktunya. Laporan tugas akhir dengan judul **“Penyiapan, Pencucian, Dan Aplikasi Membran Bioreaktor Pada Pengolahan Air Limbah Domestik”** dibuat sebagai persyaratan kelulusan di Jurusan Teknik Lingkungan. Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih dan rasa hormat atas segala bantuan yang telah diberikan kepada:

1. Ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberi ilmu, arahan dan saran dalam proses penyelesaian laporan tugas akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum M.App.Sc, Ibu Ir. RR. Atiek Moesriati, M.Kes, Bapak Dr. Ir. Mohammad Razif, MM, dan Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc selaku dosen penguji tugas akhir yang memberikan saran dan masukan kepada penulis.
3. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil. PhD selaku dosen wali, terima kasih atas dukungan dan nasihat yang telah diberikan.
4. Orang tua dan kakak yang selalu memberi doa, dukungan dan nasihat.
5. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS 2012, 2013, 2014 dan 2015 atas kerja sama dan dukungannya.

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Air Limbah Domestik.....	7
2.1.1 Karakterisasi Air Limbah Domestik.....	8
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	9
2.2 Membran.....	10
2.2.1 Definisi Membran.....	10
2.2.2 Klasifikasi Membran.....	12
2.2.3 Zeolit.....	13
2.2.4 Teknik Pembuatan Membran Zeolit.....	16
2.2.5 Aplikasi Industrial.....	18
2.3 Membran Bioreaktor.....	20
2.4 Jenis Arah Aliran Pada Pengoperasian Membran.....	22
2.4.1 Sistem <i>Dead-end</i>	22
2.4.2 Sistem <i>Cross-flow</i>	23
2.5 Transpor Pada Membran.....	24
2.6 Pencucian Membran.....	25
2.6.1 Jenis-jenis Larutan Pencuci.....	27
2.6.2 Proses Pencucian.....	29
2.6.3 Mekanisme Pencucian.....	30
2.7 Karakterisasi Membran.....	30
2.7.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	31
2.7.2 Permeabilitas Membran.....	32
2.7.3 Permeaselektivitas Membran.....	33

2.8 Penelitian Terdahulu	34
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Umum	37
3.2 Kerangka Penelitian.....	37
3.3 Ide Penelitian	39
3.4 Studi Literatur	39
3.5 Persiapan Penelitian.....	40
3.6 Pelaksanaan Penelitian	41
3.7 Variasi Penelitian	47
3.8 Pengaturan Membran pada Reaktor Cross-flow	48
3.9 Analisis Sampel	50
3.10 Analisis Morfologi.....	50
3.11 Analisis <i>Scale Up</i>	51
3.12 Analisis Data dan Pembahasan.....	52
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Analisis Karakteristik Air Limbah Domestik	53
4.2 Hasil Pengujian Membran dalam Reaktor	54
4.2.1 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning agent</i> dalam Membran Bioreaktor <i>Cross-Flow</i> terhadap Nilai Koefisien Rejeksi (%R) COD	55
4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning agent</i> dalam Membran Bioreaktor <i>Cross-Flow</i> terhadap Nilai Koefisien Rejeksi (%R) TSS	59
4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning agent</i> dalam Membran Bioreaktor <i>Cross-Flow</i> terhadap Nilai Fluks (J).....	63
4.3 Analisis Morfologi Membran Zeolit.....	72
4.4 Analisis <i>Scale Up</i>	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
Lampiran 1.....	93
Lampiran 2.....	95
Lampiran 3.....	97
Lampiran 4.....	99
Lampiran 5.....	103
Lampiran 6.....	105
Lampiran 7.....	107

Lampiran 8.....	111
-----------------	-----

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik (permukiman, Rumah Makan, Perkantoran, Perniagaan, Apartemen, Perhotelan dan Asrama)	10
Tabel 2. 2 Jenis Membran Berdasarkan Fungsi	13
Tabel 2. 3 Karakteristik Membran Zeolit	16
Tabel 2. 4 Upaya Pencucian Membran.....	27
Tabel 2. 5 Jenis-jenis Larutan Kimia Pencuci	28
Tabel 3. 1 Variabel Penelitian Pada Reaktor <i>Sidestream</i> MBR dengan Aliran <i>Cross-flow</i>	47
Tabel 3. 2 Metode Standar Pengujian BOD dan Kekeruhan	50
Tabel 4. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik Asrama Mahasiswa ITS.....	53
Tabel 4. 2 Konsentrasi COD dan TSS Air Limbah Domestik.....	54
Tabel 4. 3 Konsentrasi Air Limbah Domestik Setelah Proses Aerasi	54
Tabel 4. 4 Konsentrasi COD dan %R COD terhadap <i>Cleaning Agent</i> dan Konsentrasi Air Limbah Domestik.....	56
Tabel 4. 5 Konsentrasi TSS dan %R TSS terhadap <i>Cleaning Agent</i> dan Konsentrasi Air Limbah Domestik.....	60
Tabel 4. 6 Nilai Fluks Membran dengan Larutan NaOCl 10% ...	64
Tabel 4. 7 Nilai Fluks Membran dengan Larutan Lerak 15%	66
Tabel 4. 8 Nilai Fluks Membran dengan <i>Cleaning Agent</i>	70

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Skema Proses Membran (Mulder,1996).....	12
Gambar 2. 2	Proses pada Membran (Widayanti,2012)	13
Gambar 2. 3	Kerangka Zeolit (Ronaldo, 2008).....	14
Gambar 2. 4	Aliran <i>Dead-End</i> dan <i>Aliran Cross – Flow</i> (Baker, 2004).....	23
Gambar 2. 5	Fluks sebagai Fungsi dari Waktu (Rifaid,2002)	25
Gambar 2. 6	Perubahan Fluks Membran yang Dilalui Aliran <i>Permeate</i> dengan Adanya Pembersihan (<i>cleaning</i>) <i>Fouling</i> yang Terjadi pada Membran (Rifaid,2002).....	26
Gambar 2. 7	Skema Kerja SEM (Mulder,1996)	32
Gambar 3. 1	Skema Kerangka Penelitian	39
Gambar 3. 2	Proses Perendaman Zeolit dengan Larutan HCl 15% (a) Awal Perendaman dan (b) Setelah 24 Jam	42
Gambar 3. 3	Hasil Pemurnian Pasir Zeolit	43
Gambar 3. 4	Hasil (a) Sebelum Proses Sentrifugasi dan (b) Sesudah Proses Sentrifugasi 600 rpm	44
Gambar 3. 5	Proses Homogenisasi dan Sinkronisasi dengan <i>Magnetic Stirrer</i> dan <i>Ultrasonic</i> 10.000 Hz.....	44
Gambar 3. 6	Proses Pemanasan Zeolit, PVA, dan PEG Menggunakan <i>Hot Plate</i>	45
Gambar 3. 7	Proses Pencetakan Membran Zeolit.....	46
Gambar 3. 8	Membran Zeolit.....	46
Gambar 3. 9	<i>Cleaning agent</i> (a) Larutan NaOCl 10% dan (b) Larutan Lerak 15%.....	47
Gambar 3. 10	Skema <i>Sidestream</i> MBR dengan Aliran <i>Cross-flow</i>	49
Gambar 3. 11	<i>Sidestream</i> Membran Bioreaktor dengan Aliran <i>Cross-flow</i>	49
Gambar 3. 12	Proses <i>Vacuum</i> Membran	51
Gambar 3. 13	Proses <i>Coating</i> Permukaan Membran.....	51
Gambar 3. 14	<i>Chamber</i> SEM-EDX.....	51
Gambar 3. 15	<i>Control Monitoring</i>	51
Gambar 4. 1	Nilai Koefisien Rejeksi (%R) COD terhadap Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning Agent</i> Pada Membran Zeolit.....	57

Gambar 4. 2	Konsentrasi COD (mg/L) terhadap Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning Agent</i> Pada Membran Zeolit	58
Gambar 4. 3	Nilai Koefisien Rejeksi (%R) TSS Terhadap Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning Agent</i> Pada Membran Zeolit	61
Gambar 4. 4	Konsentrasi TSS (mg/L) Terhadap Konsentrasi Air Limbah dan <i>Cleaning Agent</i> Pada Membran Zeolit.....	62
Gambar 4. 5	Pengaruh Larutan NaOCl 10% Terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit	65
Gambar 4. 6	Pengaruh Larutan Lerak 15% Terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit	67
Gambar 4. 7	Pengaruh Larutan NaOCl 10% dan Larutan Lerak 15% Terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit.....	71
Gambar 4. 8	Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Permukaan (a) Perbesaran 500x	73
Gambar 4. 9	Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 1000x.....	73
Gambar 4. 10	Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Potongan Melintang Perbesaran 50x	74
Gambar 4. 11	Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Potongan Melintang Perbesaran 200x	74
Gambar 4. 12	Hasil Uji SEM Membran Setelah Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 500x.....	76
Gambar 4. 13	Hasil Uji SEM Membran Setelah Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 1000x.....	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah domestik menjadi salah satu permasalahan penting di Indonesia. Hal tersebut karena limbah domestik memiliki kandungan pencemar dan nutrient yang tinggi. Selain itu, air limbah domestik yang dibuang langsung ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan berbagai macam permasalahan dan mempengaruhi kualitas badan air (Hermana, 2010).

Penggunaan detergen, sampo, cairan pemutih, pewangi dan bahan kimia lainnya merupakan limbah cair domestik. Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001, tentang pengelolaan air di mana diwajibkan semua air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran umum.

Komposisi air limbah sebagian besar merupakan air, sisanya adalah partikel-partikel dari padatan terlarut (*disssolved solids*) dan partikel padat tidak terlarut (*suspended solids*). Limbah cair perkotaan mengandung lebih dari 99.9% cairan dan 0.1% padatan. Padatan dalam air limbah domestik terdiri dari padatan organik dan non-organik. Zat organik terdiri dari protein (65%), karbohidrat (25%) dan lemak (10%). Sedangkan padatan non-organik terdiri dari grit, garam-garam dan logam berat, zat ini merupakan bahan pencemar utama bagi lingkungan (Sugiharto, 1987).

Salah satu teknologi pengolahan limbah yang sedang berkembang pesat adalah teknologi membran. Membran adalah lapisan tipis yang dapat digunakan untuk memisahkan komponen yang berbeda berdasarkan sifat permeabilitasnya (Baker, 2004). Teknik pengolahan limbah menggunakan membran memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan teknologi ini adalah sederhana dalam proses operasional, dapat berlangsung dalam suhu kamar, memiliki sifat tidak destruktif, sehingga tidak menghasilkan perubahan (degradasi) dari zat yang dapat dipisahkan baik secara fisik maupun secara kimia, serta sebagian besar membran dapat digunakan kembali. Selain itu, pemisahannya pun dapat

berlangsung terus menerus serta tidak membutuhkan energi yang banyak.

Berdasarkan bahan pembuatnya, membran dibedakan menjadi membran organik alamiah dari selulosa dan sintetis serta membran anorganik (Chelme-Ayala *et al.*, 2009). Pada penelitian ini dibuat membran padat dengan bahan dasar pasir zeolit untuk mengolah air limbah domestik. Zeolit memiliki sifat yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi karena keunikan sifat fisik dan kimianya, diantaranya kemampuan dalam pertukaran ion (*ion exchange*) dan juga selektivitas penyerapan yang tinggi (Hristov *et al.*, 2012). Struktur pori zeolit yang berbeda-beda membuat zeolit banyak digunakan untuk pemisahan berbagai molekul kecil (Shan *et al.*, 2004). Zeolit alam memiliki kemampuan dalam berbagai proses kimia seperti adsorben, katalis, dan penukar ion. Membran zeolit memiliki struktur ukuran mikropori yang seragam, kestabilan termal, mekanik, dan kimia yang baik. Membran zeolit sebagai salah satu jenis membran anorganik, telah mendapat banyak perhatian karena memiliki kemampuan yang bagus dalam proses pemisahan cairan atau gas yang sangat sulit (Ronaldo, 2008).

Penelitian ini difokuskan pada pengujian kinerja membran zeolit terhadap pencucian membran yaitu untuk mengukur nilai koefisien rejeksi dan nilai fluks pada air limbah domestik kategori *gray water*. Nilai fluks dapat diketahui dari jumlah volume *permeate* yang dihasilkan per satuan luas permukaan per satuan waktu. Nilai fluks menggambarkan permeabilitas suatu membran yang merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau dan variasi volume limbah 100% (Rachmawati dan Damayanti, 2013). Nilai fluks yang paling optimum berbanding terbalik dengan nilai koefisien rejeksi (Puspayana dan Damayanti, 2013).

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor *sidestream* MBR dengan aliran *cross-flow*. Peran membran pada *sidestream* MBR yaitu sebagai pemisahan biomassa. Tujuannya adalah menggantikan bak sedimentasi sekunder pada proses pengolahan limbah lumpur aktif. Aliran *cross-flow* pada *transport* membran digunakan untuk mengurangi penumpukan material pada membran dengan menyapu material dari permukaan sehingga dapat memperlambat terjadinya *fouling* dini (Pusparini dan Isyaniarto, 2010). Pada metode *cross-flow*, *feed* mengalir melalui suatu membran, dimana hanya sebagian *feed* yang

melewati membran untuk menghasilkan *permeate*, sedangkan aliran pelarut atau cairan pembawa akan melewati permukaan membran. Larutan, koloid, dan padatan tersuspensi yang tertahan oleh membran akan terus terbawa menjadi aliran balik sehingga memperlambat kerja *fouling*. Beberapa senyawa anorganik penyebab *fouling* yang terdapat pada air limbah domestik yaitu CaCO_3 (Yang *et al.*, 2008), CaSO_4 (Antony *et al.*, 2011), SiSO_4 (Chesters, 2009). Peristiwa *fouling* ini mengakibatkan penurunan rejeksi, penurunan umur membran, hingga penggantian membran (Tang *et al.*, 2007). Pencucian membran merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi *fouling* pada membran (Greenlee *et al.*, 2009). Metode pencucian kimia membran telah mampu mengembalikan kondisi membran menjadi bersih, memperbaiki fluks membran, dan mampu memperpanjang umur membran (Arnal *et al.*, 2011). Membran yang memiliki kinerja terbaik dilakukan analisa morfologi membran dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Rachmawati dan Damayanti, 2013).

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk melakukan penyiapan membran, mencari larutan pencuci yang mampu meningkatkan kinerja membran dalam proses filtrasi, dan melakukan *scale up* kinerja membran bioreaktor. Sistem ini diharapkan dapat menyinghkan polutan yang terkandung dalam air limbah domestik dengan beberapa parameter uji yaitu COD dan TSS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang diambil yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *cleaning agent* membran terhadap efektifitas kinerja membran zeolit?
2. Berapa nilai koefisien rejeksi membran zeolit pada variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran?
3. Berapa nilai fluks membran zeolit pada variasi masa zeolit dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran?
4. Bagaimana *scale up* kinerja membran bioreaktor pada instalasi pengolahan air limbah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan *cleaning agent* membran terbaik terhadap efektifitas kinerja membran zeolit.
2. Menentukan nilai koefisien rejeksi membran zeolit pada variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran.
3. Menentukan nilai fluks membran zeolit pada variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran.
4. Menentukan *scale up* kinerja membran bioreaktor pada instalasi pengolahan air limbah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan referensi tentang teknologi membran terutama pada pengolahan air limbah domestik.
2. Menambah referensi penelitian pembuatan membran filter dengan material pembuatan berupa zeolit yang telah diketahui dapat digunakan dalam pengolahan air limbah domestik.
3. Memberikan alternatif pengolahan air limbah domestik menggunakan membran zeolit.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.
2. Sampel air limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah kategori *gray water* dari air limbah domestik di Asrama Mahasiswa ITS, Surabaya.
3. Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2016 – November 2016.
4. Parameter air limbah yang diukur dalam penelitian ini yaitu COD dan TSS.
5. Membran yang digunakan berbahan baku zeolit dengan variabel penelitian yaitu :

- Variasi konsentrasi air limbah
 - 100% air limbah
 - 75% air limbah : 25% air PDAM
 - 50% air limbah : 50% air PDAM
 - Variabel *cleaning agent* membran dengan menggunakan larutan NaOCl 10% dan larutan lerak 15%.
6. Aliran dalam reaktor yang digunakan adalah aliran *cross-flow* pada *sidestream* MBR.
 7. Kecepatan *centrifuge* yaitu 600 rpm.
 8. Besarnya efektifitas membran untuk penyisihan COD dan TSS dinyatakan nilai rejeksi (%R) dan hasil *permeate* dinyatakan dalam nilai fluks (J).
 9. *Scale up* kinerja membran bioreaktor pada instalasi pengolahan air limbah.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan pada Pasal 1 ayat 1, bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (*restaurant*), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama. Berdasarkan sumbernya, air limbah memiliki komposisi yang sangat bervariasi. Namun secara umum jenis-jenis kontaminan pada air limbah domestik khususnya pada parameter COD yaitu memiliki kisaran 250 – 1000 mg/L dengan rata-rata konsentrasi yaitu 500 mg/L, sedangkan padatan tersuspensi yaitu 100 – 350 mg/L dengan rata-rata konsentrasi 220 mg/L (Tchobanoglous *et al.*, 2013).

Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pada ayat 14 disebutkan bahwa Air Limbah adalah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair.

Secara prinsip air limbah domestik terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu air limbah yang terdiri dari air buangan tubuh manusia yaitu tinja dan urine (*black water*) dan air limbah yang berasal dari buangan dapur dan kamar mandi (*gray water*), yang sebagian besar merupakan bahan organik (Veenstra, 1995).

Komposisi limbah cair sebagian besar merupakan air sisanya adalah partikel-partikel dari padatan terlarut (*dissolved solids*) dan partikel padat tidak terlarut (*suspended solids*). Limbah cair perkotaan mengandung lebih dari 99.9% cairan dan 0.1% padatan. Padatan dalam limbah cair ini terdiri dari padatan organik dan non-organik. Zat organik terdiri dari protein (65%), karbohidrat (25%) dan lemak (10%). Sedangkan padatan non-organik terdiri dari grit, garam-garam dan logam berat, zat ini merupakan bahan pencemar utama bagi lingkungan (Sugiharto, 1987).

Secara kualitatif limbah rumah tangga sebagian besar terdiri dari zat organik baik berupa padatan maupun cair, garam, lemak dan bakteri, khususnya bakteri golongan *E. coli*, jasad patogen, dan parasit (Nurmayanti, 2002).

Kualitas suatu air limbah akan dapat terindikasi dari kualitas parameter kunci, dimana konsentrasi parameter kunci tidak melebihi dari standar baku mutu yang ada sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Mengingat air limbah domestik kandungan terbesar adalah bahan organik, maka parameter kunci yang umum digunakan adalah BOD, COD dan lemak/minyak. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, maka parameter kunci untuk air limbah domestik adalah BOD, TSS, pH serta lemak & minyak.

2.1.1 Karakterisasi Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah domestik, baik secara fisik, kimia maupun biologis, adalah sebagai berikut :

a. Karakteristik fisik limbah cair

Karakteristik awal limbah cair yang sangat mudah terlihat adalah karakteristik fisik limbah cair. Penentuan derajat pencemaran air limbah juga sangat mudah terlihat dari karakteristik fisiknya. Salah satu hal yang mempengaruhi karakteristik fisik ini adalah aktivitas penguraian bahan-bahan organik pada air buangan oleh mikroorganisme. Penguraian ini akan menyebabkan kekeruhan. Selain itu, kekeruhan juga dapat terjadi akibat lumpur, tanah liat, zat kolid dan benda-benda terapung yang tidak segera mengendap.

Penguraian bahan-bahan organik juga menimbulkan terbentuknya warna. Selain itu, penguraian bahan-bahan organik yang tidak sempurna dan menyebabkannya menjadi busuk dapat menimbulkan bau. Beberapa karakteristik fisik yang penting dalam limbah cair, antara lain warna, bau adanya endapan atau zat tersuspensi dari lumpur limbah dan temperatur (Siregar, 2005).

b. Karakteristik biologis limbah cair

Karakteristik biologis limbah cair biasanya dipengaruhi oleh kandungan mikroorganisme dalam limbah cair tersebut. Karakteristik biologis terdiri dari mikroorganisme yang terdapat di dalam air limbah, seperti bakteri, virus, jamur, ganggang, dan protozoa (Siregar, 2005). Karakteristik biologis ini penting, terutama dalam hubungannya dengan air minum serta untuk keperluan kolam renang.

Mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian bahan-bahan organik di dalam limbah cair domestik, antara lain bakteri, jamur, protozoa dan algae. Bakteri adalah mikroorganisme bersel satu yang menggunakan bahan organik dan anorganik sebagai makannya. Bakteri yang memerlukan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik disebut bakteri aerob, sedangkan yang tidak memerlukan oksigen disebut bakteri anaerob (Sugiharto, 1987).

c. Karakteristik kimia limbah cair

Berdasarkan karakteristik kimianya, senyawa kimia yang terkandung dalam air limbah terdiri dari tiga golongan, yaitu :

- Senyawa organik, senyawa ini terdiri atas :

Protein	= 40% - 60%
Karbohidrat	= 25% - 50%
Lemak	= 10%
- Senyawa anorganik, kelompok senyawa anorganik yang berpengaruh terhadap air limbah adalah nitrogen, fosfat dan sulfat.
- Gas, gas yang paling umum terdapat dalam air limbah adalah gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen.

2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan pada Pasal 1 ayat 2, bahwa baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah domestik yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan. Baku mutu efluen air limbah domestik yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Hal ini karena peraturan tersebut adalah yang terbaru dan berlaku saat ini pada lokasi penelitian. Parameter efluen yang telah ditetapkan terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik
(Permukiman, Rumah Makan, Perkantoran, Perniagaan,
Apartemen, Perhotelan dan Asrama)

Baku Mutu Air Limbah Domestik Volume Limbah Cair Maksimum 120 L/(orang.hari)	
Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD ₅	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
pH	6 – 9

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

2.2 Membran

2.2.1 Definisi Membran

Membran adalah lapisan tipis yang dapat digunakan untuk proses pemisahan komponen yang berbeda berdasarkan sifat permeabilitasnya. Perbedaan sifat permeabilitas merupakan landasan utama pada proses membran untuk diterapkan di berbagai bidang khususnya industri kimia. Pemisahan menjadi aplikasi industri yang utama pada teknologi membran selama 15 tahun terakhir namun pada kenyataannya studi pemisahan telah dimulai jauh sebelum periode tersebut (Baker, 2004).

Membran memiliki berbagai macam keunggulan, namun penggunaan membran juga mempunyai keterbatasan yaitu terjadinya *fouling* atau *pore blockage* pada membran, dan jangka hidup membran yang relatif singkat (Mulder, 1996).

Membran terdiri dari bahan alami dan bahan sintesis. Bahan alami adalah bahan yang berasal dari alam misalnya pulp dan kapas, sedangkan bahan sintesis dibuat dari bahan kimia, misalnya polimer (Abanmy dan Yoshio, 1992). Material membran yang banyak digunakan adalah polimer, karena kemudahannya dalam proses pembuatan dengan karakteristik membran yang dapat divariasikan sesuai dengan performa yang diinginkan. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari *feed* yang mempunyai ukuran

lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut *permeate*. Filtrasi dengan menggunakan membran selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan pada membran tersebut.

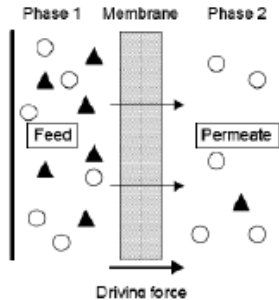
Menurut Mulder (1996), molekul atau partikel yang dipindahkan melalui membran dari fasa satu ke fasa yang lain disebabkan oleh adanya:

- Gradien temperatur (ΔT), contohnya: membran destilasi
- Gradien konsentrasi (ΔC), contohnya: dialysis, pervaporasi
- Gradien tekanan (ΔP), contohnya: mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, *reverse osmosis*
- Gradien energi (ΔE), contohnya: elektrodialisis

Skema proses yang terjadi pada membran dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Menurut Agustina (2005), teknologi membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses lain, antara lain:

- Proses pemisahan dapat dilakukan secara kontinyu.
- Kebutuhan energi yang digunakan relatif lebih rendah.
- Teknologi membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*).
- Proses pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah diciptakan.
- Mudah dalam *scale up* membran.
- Tidak dibutuhkan bahan tambahan.
- Material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan penggunaannya.



Gambar 2. 1 Skema Proses Membran (Mulder,1996)

2.2.2 Klasifikasi Membran

Menurut Cui dan Muralidhara (2010), berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan membran dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

1. Membran berpori (pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran)
2. Membran tidak berpori (pemisahan berdasarkan perbedaan kelarutan dan kemampuan berdifusi)

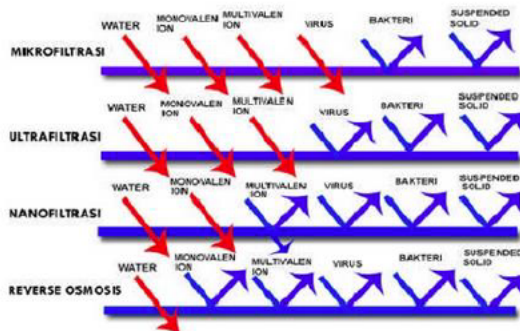
Menurut Wenten (1995), jenis membran mempunyai ketebalan yang berbeda-beda. Pada membran MF ketebalan pada membran yaitu antara 10 – 150 μm . Membran UF memiliki ketebalan yaitu 150 μm (monolitik untuk beberapa keramik). Membran NF memiliki ketebalan diantaranya pada sublayer 150 μm dan toplayer 1 μm . Membran RO mempunyai struktur yang asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan *dense* serta matrik penyokong dengan ketebalan pada membran 50 – 150 μm . Ketebalan pada membran akan mempengaruhi proses pemisahan dan nilai fluks pada membran tersebut.

Berdasarkan tekanan sebagai gaya dorongnya dan permeabilitasnya serta fungsinya, membran dapat dibedakan menjadi 4 (empat) jenis yaitu (Mulder,1996):

Tabel 2. 2 Jenis Membran Berdasarkan Fungsi

No.	Jenis Membran	Ukuran Pori	Tekanan	Fungsi
1.	Mikrofiltrasi (MF)	0.1 – 5 μm	< 2 bar	Memisahkan suspense dan koloid
2.	Ultrafiltrasi (UF)	1 – 100 nm	1 – 10 bar	Memisahkan makromolekul
3.	Nanofiltrasi (NF)	< 2 nm	5 – 25 bar	Memisahkan komponen terlarut yang mempunyai berat molekul rendah
4.	Reverse Osmosis (RO)	< 2 nm	Air Payau : 15 – 25 bar Air Laut : 40 – 80 bar	Memisahkan komponen terlarut

Sumber: Mulder, 1996



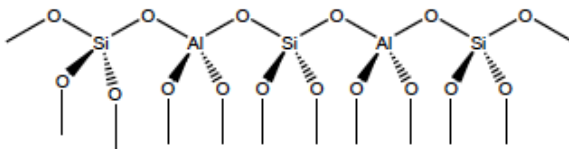
Gambar 2. 2 Proses pada Membran (Widayanti,2012)

2.2.3 Zeolit

Zeolit alam telah banyak digunakan untuk berbagai pengolahan air limbah. Zeolit memiliki karakteristik kimia dan fisika yang unik. Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas

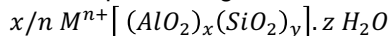
permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Yuanita, 2009).

Struktur pori zeolit alam beragam, memiliki ketahanan termal dan kekuatan mekanisme serapannya yang baik, serta tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrim. Struktur pori zeolit yang berbeda-beda membuat zeolit banyak digunakan untuk pemisahan berbagai molekul kecil (Shan *et al.*, 2004). *Framework* zeolit terdiri dari gugus gabungan jaringan dari T atom berbentuk (T=Si, Al, dan lain-lain) dihubungkan oleh ion oksigen.



Gambar 2. 3 Kerangka Zeolit (Ronaldo, 2008)

Zeolit memiliki rumus empiris sebagai berikut:



Komponen utama dalam zeolit adalah alumina-silikat yang membentuk kerangka struktur tiga dimensi antara AlO_4 dan SiO_4 tetrahedral yang dihubungkan melalui atom O. Muatan ini selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk menghasilkan senyawa yang stabil. (Thamzil, 2008).

Dilihat dari susunan kerangka zeolit, menurut *Atlas of Zeolite Framework Type*, saat ini terdapat kurang lebih 133 struktur kerangka zeolit, baik zeolit alam maupun zeolit sintetis. Tiap jenis zeolit memiliki selektivitas dan sifat yang berbeda. Jenis-jenis zeolit dibedakan berdasarkan rasio Si/Al ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Zeolit dapat digunakan dalam proses filtrasi limbah secara langsung karena porositas yang dimiliki. Peningkatan kemampuan penyerapan limbah dapat dilakukan proses aktivasi zeolit. Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika dilakukan dengan proses pemanasan pada suhu tertentu untuk menghilangkan kandungan air dan meningkatkan porositas. Pemanasan juga dapat meningkatkan situs asam pada kerangka zeolit. Proses pengaktifan zeolit dapat menggunakan asam seperti HCl atau garam seperti NaCl dan NH_4Cl (Mursi dan Minta, 1994).

Zeolit memiliki sifat yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi karena keunikan sifat fisik dan kimianya, diantaranya kemampuan dalam pertukaran ion (*ion exchange*) dan juga selektivitas penyerapan yang tinggi (Hristov *et al.*, 2012). Kemampuan zeolit sebagai *ion exchanger* telah lama diketahui dan digunakan sebagai penghilang polutan kimia (Fach *et al.*, 2002). Dalam air zeolit juga ternyata mampu mengikat bakteri *E. coli* (Yudhastuti, 1993). Kemampuan ini bergantung pada laju penyaringan dan perbandingan volume air dengan massa zeolit. Tetapi, untuk logam variabel-variabel yang mempengaruhi efektivitas penukaran kation belum diketahui. Contoh pemanfaatan zeolit adalah sebagai adsorben, katalis, penukar ion dan membran. Zeolit sebagai adsorben adalah pengikatan senyawa dan molekul tertentu yang hanya terjadi di permukaan. Proses itu terjadi akibat adanya interaksi secara fisik oleh gaya *van der Waals* dan interaksi kimia dengan adanya sifat elektrostatis. Membran zeolit sebagai salah satu jenis membran anorganik, telah mendapat banyak perhatian karena menunjukkan performa yang bagus untuk pemisahan cairan atau gas yang sangat sulit (Ronaldo, 2008).

Menurut Akbary (2009), karakteristik penting dari zeolit berikut ini menjadikan zat ini cukup banyak digunakan yaitu :

1. Zeolit dapat menjadi penyeleksi dalam pertukaran ion.
2. Pori zeolit dapat menyimpan beberapa molekul serta dapat menyeleksi ukuran molekul tertentu.
3. Dapat menjadi katalis solid yang bersifat asam.
4. Zeolit merupakan zat yang metastabil dalam keadaan tertentu (pH dan temperatur).

Membran yang dibuat dari material alam zeolit tergolong dalam membran mikropori dengan kategori jenis membran yaitu nanofiltrasi. Proses pemisahan dengan membran ini berdasarkan dua prinsip yaitu pemisahan berdasarkan ukuran pori dan adsorpsi atau penyerapan ke dalam kerangka zeolit ataupun efek difusi. Membran zeolit dapat diaplikasikan dalam kondisi temperatur yang tinggi maupun tekanan yang tinggi.

Tabel 2. 3 Karakteristik Membran Zeolit

Nama Zeolit	Ukuran Pori (A)	Rasio Si/Al	Struktur
Type A	3,2 – 4,3	1	3D
ZSM-5	5,1 – 5,6	10 – 500	2D
Silicalite 1	5,1 – 5,6	∞	2D
Theta-1	4,4 – 5,5	> 10	1D
Offretite	3,6 – 6,7	3 – 4	3D
Mordenite	2,6 – 7	5 – 6	2D
Fujasite	7,4	1,5 – 3	3D

Sumber: Mulder, 1996

2.2.4 Teknik Pembuatan Membran Zeolit

Menurut Pratama (2010), semua jenis material sintetik berbeda dapat digunakan untuk pembuatan membran. Material yang digunakan bisa berupa anorganik seperti logam, keramik, gelas, atau organik mencakup semua polimer. Tujuannya adalah untuk memodifikasi material melalui teknik yang cocok untuk memperoleh struktur membran dengan morfologi yang cocok untuk pemisahan. Teknik persiapan membran diantaranya:

a. *Sintering*

Bahan membran yang digunakan adalah bubuk yang memiliki ukuran partikel tertentu. Bubuk tersebut ditekan dan dipanaskan pada suhu yang tinggi, sehingga antar muka partikel yang berdekatan akan menghilang dan timbul pori-pori. Metode ini digunakan untuk menghasilkan membran mikrofiltrasi organik dan anorganik yang berpori, dengan ukuran pori antara 0.1-10 μm .

b. *Stretching*

Pada metode ini membran yang terbuat dari polimer semikristalin ditarik searah dengan arah ekstrusi, sehingga bagian kristalin dari polimer terletak sejajar dengan arah ekstrusi. Porositas membran dihasilkan dengan metode ini lebih banyak dibandingkan dengan metode *sintering*. Pori yang terbentuk berukuran 0.1-3 μm .

c. *Track-etching*

Metode ini dikenal dengan metode litografi. Membran dari polimer ditembak dengan partikel radiasi berenergi tinggi pada arah tegak lurus terhadap membran. Partikel radiasi

akan membentuk lintasan pada matriks membran. Pada saat membran dimasukkan kedalam bak asam atau basa, maka membran polimer akan terbentuk sepanjang lintasan. Pori yang dihasilkan berukuran seragam (simetri) dan distribusi pori sempit (porositas menurun). Ukuran pori yang diperoleh berkisar antara 0.02-10 μm .

d. *Template leaching*

Teknik ini dilakukan dengan melepas salah satu komponen membran, sehingga dihasilkan membran berpori. Sebagai contoh leburan homogeni dari komponen sistem ($\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) didinginkan dan sistem akan memisah menjadi dua fasa. Fasa pertama adalah fasa yang tidak larut dan mengandung SiO_2 , sedangkan fasa kedua adalah fasa yang larut. Fasa kedua ini dilepas dengan penambahan asam atau basa. Ukuran pori yang dihasilkan bervariasi dengan ukuran minimum sekitar 5 nm.

e. *Coating*

Polimer membran yang rapat akan menghasilkan nilai fluks yang rendah. Untuk meningkatkan laju fluks, maka ketebalan membran harus diperkecil dengan membentuk membran komposit. Membran komposit terdiri atas dua material yang sangat selektif diletakkan dibagian atas membran. Selektivitas membran akan ditentukan oleh lapisan atas ini. Sedangkan pada lapisan bawahnya dilapisi dengan material berpori besar. *Coating* dapat dilakukan dengan cara *dip coating*, polimerisasi plasma, polimerisasi antar muka, dan polimerisasi *in situ*.

f. *Phase Inversion* (inversa fasa)

Inversa fasa adalah proses transformasi polimer dari fasa cair ke fasa padat dengan kondisi terkendali. Proses pengendapan diinisiasi oleh keadaan dari satu cairan menjadi dua cairan yang saling campur (*liquid-liquid demixing*). Campuran salah satu fasa cair yang mengandung polimer berkonsentrasi tinggi akan memadat dan membentuk matriks sehingga morfologi membran dapat diatur.

2.2.5 Aplikasi Industrial

Menurut Wenten (2016), teknologi membran telah diaplikasikan di berbagai sektor industri sehingga dapat dikatakan bahwa teknologi membran memiliki peran strategis dalam pengembangan industri dan pembangunan yang berkelanjutan. Peran strategis membran diantaranya yaitu aplikasi dalam bidang medis, bioseparasi, *biorefinery*, industri makanan dan minuman, pengolahan air dalam skala besar, reklamasi air dengan bioreaktor membran, pembangkitan energi, dan pemisahan gas.

a. Aplikasi Medis

Salah satu aplikasi teknologi membran dalam bidang medis adalah cuci darah atau *hemodialysis*, yang telah digunakan untuk pasien gagal ginjal. Membran yang digunakan untuk proses cuci darah ini disebut *hemodialyzer* atau *dialyzer*. *Dialyzer* berfungsi sebagai lapisan *semipermeable* yang mengontrol transfer urea dan produk sisa metabolisme lainnya dari darah ke cairan dialisat. Selain untuk cuci darah, membran dapat digunakan sebagai oksigenator darah. Oksigenator darah digunakan sebagai tindakan operasi apabila paru-paru pasien tidak dapat berfungsi normal (Wenten, 2016).

b. Bioseparasi dan *Biorefinery*

Teknologi membran sangat cocok untuk pemrosesan molekul biologis karena dapat dioperasikan pada temperatur dan tekanan relatif rendah, serta tidak melibatkan perubahan fasa sehingga meminimalisasi tingkat denaturasi, deaktivasi, atau degradasi produk-produk biologis. Salah satu aplikasi yaitu pada membran UF yang digunakan sebagai pemisahan sel dari produk ekstraseluler seperti antibiotik sefamisin C yang merupakan produk metabolis sekunder dari *Nocardia* sp. Selain itu, UF juga dapat digunakan sebagai pemisahan dan pemekatan enzim dan protein yang diproduksi dari kaldu fermentasi (Wenten, 2016).

c. Industri Makanan dan Minuman

Industri makanan dan minuman merupakan bidang strategis lainnya yang telah banyak menggunakan teknologi membran. Dalam industri susu, teknologi membran menghasilkan proses yang lebih efisien

dibandingkan teknologi konvensional dan menghasilkan produk yang lebih berkualitas. Salah satu contoh yaitu pada proses penyisihan bakteri, membran MF dapat mencapai derajat penyisihan hingga lebih dari 99%. Selain industri susu, teknologi membran telah digunakan dalam pemrosesan jus buah. Klarifikasi jus menggunakan membran MF dan UF memiliki beberapa keunggulan dibanding proses-proses konvensional, antara lain yaitu dapat mengurangi konsumsi enzim, eliminasi *fining agent*, dan proses lebih sederhana. Membran pun memiliki peran dalam proses produksi bir diantaranya pada pengambilan bir dari cairan bagian bawah tangki, klarifikasi bir, dan dealkoholisasi bir (Wenten, 2016).

d. Pengolahan Air

Proses berbasis membran telah menjadi alat yang sangat penting dalam pengelolaan air dan rekayasa lingkungan terkait air karena keunggulannya dari sudut pandang teknis, ekonomi, dan ekologi. Salah satu aplikasi membran pertama adalah konversi air laut menjadi air tawar dengan membran RO. Selain RO, nanofiltrasi juga merupakan teknologi membran yang banyak diaplikasikan pada pengolahan air dalam skala besar terutama pada pengolahan air permukaan. Plant nanofiltrasi dengan kapasitas terbesar yang berjalan saat ini berada di Boca Raton, Florida dengan kapasitas 40 mgd ($150.000 \text{ m}^3/\text{hari}$) (Wenten, 2016).

e. Membran Bioreaktor untuk Reklamasi Air

MBR merupakan salah satu teknologi membran yang telah banyak digunakan dalam pengolahan air limbah. Sistem MBR pada dasarnya terdiri atas kombinasi unit membran yang berperan dalam pemisahan fisik, dan sistem reaktor biologi yang berperan dalam degradasi komponen limbah. MBR dapat menggantikan proses konvensional seperti sistem lumpur aktif dan klarifier. Sistem MBR memanfaatkan membran MF atau UF untuk menyisihkan flok-flok bakteri dan padatan terlarut. Salah satu contoh plant MBR skala esar adalah Plant MBR di Transverse city, Michigan yang memiliki kapasitas $64.000 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Wenten, 2016).

f. *Fuell Cell* : Pembangkit Energi Masa Depan

Teknologi membran menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam bidang energi, yaitu untuk menghasilkan energi terbarukan yang bersih. Di antara beberapa alternatif pembangkit energi bersih yang menjanjikan adalah *fuel cell*. *Fuel cell* memungkinkan konversi secara langsung dari energi kimia menjadi energi listrik, panas, dan air dengan perolehan yang tinggi karena tidak dibatasi oleh batasan siklus karnot. Salah satu *plant Proten Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) skala besar yang memiliki kapasitas 1 MW berada di SolVin Plant di Lillo, Antwerp, Belgia (Wenten, 2016).

g. Pemisahan Gas

Teknologi membran banyak berperan juga dalam industri kimia, yaitu pada proses pemisahan campuran gas, karena beberapa keunggulan yang ditawarkan yaitu penggunaan alat yang lebih ringan, intensitas pekerja yang rendah, desain modular sehingga memudahkan ekspansi dan operasi dalam kapasitas parsial, *maintenance* yang rendah, konsumsi energi yang rendah, dan biaya yang rendah. Aplikasi membran dalam pemisahan gas antara lain pada gas murni atau yang telah diperkaya seperti H_2 , N_2 , dan O_2 dari udara, pemisahan gas asam seperti CO_2 dan H_2S , pemulihan H_2 dan berbagai aplikasi lainnya (Wenten, 2016).

2.3 Membran Bioreaktor

Menurut Li *et al.* (2008), *membrane bioreactor* (MBR) merupakan suatu sistem pengolahan air limbah yang mengaplikasikan penggunaan membran yang terendam di dalam bioreaktor atau di luar bioreaktor. Proses yang terjadi di dalam bioreaktor memiliki kesamaan dengan lumpur aktif konvensional (*conventional activated sludge*, CAS), di mana zat organik di dalam air limbah akan didegradasi secara biologis oleh mikroorganisme aerob kemudian terjadi pemisahan solid (lumpur). Bedanya, pada MBR proses pemisahan solid dilakukan menggunakan membran sementara pada CAS pemisahan solid dilakukan secara gravitasi di dalam tangki pengendap.

Pemilihan membran untuk bioreaktor membran baik yang berfungsi hanya sebagai unit pemisah ataupun sebagai reaktor dan unit pemisah sekaligus adalah sifat kehidrofilikan, stabilitas membran terhadap bahan kimia, termal dan mekanik, dan karakteristik perpindahan massa. Menurut Wenten (1995), besarnya *driving force* bergantung pada karakteristik membran seperti porositas, ketebalan membran, diameter pori dan geometri pori (*pore tortosity*).

Porositas (ϵ)

Porositas membran didefinisikan sebagai fraksi volume pori terhadap volume total yang ditempati oleh membran. Kebanyakan membran mikroporous komersial memiliki porositas antara 0,30 – 0,80. Porositas yang setinggi mungkin sangat diharapkan, namun perlu diperhatikan kekuatan mekaniknya. Pada umumnya membran dengan porositas tinggi memiliki ketebalan yang lebih tinggi pula.

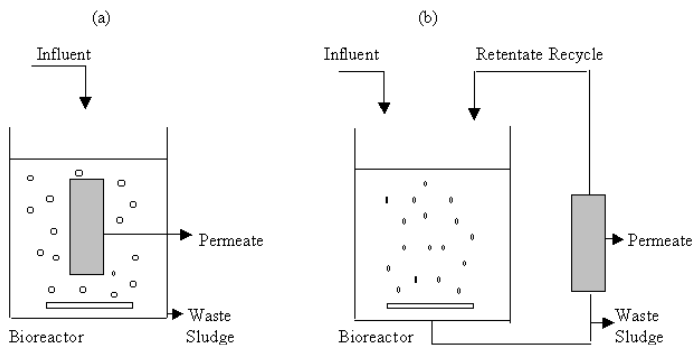
Ketebalan (l)

Ketebalan membran sebaiknya setipis mungkin, tetapi umumnya disesuaikan dengan kekuatan mekanik yang diinginkan. Kebanyakan membran mikroporous komersial memiliki ketebalan antara 10 – 150 μm .

Ukuran pori (r_p)

Makin tinggi ukuran pori makin kecil *driving force* untuk mengeluarkan media di dalam pori. Jika ukuran pori terlalu kecil, permeabilitas membran akan rendah. Berkaitan dengan penggunaan membran untuk bioreaktor membran, membran yang sesuai adalah ultrafiltrasi (1 – 100 nm) dan mikrofiltrasi (0,05 – 10 μm). Ukuran pori umumnya dinyatakan pada rentang tertentu, dan ukuran pori yang terukur bergantung pada metode pengukurannya.

Terdapat dua konfigurasi MBR yang tergantung pada letak membran terhadap bioreaktor, yaitu *submerged* MBR dan *sidestream* MBR pada Gambar 2.4. Pada *submerged* MBR, membran terletak di dalam bioreaktor sehingga proses filtrasi langsung dilakukan di dalam reaktor. Sementara itu, pada *sidestream* MBR proses filtrasi dilakukan di luar bioreaktor melalui aliran resirkulasi.



Gambar 2. 4 Konfigurasi (a) *Submerged MBR* dan (b) *Sidestream MBR* (Malia dan Till, 2001)

Perbandingan antara kedua konfigurasi MBR dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Perbandingan *Submerged MBR* dan *Sidestream MBR*

	<i>Submerged MBR</i>	<i>Sidestream MBR</i>
Biaya aerasi	Tinggi	Rendah
Biaya Pemompaan	Sangat rendah, kecuali jika digunakan pompa hisap	Tinggi
Ukuran (<i>footprint</i>)	Lebih besar	Lebih kecil
Kebutuhan untuk proses pembersih	Lebih sedikit	Lebih tinggi
Biaya Operasional	Lebih rendah	Lebih tinggi
Biaya Investasi	Lebih tinggi	Lebih rendah

Sumber : Malia dan Till, 2001

2.4 Jenis Arah Aliran Pada Pengoperasian Membran

Terdapat dua jenis arah aliran pada pengoperasian membran yaitu sistem *dead-end* dan *cross-flow*.

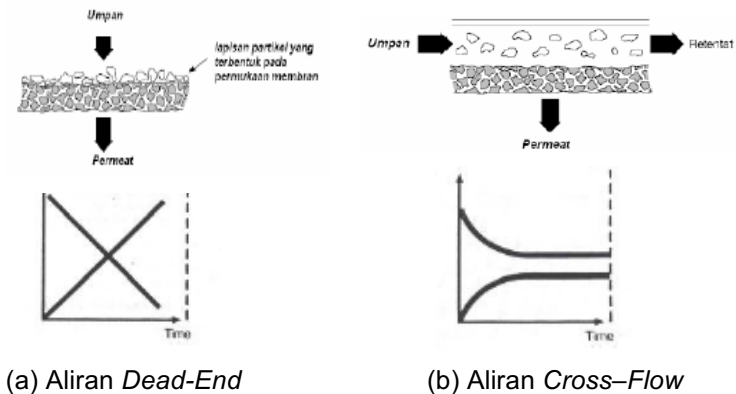
2.4.1 Sistem *Dead-end*

Pada sistem operasi ini, arah aliran *feed* yang digunakan tegak lurus terhadap membran. Sistem ini memiliki kelemahan

karena sangat cepat mengakibatkan *fouling* yang sangat tinggi karena arah aliran yang demikian dapat mengakibatkan terbentuknya lapisan *cake* dipermukaan membran pada sisi *feed* (Redjeki, 2011). Model aliran sistem *dead end* ditunjukkan pada Gambar 2.5.

2.4.2 Sistem *Cross-flow*

Sistem ini merupakan metode penyaringan yang berkembang dengan pesat untuk saat ini dalam aplikasi dimana sistem *dead-end* tidak sesuai untuk diterapkan untuk filtrasi partikel yang sangat halus dan filtrasi suspensi encer tanpa penambahan flokulan atau filter-aid, dalam kasus dimana dibutuhkan filtrat dengan kemurnian tinggi ketika *recovery solid* tidak terlalu dibutuhkan. Pada sistem ini *feed* dialirkan dengan arah aksial (sejajar) dengan permukaan membran. Arah aliran tersebut mengakibatkan terbentuknya *cake* yang terjadi sangat lambat karena tersapu oleh gaya geser yang disebabkan oleh aliran *cross-flow*. Pada setiap operasi dengan menggunakan sistem ini, kecepatan aliran *feed* sangat menentukan besarnya perpindahan massa dalam modul. Efisiensi pembersihan oleh cairan yang dialirkan meningkat dengan bertambahnya kecepatan (Redjeki, 2011).



Gambar 2. 5 Aliran *Dead-End* dan Aliran *Cross – Flow* (Baker, 2004)

2.5 Fouling Pada Membran

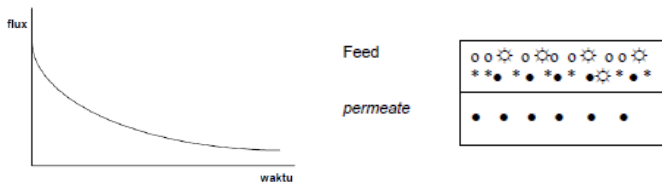
Salah satu sifat membran yang terpenting adalah kemampuan membran untuk mengatur laju *permeate* dari spesi yang berbeda. Pendekatan teori dengan model melalui laju pori menjelaskan bahwa *permeate* dihasilkan karena adanya perbedaan tekanan sehingga timbul laju melalui pori-pori membran. Pemisahan terjadi karena selektivitas *feed* oleh pori-pori membran. Salah satu kekurangan pemisahan dengan membran adalah terjadinya polarisasi konsentrasi atau membran *fouling*. Dalam pengolahan air limbah, pengendalian *fouling* dilakukan mulai dari proses *pre-treatment* air *feed* untuk menghilangkan padatan terlarut (Lorain *et al.*, 2007; Shon *et al.*, 2009) dan mencegah aktivitas biologis pada mikroba (Al-Juboori dan Yusaf, 2012). *Fouling* pada membran umumnya disebabkan oleh tidak adanya proses *pre-treatment* pada air *feed* (Lee *et al.*, 2006). Peristiwa *fouling* pada membran dapat diketahui dengan penurunan fluks. Peristiwa *fouling* ini mengakibatkan peningkatan nilai koefisien rejeksi, penurunan umur membran, hingga penggantian membran (Tang *et al.*, 2007).

Fouling dapat dibagi menjadi *fouling reversibel* dan *fouling irreversibel*, tergantung pada kekuatan partikel yang menempel pada permukaan membran. *Fouling reversibel* dapat dihilangkan dengan melakukan backwash. *Fouling irreversibel* disebabkan oleh kuatnya partikel yang menempel pada permukaan membran dan dapat dihilangkan dengan pencucian fisika (Beyer *et al.*, 2010).

Pembentukan matriks yang kuat pada lapisan *fouling* dengan zat terlarut selama proses filtrasi berlangsung dapat menyebabkan *fouling reversibel* berubah menjadi *fouling irreversibel*. *Fouling* membran pada proses filtrasi umumnya ditandai dan diukur dari penurunan fluks pada kondisi operasi konstan. *Fouling* pada membran disebabkan oleh partikel atau koloid yang terdapat pada air *feed* dan terdeposisi pada permukaan membran. Bahan organik, presipitat garam anorganik yang telah lama terdeposit pada membran, dan pertumbuhan mikroorganisme merupakan penyebab terjadinya *fouling* (Porcelli dan Jud, 2010). *Fouling* permukaan dapat berasal dari macam-macam kontaminan, termasuk partikulat anorganik, bahan organik terlarut, padatan terlarut, dan bahan biogenik (Beyer *et al.*, 2010). Beberapa polimer

dan bahan kimia memiliki kepekaan yang tinggi sebagai penyebab terjadinya *fouling* (Rifaed, 2002).

Dampak langsung yang dapat diamati dan cukup signifikan yang menandai terjadinya *fouling* ini adalah menurunnya kinerja membran (nilai fluks *permeate* menurun seiring waktu), seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 tentang gejala *fouling* pada membran.



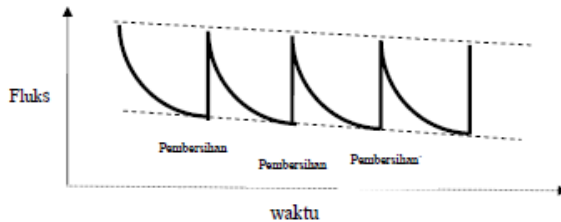
Gambar 2. 6 Fluks sebagai Fungsi dari Waktu (Rifaed,2002)

Keterangan :

- = solven
- ☼ = solute (berat molekul tinggi)
- * = solute (berat molekul tinggi)
- o = partikel

2.6 Pencucian Membran

Pencucian membran merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi *fouling* pada membran (Greenlee *et al.*, 2009). Dibandingkan dengan metode lain seperti *pre-treatment* dan modifikasi membran, pencucian membran merupakan metode yang mampu mengembalikan permeabilitas membran secara langsung dan lebih cepat (Huajuan, 2009). *Fouling* pada membran adalah sesuatu yang tidak bisa dihindari tetapi dapat diprediksi dan dikurangi keparahannya. Keadaan yang lebih buruk pada kinerja membran tergantung dari tipe membran, sistem desain dan kualitas *feed*. Perubahan fluks *permeate* yang melalui membran dengan adanya pembersihan (*cleaning*) membran dapat dilihat pada Gambar 2.7. Metode yang tepat untuk menghilangkan *fouling* pada membran adalah melalui pencucian kimia. Metode pencucian kimia membran telah mampu mengembalikan kondisi membran menjadi bersih, memperbaiki fluks membran, dan mampu memperpanjang umur membran (Arnal *et al.*, 2011).



Gambar 2. 7 Perubahan Fluks Membran yang Dilalui Aliran *Permeate* dengan Adanya Pembersihan (*cleaning*) *Fouling* yang Terjadi pada Membran (Rifaid,2002)

Dari Gambar 2.7 terlihat bahwa terjadinya *fouling* akan menurunkan aliran *permeate*, sehingga harus ditingkatkan tekanan *feed* untuk menjaga kontinuitas aliran. Oleh karena itu tekanan dan aliran *permeate* harus dimonitor dan parameter kritis harus dijaga sesuai dengan spesifikasi operasi. Selain itu membran harus segera dibersihkan ketika terjadi penurunan 10%-15% pada kinerja membran, untuk mencegah terjadinya *fouling* yang lebih parah yang sulit dibersihkan. Kondisi operasi yang harus diperhatikan ketika pencucian membran antara lain jenis larutan pencuci, pH larutan pencuci, dosis larutan, waktu pencucian, *crossflow velocity*, dan suhu larutan pencuci (Ang *et al.*, 2006; Ang *et al.*, 2011).

Untuk menjaga partikel mengenai membran terdapat beberapa teknik yang digunakan seperti proses filtrasi, proses koagulasi dimana upaya-upaya tersebut lazim disebut sebagai *pre-treatment*. Sedangkan untuk pencucian membran dapat digunakan pembersihan membran secara periodik, atau meningkatkan tegangan geser (*shear stress*) pada permukaan membran dimana konstituen yang telah tertahan (*fouling*) akan tergeser oleh turbulensi aliran sehingga tidak terjadi penumpukan partikel.

Membran harus dicuci umumnya pada saat:

- Aliran *permeate* normalisasi bervariasi antara 10-15%.
- Tekanan *feed* normalisasi bervariasi antara 10-15%.
- Konduktivitas *permeate* normalisasi bervariasi antara 10-15%.

- Turun tekan antara *feed* dan konsentrat bervariasi antara 10-15%.

Adapun upaya pencucian berdasarkan jenis *foulant* yang terdapat di membran yaitu:

Tabel 2. 5 Upaya Pencucian Membran

Foulant	Reagen	Waktu dan Temperatur	Tindakan
Minyak, lemak, protein, polisakarida, bakteri	0,5 NaOH dengan 200 ppm Cl ₂	30 – 60 menit 25 – 55°C	Hidrolisis dan oksidasi
DNA, garam mineral	0,1 – 0,5 M asam (asetat, sitrat, nitrat)	30 – 60 menit 25 – 55°C	Pelarutan
Minyak, lemak, biopolymer, protein	0,1% SDS ; 0,1% Triton X-100	30 menit – semalaman 25 – 55°C	Pembasahan, emulsifikasi, suspensi, dispersi
Bagian sel, minyak, lemak protein	Enzim, detergen	30 menit – semalaman 30 – 40°C	Pemecahan katalitik (<i>proteolysis</i>)
DNA	0,5% DNAase	30 menit – semalaman 30 – 40°C	Hidrolisis enzim
Minyak, lemak, pelumas	20 – 50% etanol	30 menit – semalaman 30 – 40°C	Pelarutan

Sumber : Cheryan, 1998

2.6.1 Jenis-jenis Larutan Pencuci

Tiga macam bahan pencuci yang sering digunakan dalam menghilangkan endapan dari membran adalah sebagai berikut :

1. Bahan basa dan bahan asam, yang terdiri dari *dissolution*, *peptizing* dan bahan yang mempunyai sifat mendispersi kotoran, namun dapat menyebabkan korosi.

2. Bahan aktif permukaan (*surface active agent*), yaitu bahan yang menambah sifat pembasahan dari larutan, mengurangi tegangan permukaan dan mempunyai efek mengemulsi dan mendispersi kotoran (*soil*).
3. Bahan pengkhelat (*chelate agent*), yaitu bahan yang mampu meredeposisi.

Larutan-larutan kimia yang umum digunakan dalam pencucian membran dikategorikan ke dalam 5 jenis, yaitu asam (asam sitrat, HCl), alkali (NaOH), *chelating agent* (EDTA, poliakrilat), surfaktan (SDS), dan enzim (protease, amilase) (Ang *et al.*, 2006; Huajuan, 2009; Ang *et al.*, 2011; Madaeni dan Samieirad, 2011).

Tabel 2. 6 Jenis-jenis Larutan Kimia Pencuci

Jenis Foulant	Larutan Kimia Pencuci
Koloid	Larutan NaOH, <i>chelating agent</i> , dan surfaktan
Organik	Larutan NaOH, <i>chelating agent</i> , dan surfaktan
Oksida Logam	Asam sitrat (pH rendah)
Silika	NaOH (pH tinggi)
Scale Karbonat (CaCO ₃)	Asam sitrat atau HCl (pH rendah)
Scale Sulfat (CaSO ₄ , BaSO ₄)	Larutan HCl atau <i>chelating agent</i> (EDTA)
Biofilm	Larutan NaOH, <i>chelating agent</i> , surfaktan, dan disinfektan

Sumber : Fritzmann, 2007

Buah lerak adalah biji dari pohon yang memiliki nama binomial *Sapindus rarak* Dc. Buah lerak (*Sapindus rarak*) mengandung senyawa Saponin, zat inilah yang menghasilkan busa dari buah lerak. Saponin adalah kelas senyawa kimia yang memiliki kemampuan untuk membersihkan dan mencuci. Penelitian menunjukkan bahwa dari senyawa saponin, alkaloid, ateroid dan triterpen pada lerak masing-masing berurutan mengandung bahan aktif sebesar 12%, 1%, 0,036% dan 0,029%. saponin terbukti mempunyai kemampuan pembersih yang sangat baik yang mampu menghapus kotoran dari segala macam material. Kandungan

racun biji lerak juga berpotensi sebagai insektisida. Saponin sangat efektif juga lembut dan ramah lingkungan.

Faktor penting dalam pencucian membran diantara lain:

1. Material dan sifat kimia membran
Menentukan kemampuan membran untuk menahan pengaruh pembersih kimia
2. Mekanika fluida
Harus dipompakan melalui sistem dalam kondisi turbulen. Pada saat pengoperasian, tekanan harus serendah mungkin namun konsisten dengan dP yang dibutuhkan untuk menjaga laju alir tinggi
3. Waktu
Kebanyakan pembersih kimia melakukan tugasnya dalam 30 – 60 menit. Pembersihan yang lebih lama setelah waktu optimum dapat menyebabkan *refouling* dari membran karena efek filtrasi
4. Temperatur
Temperatur dari larutan cleaning harus setinggi mungkin, sesuai dengan batas temperatur dari membran/modul
5. Kualitas air
Kualitas air secara kimia dan bakteriologikal yang digunakan untuk pembilasan dan pencucian membran adalah penting. Adanya besi, silika, kalsium dan lain-lain yang dapat mengendap menyulitkan atau tidak mungkin untuk dihilangkan.
6. pH
pembersih alkali yang mengandung NaOH atau KOH efektif untuk bahan organik dan protein. Pembersih asam utama digunakan untuk garam anorganik.

2.6.2 Proses Pencucian

Membran yang kotor umumnya menyebabkan berkurangnya kecepatan fluks dan efisiensi operasi. *Fouling* akan menyebabkan *shutdown* yang tidak teratur, waktu operasi hilang dan menyebabkan pergantian membran.

Proses pencucian didasari oleh dua tipe operasi yaitu :

1. Operasi pembilasan, yang menghilangkan lapisan tipis cair atau partikel yang menempel pada permukaan. Pada pembilasan awal terjadi penghilangan bahan-bahan

biological, sedangkan pembilasan lainnya menitik beratkan pada residu pencuci (deterjen, desinfektan).

2. Operasi pencucian, yang menghilangkan pengotor yang menempel kuat pada permukaan.

2.6.3 Mekanisme Pencucian

Mekanisme pencucian dapat dibagi menjadi empat tahap yaitu:

1. Menetapkan kontak antara larutan pencuci dan pengotor yang akan dihilangkan.
2. Pembasahan dan penetrasi pengotor oleh larutan pencuci; reaksi antara komponen pengotor dengan pencuci. Reaksi yang mungkin terjadi adalah peptisasi campuran organik, penyebaran mineral dan emulsifikasi lemak. Langkah ini tergantung dari sifat dan struktur pengotor. Serta komposisi larutan pencuci yang digunakan.
3. Penyebaran pengotor yang diperoleh dari larutan pencuci, dengan pengumpulan, penyebaran dan emulsifikasi.
4. Pencegahan fenomena redoposisi dari kotoran yang sudah terdispersi ke permukaan yang sudah bersih.

2.7 Karakterisasi Membran

Karakterisasi membran bertujuan untuk mengetahui sifat fisik maupun kimia dari suatu sampel. Karakterisasi yang umum dilakukan untuk aplikasi membran filtrasi yaitu analisis fluks, koefisien rejeksi, analisis luas area dan distribusi pori menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA), analisis kristalinitas atau sifat kristalnya dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), analisis kandungan bahan dengan *X-ray Fluorescence* (XRF), analisis kuat tekan dengan *Universal Testing Machine* (UTM) dan analisis morfologi *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Membran dengan struktur berbeda akan memiliki fungsi yang berbeda. Karakterisasi membran diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai ukuran pori, distribusi ukuran pori dan kristalinitas, struktur dan morfologi serta untuk mengetahui sifat pemisahan membran.

Menurut Cui dan Muralidhara (2010), seperti proses pemisahan yang lain, pemisahan dengan membran juga bisa dievaluasi dengan dua parameter penting yaitu efisiensi dan produktivitas. Produktivitas bisa dikarakterisasi dengan parameter

fluks, dan efisiensi membran dapat dikarakterisasi dengan parameter rejeksi.

Berbagai metode karakterisasi membran untuk filtrasi telah dikembangkan. Metode ini diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Metode fisik untuk menentukan ukuran pori dan distribusi ukuran pori membran.
2. Metode yang didasarkan pada performa rejeksi molekul partikel.

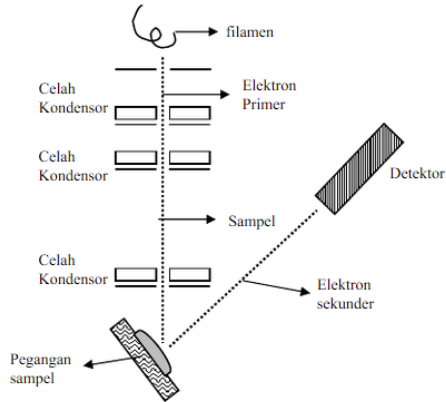
Dengan menggunakan pengukuran pori dan distribusinya, performa rejeksi dapat dihitung. Penggambaran model fenomena perpindahan dalam membran dibutuhkan untuk memperoleh informasi ukuran pori untuk rejeksi (Wenten, 1995).

2.7.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas elektron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang berintensitas tertinggi discan keseluruhan permukaan material pengamatan. Luasnya daerah pengamatan dapat dibatasi lokasi pengamatan dengan melakukan *zoom-in* atau *zoom-out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam komputer (Widayanti, 2013).

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optik. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang *de Broglie* yang memiliki elektron lebih pendek dari pada gelombang optik. Karena makin kecil panjang

gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop. SEM mempunyai *depthoffield* yang besar, yang dapat memfokuskan jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi (Widayanti, 2013).



Gambar 2. 8 Skema Kerja SEM (Mulder,1996)

Kekurangan SEM adalah sampel dapat rusak dan terbakar tergantung dari jenis polimer dan votase. Agar tidak rusak dan terbakar sampel harus dibungkus dengan lapisan konduktor (lapisan emas). Kekurangan lainnya adalah pengeringan dari sampel yang basa, karena gaya kapiler juga ikut terlibat dalam rusaknya struktur. Hal ini dapat diatasi dengan *cryounit* atau mengganti air di dalam membran dengan cairan yang mempunyai tegangan permukaan lebih rendah. Kelebihan dari metode ini yaitu dapat memperlihatkan struktur penampang membran secara jelas dan resolusi yang cukup tinggi dari mikroskop. SEM dapat memberikan gambaran struktur membran dengan jelas (Wenten, 1995).

2.7.2 Permeabilitas Membran

Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran. Secara kuantitas, permeabilitas membran sering dinyatakan sebagai fluks atau koefisien permeabilitas. Definisi dari fluks adalah jumlah volume *permeate* yang melewati satuan luas membran dalam

waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Menurut Mulder (1996), secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$J = \frac{V}{A \times t} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

- J = Fluks (L/m².jam)
- V = Volume *permeate* (L)
- A = Luas permukaan membran (m²)
- t = Waktu (jam)

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material dipermukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling* (Yunarsih, 2013).

2.7.3 Permeselektivitas Membran

Menurut Mulder (1996), selektivitas suatu membran adalah ukuran kemampuan suatu membran untuk menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan permeselektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R). Semakin besar koefisien rejeksi maka semakin baik kerja membran, karena semakin besar koefisien rejeksi menandakan semakin kecil konsentrasi pada *permeate*, hal ini menandakan semakin sedikit suatu senyawa atau zat yang dilewatkan membran. Menurut Cui dan Muralidhara (2010), koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 1 - \frac{c_p}{c_f} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- R = Koefisien rejeksi (%)
- C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*
- C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam *feed*

Harga R berkisar antara 0 sampai 100%. Jika harga R = 100% berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna. Suatu fenomena umum yang sering ditemukan dalam suatu proses pemisahan dengan membran, yaitu apabila fluks membran besar

maka rejeksi akan rendah, demikian pula sebaliknya jika rejeksi tinggi maka fluks juga akan rendah. Biasanya membran yang baik memiliki porositas permukaan yang tinggi (luas permukaan) dan distribusi ukuran pori yang sesempit mungkin sehingga perlu dilakukan suatu optimasi terhadap perlakuan membran untuk mendapatkan fluks dan rejeksi yang tinggi (Mulder, 1996).

2.8 Penelitian Terdahulu

Pada tugas akhir ini akan ditinjau beberapa hasil dari penelitian terdahulu untuk dijadikan sebagai referensi. Penelitian terdahulu yang diambil merupakan penelitian yang ada kaitannya dengan tugas akhir ini. Penelitian terdahulu didapatkan melalui studi literatur, jurnal dan hasil tugas akhir terdahulu. Beberapa penelitian terdahulu yang ditinjau adalah sebagai berikut :

1. Notodarmojo *et al.* (2004) melakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh *pre-treatment* terhadap fluks dan pembentukan cake pada penggunaan membran selulosa asetat dengan sistem aliran *cross-flow*. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *pre-treatment* dapat meningkatkan fluks *permeate* dan menurunkan konstanta pembentukan cake yang berdampak pada meningkatnya waktu operasi membran. Nilai fluks yang didapatkan pada membran yang diumpangkan dengan limbah tanpa dan dengan *pre-treatment* adalah 17.03 L/m².jam dan 59.5 L/m².jam.
2. Saputra *et al.* (2016) melakukan penelitian tentang pencucian secara kimia membran ultrafiltrasi sistem aliran *cross-flow* pada proses penyaringan air terproduksi. Efektifitas pencucian tertinggi yakni 30.55% dengan menggunakan bahan kimia pencuci detergen 1.5% dan tekanan trans-membran 0.5 bar. Efisiensi pencucian tertinggi berdasarkan nilai *flux recovery* yang didapat 69.66% dan nilai *resistance removal* tertinggi didapat 30.55% dengan menggunakan bahan kimia pencuci detergen 1.5% dan tekanan trans-membran 0.6 bar.
3. Sulistyani dan Fitrianingtyas (2010) melakukan penelitian tentang pengendalian *fouling* membran ultrafiltrasi dengan sistem *automatic backwash* dan pencucian membran. Sistem *automatic backwash* mampu membuat penurunan

fluks sekitar 25% dari laju alir awal dalam waktu 22 hari. Pencucian membran dengan asam sitrat dan NaOH menghasilkan peningkatan laju alir fluks yaitu dari 45 L/jam menjadi 49 L/jam (*backwashing* air sumur) dan 15 L/jam menjadi 23 L/jam (*backwashing* air detergen).

4. Puspayana dan Damayanti (2013) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair tahu dengan membran silika aliran *cross-flow* untuk menurunkan Kadar Nitrat dan Ammonium. Berdasarkan penelitian ini diperoleh massa silika yang paling optimum pembuatan membran adalah 5 gram. Nilai koefisien rejeksi yang paling baik untuk parameter ammonium adalah 92.17% dengan variasi membran 5 gram dan volume air limbah 100%. Nilai fluks yang paling baik adalah 3.67 L/m².jam.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

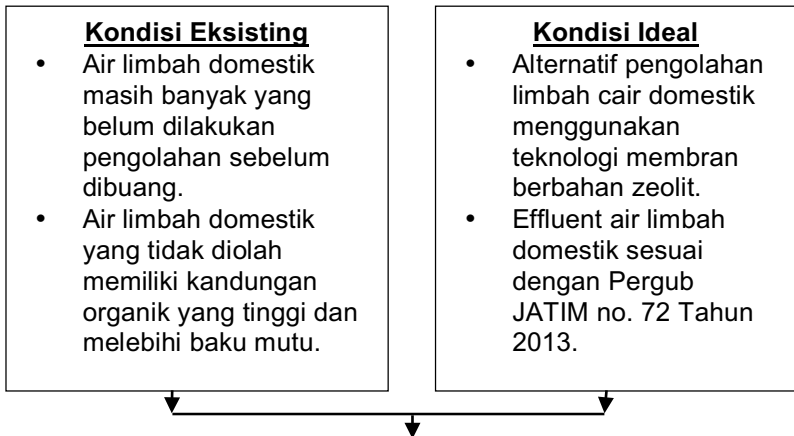
BAB 3 METODE PENELITIAN

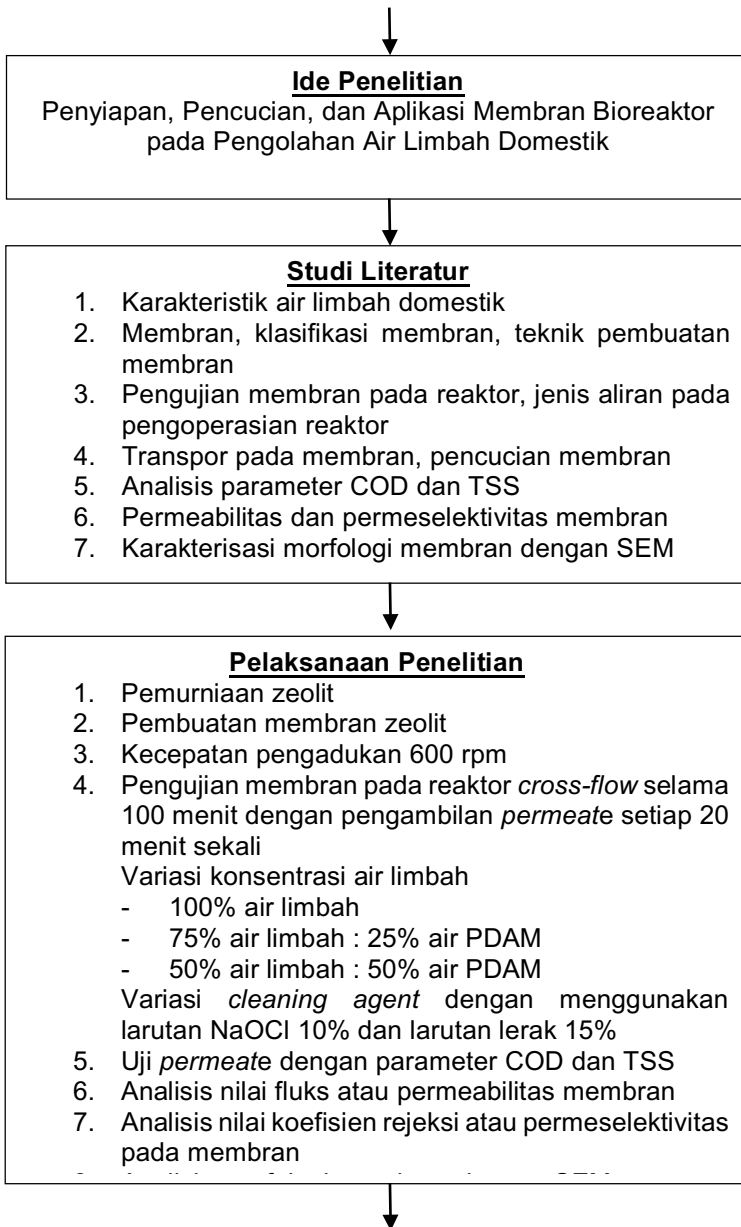
3.1 Umum

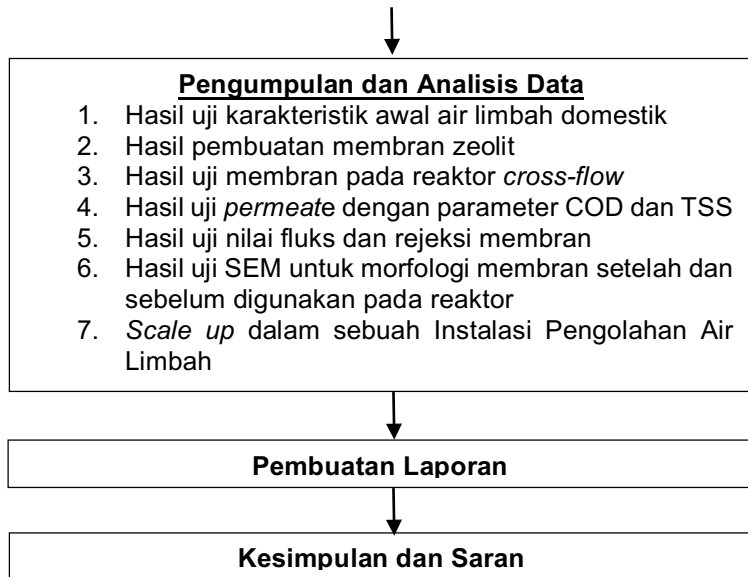
Metode penelitian digunakan untuk mempermudah peneliti dalam melakukan penyiapan membran dan pencucian membran dengan proses perendaman pada *cleaning agent*. Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah konsentrasi air limbah dan larutan pencucian membran. Pengujian permeabilitas dan selektivitas membran dilakukan dengan menggunakan membran bioreaktor sistem aliran *cross-flow* pada membran, sementara analisis morfologi membran dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Parameter yang diuji yaitu COD dan TSS.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka pelaksanaan penelitian merupakan dasar dan alur pemikiran yang digunakan untuk melaksanakan tahapan penelitian. Kerangka pelaksanaan berfungsi sebagai acuan dalam pelaksanaan yang disusun berdasarkan pada pemikiran adanya permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian. Selain itu, kerangka penelitian dapat meminimisasi kesalahan dalam penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Skema Kerangka Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Ide penelitian tugas akhir ini diangkat dari terjadinya *fouling* pada membran saat melakukan filtrasi pada air limbah domestik. Apabila *fouling* pada membran apabila tidak diatasi akan menyebabkan penurunan nilai fluks membran, dan penggantian membran baru. Pencegahan *fouling* dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya *pre-treatment* dan pencucian pada membran. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih dalam mengenai efektifitas *cleaning agent* pada membran bahan zeolit sebagai bahan baku pembuatan membran untuk mencegah terjadinya *fouling* pada saat proses filtrasi air limbah domestik kategori *gray water* dengan *sidestream* MBR.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari tahap awal penelitian hingga penarikan kesimpulan untuk memperoleh teori yang dapat menunjang dalam pelaksanaan penelitian. Studi literatur yang

digunakan meliputi karakteristik air limbah domestik, definisi dan klasifikasi membran, karakteristik pasir zeolit, teknik pembuatan membran, *transport* pada membran, permeabilitas membran, permeselektivitas membran, pengujian kinerja membran dengan reaktor *cross-flow* dan pencucian membran. Studi literatur diperoleh dari bahan-bahan penunjang seperti buku teks, jurnal nasional dan internasional, *proceeding* seminar, artikel dan sebagainya. Studi literatur diharapkan dapat menjadi dasar yang membantu pengerjaan tugas akhir, sehingga sesuai dengan teori yang berlaku. Keterbaharuan dari sumber literatur harus tetap diperhatikan agar memperoleh dasar teori yang *update*. Beberapa sumber literatur yang lama atau terdahulu harus tetap dijadikan sebagai pedoman untuk perbandingan dengan beberapa literatur yang baru. Studi literatur dilakukan sampai diperoleh hasil yang sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penulisan tugas akhir ini.

3.5 Persiapan Penelitian

a. Persiapan alat

1. Persiapan alat.

Peralatan yang digunakan dalam pemurnian zeolit yaitu : *beaker glass* ukuran 250 ml dan 1000 ml, gelas ukur, pipet volumetrik, spatula logam dan kaca, cawan keramik, neraca analitik, ayakan 200 mesh, kompor listrik, oven dan desikator.

Peralatan yang digunakan dalam sintesis membran yaitu: *beaker glass* 25 ml, cawan petri, spatula logam, spatula kaca, neraca analitik, pipet volumetrik, *centrifuge*, *magnetic stirrer*, oven, *water bath*, kompor listrik dan SEM.

Peralatan yang digunakan untuk analisis sampel dan *permeate* adalah kompor listrik, desikator, tabung COD, pipet tetes, cawan porselen, kertas saring, *vacuum pump*, oven, pipet volumetrik, gelas ukur, labu destilasi, destilator.

2. Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor dengan aliran *cross-flow* yang berfungsi untuk mengetahui kemampuan membran dalam meremoval parameter COD dan TSS. Reaktor tersebut dibuat dengan menggunakan bahan pipa AW, pipa PVC, selang, *water mur*, manometer,

bypass, valve, dan booster pump. Selain itu, digunakan juga bak penampung 20 L dan *aerator*.

b. Persiapan Bahan

1. Persiapan zeolit.
Zeolit yang digunakan sebagai bahan baku membran akan disintesis terlebih dahulu dari pasir zeolit. Bahan yang digunakan dalam sintesis zeolit ini adalah pasir zeolit, HCl 15% dan aquades.
2. Persiapan pembuatan membran.
Bahan yang digunakan dalam pembuatan membran adalah larutan 2-propanol, NH_4Cl , PEG 400 (*Poly Ethylen Glicol*) , PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan aquades.
3. Persiapan sampel.
Sampel sebanyak 50 L diambil dari sumur pengumpul air limbah domestik kategori *gray water* di Asrama Mahasiswa ITS, kota Surabaya.
4. Persiapan analisis sampel dan *permeate*.
Analisis sampel dan *permeate* dilakukan dengan menguji kadar dari parameter yang telah ditentukan yaitu parameter COD dan TSS. Analisis parameter COD dilakukan dengan metode *closed re-flux* Titrimetri. Analisis TSS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

a. Pemurnian Zeolit

Pemurnian zeolit dilakukan untuk mengaktivasi zeolit dan menghilangkan zat-zat pengotor dari pasir zeolit. Langkah pertama yang dapat dilakukan yaitu aktivasi zeolit secara fisika. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan menghancurkan dan menggerus zeolit. Pasir zeolit diayak hingga berukuran 200 mesh dengan menggunakan alat ayakan di Laboratorium Beton di Jurusan Teknik Sipil ITS. Zeolit berukuran 200 mesh mampu menghasilkan permeabilitas yang tinggi (Nugroho dan Alia, 2016). Aktivasi zeolit secara fisika bertujuan untuk menghilangkan pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan pasir zeolit memiliki bentuk fisik butir halus berwarna abu-abu kehijauan.

Langkah selanjutnya yaitu aktivasi zeolit secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Zeolit direndam dengan larutan

HCl 15% dengan menggunakan beaker glass 1000 mL selama 24 jam. Perendaman dilakukan bertujuan untuk membuang senyawa-senyawa pengotor selain SiO_2 dikarenakan karakteristik HCl sebagai asam kuat mampu melarutkan beberapa kandungan senyawa metal yang terdapat pada pasir (Rachmawati dan Damayanti, 2013). Selain itu, aktivasi zeolit bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik (Lestari, 2010). Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+ (Lestari, 2010). Pada Gambar 3. 2 menunjukkan zeolit yang direndam dengan larutan HCl 15%.



Gambar 3. 2 Proses Perendaman Zeolit dengan Larutan HCl 15% (a) Awal Perendaman dan (b) Setelah 24 Jam

Setelah 24 jam direndam dengan larutan HCl 15%, sisa-sisa ion Cl^- yang masih terdapat dalam zeolit harus dihilangkan dengan pencucian aquades (Septiani, 2013). Zeolit dicuci dengan aquades sebanyak 7-9 kali. Tujuan dicuci untuk menghilangkan kandungan HCl yang masih tersisa dengan dilakukan pengukuran pH meter pada larutan pencuci hingga mencapai pH 6-10 dan dilakukan uji AgNO_3 pada air pencuci. Zeolit yang telah dicuci dikeringkan dengan menggunakan oven 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air dan ion Cl^- yang tersisa ketika pencucian. Zeolit yang telah dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 3.3, selanjutnya dihancurkan dan dihaluskan. Tujuannya agar memudahkan proses homogenisasi pada saat pembuatan membran dengan polimer yang digunakan.



Gambar 3. 3 Hasil Pemurnian Pasir Zeolit

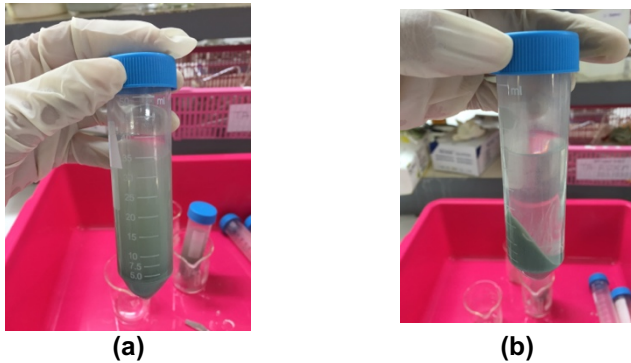
b. Pembuatan Membran

Pembuatan membran terdiri dari 2 tahap yaitu tahapan preparasi dan pencetakan membran (Rachmawati dan Damayanti, 2013). Tahap pembuatan membran dilakukan dengan metode inversi fasa. Metode inversi fasa adalah suatu proses perubahan bentuk dari fasa cair menjadi fasa padat.

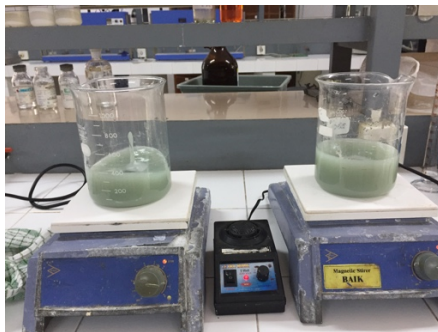
- **Tahap preparasi**

Zeolit yang telah dilakukan proses pemurnian selanjutnya ditimbang massa 6 gram dengan menggunakan neraca analitik. Serbuk zeolit dilarutkan dengan 35 mL 2-Propanol di dalam beaker glass 100 mL. Penambahan 2-Propanol bertujuan agar terbentuk membran dengan pori-pori yang rapat/kecil. Larutan campuran dimasukkan ke dalam botol *centrifuge* dan dilakukan proses sentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 600 rpm (Sari, 2014). Proses sentrifugasi bertujuan untuk memisahkan partikel sesuai dengan massa jenisnya dapat dilihat pada Gambar 3.4. Selanjutnya, larutan lapisan atas atau supernatan dibuang sedangkan hasil endapan dimasukkan ke *beaker glass* 250 mL. Hasil endapan ditambahkan 3.5 gram NH_4Cl dan dilarutkan dengan aquades hingga 200 mL. Penambahan NH_4Cl bertujuan untuk menyeragamkan ukuran pori-pori membran dan mencegah tumbuhnya mikroba pada membran yang akan dibuat (Rachmawati dan Damayanti, 2014). Setelah itu, larutan campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* dan disonikasi dengan ultrasonik dengan frekuensi 10.000 hz selama 1 jam agar terbentuk pori membran yang berukuran nano pada Gambar 3.5. Proses

pengadukan bertujuan untuk menghomogenkan zeolit. Proses pengadukan dihentikan, selanjutnya larutan campuran dibiarkan hingga terbentuk endapan. Endapan zeolit yang terbentuk dipisahkan dari fasa cair dan dilakukan proses pelarutan dengan PEG 400 dan PVA untuk tahap pencetakan membran.



Gambar 3. 4 Hasil (a) Sebelum Proses Sentrifugasi dan (b) Sesudah Proses Sentrifugasi 600 rpm



Gambar 3. 5 Proses Homogenisasi dan Sinkronisasi dengan *Magnetic Stirrer* dan *Ultrasonic 10.000 Hz*

- **Tahap pencetakan membran**
Tahap pencetakan membran dilakukan dengan pencampuran larutan PEG (*Poly Etylen Glicol*) dan penambahan PVA pada

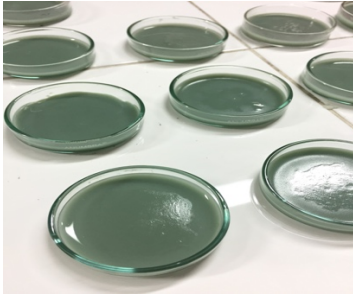
endapan yang dihasilkan dari proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Tahap pertama yaitu menimbang PVA sebanyak 2.5 gram dan dilarutkan dengan 15 mL aquades. PVA berbentuk kristal berwarna putih dan dapat terlarut dengan suhu diatas 95°C. Penambahan PVA dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan memperbaiki struktur dari membran sendiri serta mampu membuat membran lebih stabil (Farha dan Kusumawati, 2012). Membran akan semakin tebal apabila konsentrasi PVA semakin tinggi (Nisa, 2005). Namun, membran yang tebal dan kuat akan membuat membran tidak memiliki pori karena permukaan membran terlapisi oleh larutan PVA.

Endapan zeolit dilakukan proses pemanasan pada kompor listrik pada suhu 150°C - 180°C dengan ditambahkan PVA yang telah dilarutkan dan PEG 400 sebanyak 5 mL. Pemanasan diatas suhu 180°C dapat membuat kerak pada dasar *beaker glass*. Pada saat proses pemanasan, larutan diaduk hingga tercampur dan mengental dapat dilihat pada Gambar 3.6. PEG sebagai senyawa *biocompatible*, *highly hydrophilic* dan anti *fouling* dapat memperbanyak pori (porogen) dan meningkatkan interkoneksi pori pada membran (Prमितasari, 2016).

Larutan yang telah mengental dicetak dengan menggunakan cawan petri luas permukaan 19.625 cm² atau berdiameter 5 cm. Larutan dituang kedalam cawan petri sebanyak 5 mL dan didiamkan selama 24 jam pada Gambar 3.7 serta dioven selama 1 jam. Secara sistematis metode pembuatan membran dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 3. 6 Proses Pemanasan Zeolit, PVA, dan PEG Menggunakan *Hot Plate*



Gambar 3. 7 Proses Pencetakan Membran Zeolit



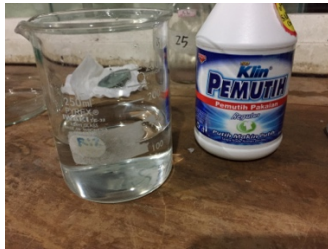
Gambar 3. 8 Membran Zeolit

Membran yang terbentuk mempunyai ciri ciri yaitu :

- Lentur dan padat
- Tekstur membran halus dan kering
- Diameter membran 5 cm
- Berwarna hijau tosca

c. Pencucian Membran

Pencucian membran merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi *fouling* pada membran (Greenlee *et al.*, 2009). Dibandingkan dengan metode lain seperti *pre-treatment* dan modifikasi membran, pencucian membran merupakan metode yang mampu mengembalikan permeabilitas membran secara langsung dan lebih cepat (Huajuan, 2009). Pencucian membran dilakukan dengan menggunakan *cleaning agent* yaitu larutan NaOCl 10% dan larutan lerak 15%. Proses pencucian dilakukan saat berkurangnya kecepatan fluks, penurunan efisiensi operasi secara drastis serta peningkatan tekanan pada reaktor hingga melebihi dari tekanan 1 bar yang telah ditentukan sebagai tekanan penelitian (*constant pressure*). Pada penelitian ini dilakukan proses pencucian membran pada menit ke-40 dan menit ke-80 saat pengaplikasian di reaktor *cross-flow*. Pencucian membran dilakukan dengan metode *batch*. Metode *batch* dilakukan dengan cara perendaman membran selama 15 menit. Setelah itu, membran dibilas dengan aquades dan dibiarkan mengering hingga membran mampu diaplikasikan kembali ke dalam reaktor.



(a)



(b)

Gambar 3. 9 *Cleaning agent* (a) Larutan NaOCl 10% dan (b) Larutan Lerak 15%

3.7 Variabel Penelitian

Variabel penelitian untuk proses filtrasi air limbah domestik dengan menggunakan membran zeolit disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian Pada Reaktor *Sidestream* MBR dengan Aliran *Cross-flow*

Konsentrasi Air Limbah	<i>Cleaning agent</i>	
	Larutan NaOCl 10% (A)	Larutan Lerak 15% (B)
100% air limbah (V1)	AV1	BV1
75% air limbah : 25% air PDAM (V2)	AV2	BV2
50% air limbah : 50% air PDAM (V3)	AV3	BV3

Pada penelitian ini dilakukan juga perlakuan tetap yaitu:

- Waktu untuk pembilasan dengan aquades, $t = 15$ menit.
- Waktu untuk pemisahan air, $t = 100$ menit, dengan pengambilan *permeate* setiap 20 menit sekali.

- Waktu untuk pencucian menggunakan *Cleaning agent* (NaOCl 10% dan larutan lerak 15%), $t = 15$ menit dan dibilas dengan air aquades.

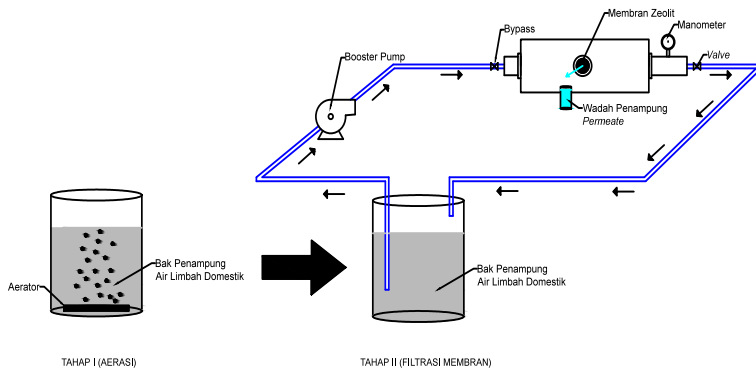
3.8 Pengaturan Membran Pada Reaktor *Sidestream* MBR dengan Aliran *Cross-flow*

Membran yang telah dicetak berukuran diameter ± 5 cm kemudian diuji pada reaktor *sidestream* MBR dengan aliran *cross-flow*. Peran membran pada *sidestream* MBR yaitu sebagai pemisahan biomassa. Tujuannya adalah menggantikan bak sedimentasi sekunder pada proses pengolahan limbah lumpur aktif. Aliran *cross-flow* pada *transport* membran digunakan untuk mengurangi penumpukan material pada membran dengan menyapu material dari permukaan sehingga dapat memperlambat terjadinya *fouling* dini (Pusparini dan Isyaniarto, 2010). Aliran *cross-flow* merupakan dua aliran saling silang. Membran diletakkan di dalam lubang tempat keluarnya *permeate*. Membran diletakkan di dalam reaktor dengan keadaan tertutup dan dipastikan tidak ada kebocoran dengan menggunakan kasa sebagai penyangga membran. Air limbah yang telah divariasikan berdasarkan konsentrasi di tampung pada bak pengumpul berkapasitas 20 L. Pada bak penampung disediakan aerator yang berfungsi sebagai oksidator. Aerator yang digunakan yaitu merk Resun LP 60 *air pump* dengan laju aerasi 70 L/min. Proses aerasi pada air limbah dilakukan selama 24 jam dengan kondisi DO ≈ 2 mg/L. Selanjutnya, masuk ke tahap filtrasi dengan menggunakan membran zeolit dengan distribusi pemompaan.

Reaktor pada membran terdiri atas manometer, *valve*, *by pass*, selang, dan *water mur*. Manometer berfungsi untuk menunjukkan tekanan yang berjalan di dalam reaktor. *Valve* dan *by pass* digunakan untuk membuka tutup aliran sehingga tekanan dalam reaktor dapat diatur. Selang berfungsi sebagai media pengalir dari bak pengumpul awal menuju bak penampung.

Pada awal pengoperasian reaktor *cross-flow*, *valve* dan *by pass* dibuka dan ditutup secara perlahan untuk *start up* awal tekanan hingga mencapai 2 bar. Setelah mencapai tekanan 2 bar, *permate* ditampung pada wadah yang selanjutnya digunakan untuk analisis kandungan COD dan TSS. Sedangkan aliran air yang mengalir keluar pada saat *by pass* dibuka akan ditampung di

bak penampung sebagai *retentate*. Pengujian membran dalam reaktor dilakukan selama 100 menit untuk setiap variasi penelitian. Pengambilan uji sampel *permeate* dilakukan setiap 20 menit sekali. Berdasarkan penelitian Vania dan Damayanti (2016), *intermitten on/off* pompa dilakukan dengan interval 8 menit hisap (*on*) dan 5 menit berhenti (*off*). Proses pencucian dilakukan saat menit ke-40 dan menit ke-80. Desain reaktor *cross-flow* dapat dilihat pada Gambar 3.10. Prosedur pengaturan membran pada reaktor *cross-flow* secara spesifik dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 3. 10 Skema *Sidestream* MBR dengan Aliran *Cross-flow*



Gambar 3. 11 *Sidestream* Membran Bioreaktor dengan Aliran *Cross-flow*

3.9 Analisis Sampel

Pengamatan dan analisis sampel dilakukan pada dua titik yang berbeda yaitu sebelum dan sesudah limbah domestik digunakan untuk proses filtrasi dengan membran zeolit. Sampel dilakukan analisis uji konsentrasi COD dan TSS mengacu pada standar yang berlaku dan ditunjukkan pada Tabel 3.2. Prosedur pengujian COD dan TSS selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2 dan 3.

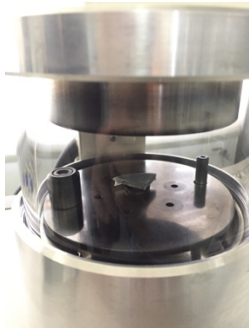
Tabel 3. 2 Metode Standar Pengujian COD dan TSS

No	Parameter	Satuan	Metode Standar	Metode Analisis
1	COD	mg/L	SNI 06-6989.2-2009	Closed Re-flux Titrimetri
2	TSS	mg/L	SNI 06-6989.3-2004	Gravimetri

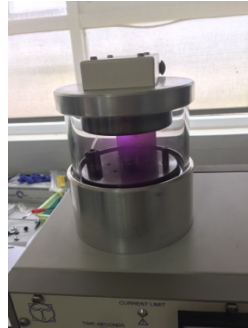
3.10 Analisis Morfologi

Analisis morfologi membran dapat dilakukan dengan metode SEM. Uji struktur dan analisis morfologi dilakukan sebanyak dua kali yaitu membran pada saat sebelum dan setelah digunakan untuk filtrasi. Pengujian morfologi membran dilakukan di Laboratorium Energi ITS dan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian morfologi dengan metode SEM dilakukan dengan cara mengeringkan membran yang akan diujikan. Membran dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm, selanjutnya dilakukan proses vacuum seperti pada Gambar 3.12. Proses vacuum bertujuan untuk mensterilkan membran. Membran yang telah steril dilapisi emas (*coating*) pada Gambar 3.13. Tujuan proses *coating* yaitu mencegah terjadi kerusakan atau terbakar pada permukaan membran akibat penyinaran dengan memantulkan berkas elektron. Setelah dilakukan *coating*, membran yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam *chamber* pada Gambar 3.14. Langkah terakhir yaitu pemotretan terhadap permukaan dan melihat komponen penyusun pada membran pada Gambar 3.15. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan

benda yang ditembak dengan berkas elektron yang berintensitas tertinggi discan keseluruhan permukaan material pengamatan. Luasnya daerah pengamatan dapat dibatasi lokasi pengamatan dengan melakukan *zoom-in* atau *zoom-out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi pada membrane dapat diketahui.



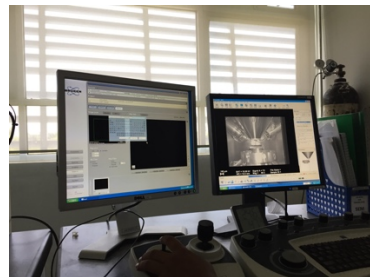
Gambar 3. 12
Proses *Vacuum* Membran



Gambar 3. 13 Proses *Coating* Permukaan Membran



Gambar 3. 14
Chamber SEM-EDX



Gambar 3. 15
Control Monitoring

3.11 Analisis *Scale Up*

Analisis *scale up* membran pada instalasi pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan aspek pengukuran dimensi. Pengukuran dimensi dilakukan dengan cara perhitungan luas permukaan membran yang dibutuhkan dari hasil nilai fluks optimum pada membran yang telah didapatkan pada skala laboratorium dengan beban air limbah kondisi sebenarnya. Serta dilakukan pengkajian dari aspek ekonomi dan lingkungan pada penggunaan membran apabila dilakukan *scale up* ke dalam sebuah pilot plant.

3.12 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang dituangkan dalam bentuk laporan penelitian. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan parameter hasil *permeate* terhadap analisis awal dengan akhir sehingga dapat diketahui persen removal dari setiap variabel yang diuji. Data hasil penelitian yang diperoleh antara lain:

1. Pemurnian zeolit.
2. Pembuatan membran zeolit.
3. Analisis uji kualitas air limbah dan *permeate* dengan parameter COD dan TSS.
4. Analisis larutan pencucian membran terhadap efektifitas kinerja membran.
5. Analisis nilai koefisien rejeksi dan nilai fluks terhadap kualitas air limbah dan *permeate*.
6. Analisis morfologi membran dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).
7. Analisis *scale up* kinerja membran pada instalasi pengolahan air limbah.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakteristik Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan yang meliputi limbah domestik cair yakni buangan kamar mandi, dapur, dan air bekas pencucian pakaian. Air limbah domestik diambil dari Asrama Mahasiswa ITS menggunakan jerigen 50 L. Hasil uji karakteristik awal air limbah domestik sebelum dilakukan filtrasi membran dengan menggunakan membran zeolit dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dinyatakan bahwa parameter COD dan TSS melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Konsentrasi COD dan TSS pada limbah ini yaitu sebesar 217 mg/L dan 402 mg/L. Baku mutu yang telah ditetapkan digunakan sebagai kontrol, dan penentu untuk mengetahui % R yang mampu dihasilkan oleh membran zeolit.

Tabel 4. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik
Asrama Mahasiswa ITS

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Kadar Maksimum*
1	BOD ₅	mg/L	134	30
2	COD	mg/L	217	50
3	TSS	mg/L	402	50
4	Minyak dan Lemak	mg/L	24	10
5	pH		7,20	6 – 9

*Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

Analisis karakteristik awal dan akhir air limbah domestik perlu dilakukan untuk mengetahui nilai fluks dan nilai koefisien rejeksi dari setiap variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent*. Adapun konsentrasi COD dan TSS awal limbah domestik berdasarkan variasi konsentrasi air limbah dan air PDAM dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Konsentrasi COD dan TSS Air Limbah Domestik

No.	Konsentrasi Limbah	Konsentrasi COD (mg/L)	Konsentrasi TSS (mg/L)
1	100%	217	402
2	75%	185	348
3	50%	115	243

4.2 Hasil Pengujian Membran dalam Reaktor

Pada penelitian ini dilakukan pengujian membran kedalam reaktor *sidestream* MBR dengan sistem aliran *cross-flow*. Berdasarkan konfigurasi *sidestream* MBR, *feed* yang akan diuji terlebih dahulu dilakukan pengolahan biologis yaitu aerasi dengan menggunakan aerator selama 24 jam. Pada *sidestream* MBR proses filtrasi dilakukan di luar bioreaktor melalui aliran *feed*. Tujuan aerasi yaitu melakukan *contact mixing* terhadap air dengan udara guna menaikkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air limbah sehingga berguna pada saat perpindahan sesuatu zat / komponen dari satu medium ke medium yang lain berlangsung lebih efisien. Pada saat proses aerasi dilakukan pengujian konsentrasi COD dan TSS pada saat sebelum dan sesudah, serta melakukan pemantauan pada konsentrasi DO pada air limbah yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Konsentrasi Air Limbah Domestik Setelah Proses Aerasi

Konsentrasi Air Limbah	Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)		
	COD	TSS	DO	COD	TSS	DO
100%	217	402	~0	174	357	4
75%	185	348	~0	152	282	5
50%	115	243	~0	98	195	5

Dengan adanya konfigurasi *sidestream* MBR maka peran membran pada bioreaktor membran pemisahan biomassa adalah menggantikan bak sedimentasi sekunder pada proses pengolahan limbah lumpur aktif. Dengan demikian, pemisahan antara efluen dan biomassa yang biasanya mengandalkan pada proses sedimentasi digantikan dengan proses filtrasi menggunakan membran. Hal ini menghasilkan keuntungan utama berupa

penghematan ruang dan dihasilkannya kualitas efluent yang jauh lebih baik dibandingkan kualitas efluent yang dihasilkan proses sedimentasi.

Keterangan Sampel ID pada *permeate* hasil filtrasi membran yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- A : Larutan NaOCl 10%
- B : Larutan Lerak 15%
- V1 : Konsentrasi Air Limbah 100%
- V2 : Konsentrasi Air Limbah 75%
- V3 : Konsentrasi Air Limbah 50%

4.2.1 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning Agent* dalam Membran Bioreaktor *Cross-flow* terhadap Nilai Koefisien Rejeksi (%R) COD

Karakterisasi membran bertujuan untuk mengetahui sifat fisik maupun kimia dari suatu sampel. Salah satu karakterisasi membran yaitu dengan melihat permeselektivitasnya dalam menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu. Nilai permeselektivitas dapat dinyatakan dengan nilai koefisien rejeksi (%R) COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan contoh perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 6.

Karakteristik awal COD pada air limbah domestik setelah dilakukan pengolahan biologis yaitu aerasi adalah 174 mg/L untuk 100% air limbah, 152 mg/L untuk 75% air limbah, dan 98 mg/L untuk 50% air limbah. Pengujian analisis *permeate* membran dilakukan setiap 20 menit selama 100 menit untuk mengetahui nilai koefisien rejeksi membran terhadap parameter COD.

Berdasarkan data pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai koefisien rejeksi (%R) untuk parameter COD semakin meningkat. Nilai koefisien rejeksi (%R) tertinggi pada pengujian membran zeolit untuk parameter COD sebesar 81.6% pada membran dengan konsentrasi air limbah 174 mg/L dan larutan NaOCl 10% pada menit ke-100 dan untuk konsentrasi air limbah 174 mg/L dengan larutan lerak 15% memiliki nilai koefisien rejeksi (%R) sebesar 75% pada menit ke-100. Removal terkecil (%R) dihasilkan pada membran dengan konsentrasi air limbah 98 mg/L dan larutan lerak 15% sebesar 59.5% pada menit ke-100. Semakin rendah konsentrasi awal pada air limbah maka nilai koefisien rejeksi pun

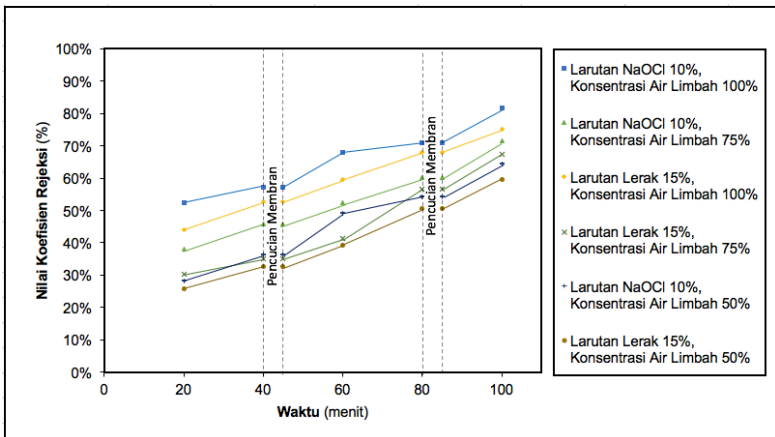
semakin kecil, dikarenakan padatan yang terkandung pada air limbah sangat sedikit sehingga *permeate* yang lolos melewati membran cukup banyak. Menurut Wenten (1997), konsentrasi air limbah yang tinggi menyebabkan konsentrasi pada permukaan membran akan semakin tinggi dan meningkatkan selektivitas membran dan tingginya nilai koefisien rejeksi. Pada umumnya, peristiwa pemisahan larutan menggunakan membran dengan peningkatan nilai koefisien rejeksi akan diikuti dengan penurunan nilai fluks *permeate*.

Tabel 4. 4 Konsentrasi COD dan %R COD terhadap *Cleaning Agent* dan Konsentrasi Air Limbah Domestik

ID	Menit Ke-	Konsentrasi COD	Nilai Koefisien Rejeksi	ID	Menit Ke-	Konsentrasi COD	Nilai Koefisien Rejeksi
		mg/L				mg/L	
AV1	20	82.7	52.5%	BV1	20	97.5	44.0%
	40	74.7	57.1%		40	82.5	52.6%
	60	56.0	67.8%		60	70.5	59.5%
	80	50.7	70.9%		80	55.5	68.1%
	100	32.0	81.6%		100	43.5	75.0%
AV2	20	94.0	38.1%	BV2	20	105.9	30.3%
	40	82.3	45.9%		40	98.8	35.0%
	60	72.5	52.3%		60	89.4	41.2%
	80	60.7	60.0%		80	65.9	56.7%
	100	43.1	71.6%		100	49.4	67.5%
AV3	20	70.3	28.3%	BV3	20	72.7	25.8%
	40	62.5	36.2%		40	66.1	32.5%
	60	50.0	49.0%		60	59.5	39.3%
	80	45.0	54.1%		80	48.5	50.5%
	100	35.0	64.3%		100	39.7	59.5%

Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai koefisien rejeksi diantaranya yaitu pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran, serta distribusi porositas. Menurut Ciptaraharja dan Praptowidodo (2006), tingginya konsentrasi pada air *feed* akan mempercepat terbentuknya *fouling* pada permukaan membran. Peristiwa *fouling* dapat mengakibatkan peningkatan nilai koefisien rejeksi, penurunan umur membran, hingga penggantian membran. Pencegahan terjadinya *fouling* dapat dilakukan dengan pencucian membran dan *pre-treatment* air limbah sebelum dilakukan pemisahan dengan membran. Pada penelitian ini dapat dilihat grafik pengaruh variasi konsentrasi air limbah dan *cleaning agent*

pada membran zeolit terhadap nilai koefisien rejeksi COD yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Semakin besar nilai koefisien rejeksi maka semakin baik kerja membran, karena semakin besar nilai koefisien rejeksi menandakan bahwa semakin kecil konsentrasi pada *permeate* yaitu semakin sedikit suatu senyawa atau zat yang dilewatkan membran. Pencucian membran dilaksanakan pada menit ke-40 dan menit ke-80. Pencucian membran memberikan pengaruh pada nilai koefisien rejeksi pada membran akibat terangkatnya *fouling* yang menempel pada pori-pori membran oleh larutan pencuci. Sehingga, nilai koefisien rejeksi pada membran dapat lebih stabil. nilai fluks dan nilai koefisien rejeksi saling bertolak belakang.

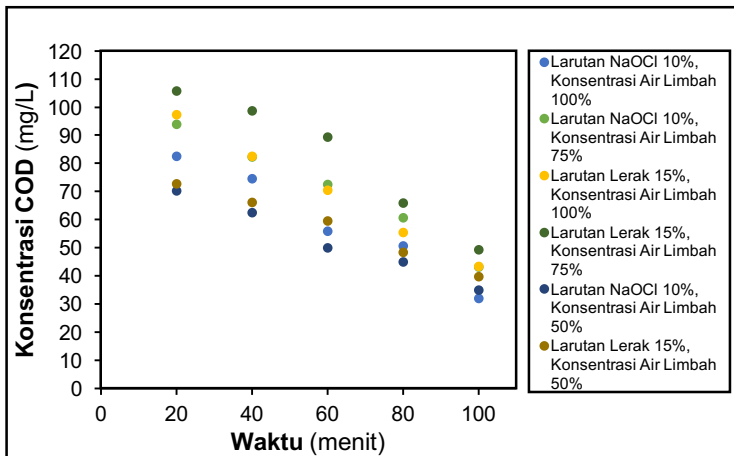


Gambar 4. 1 Nilai Koefisien Rejeksi (%R) COD terhadap Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning Agent* Pada Membran Zeolit

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa pada menit ke-40 dan menit ke-80 dilakukan proses pencucian dengan variasi *cleaning agent* yang digunakan yaitu larutan NaOCl 10% dan larutan lerak 15%. Proses pencucian dapat dilihat pada Lampiran 4. Penggunaan larutan NaOCl 10% cukup efektif dalam melakukan pencucian pada membran dibandingkan dengan larutan lerak 15%. Larutan NaOCl 10% mampu membersihkan *foulant-foulant* yang

menempel pada permukaan membran, sehingga nilai koefisien rejeksi tidak mengalami peningkatan secara drastis dibandingkan dengan membran tanpa perlakuan pencucian dalam kurun waktu tertentu. Proses pencucian mampu memperpanjang *life time* pada membran. Sementara itu, nilai koefisien rejeksi pada membran akan kembali hingga seperti penggunaan membran pada saat pertama kali.

Membran sebagai *molecular sieving* lebih efektif menyaring COD *settleable* pada limbah cair karena ukuran dan keseragaman pori yang ada pada membran (Prमितasari, 2016). Grafik konsentrasi COD dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Konsentrasi COD (mg/L) Terhadap Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning Agent* Pada Membran Zeolit

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menyatakan bahwa pengujian membran pada konsentrasi air limbah 100% memiliki nilai rejeksi COD lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi air limbah 50%. Hal ini disebabkan COD *settleable* air limbah 100% lebih besar dari pada air limbah 50% sehingga membran menunjukkan nilai koefisien rejeksi COD yang lebih tinggi pada pengujian dengan konsentrasi limbah 100%. Nilai koefisien rejeksi COD yang lebih

tinggi terjadi karena peristiwa *fouling* pada konsentrasi air limbah 100% lebih cepat dibandingkan dengan air limbah 50%. Pencegahan peristiwa ini dapat diatasi dengan dilakukannya *pre-treatment* pada air limbah domestik sebelum dilakukan pemisahan pada membran. Serta dilakukan pencucian secara berkala. Pada penelitian ini, membran yang digunakan mampu dilakukan pencucian hingga 6 – 8 kali proses pencucian.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning agent* dalam Membran Bioreaktor *Cross-Flow* terhadap Nilai Koefisien Rejeksi (%R) TSS

Nilai permeselektivitas membran terhadap padatan tersuspensi pada air limbah domestik dapat dilihat dari nilai koefisien rejeksi TSS. Membran dapat menyaring padatan tersuspensi pada air limbah domestik. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian pada Tabel 4.5. Contoh perhitungan nilai koefisien rejeksi (%) TSS dapat dilihat pada Lampiran 6.

Karakteristik awal TSS pada air limbah domestik setelah dilakukan pengolahan biologis yaitu aerasi adalah 357 mg/L untuk 100% air limbah, 282 mg/L untuk 75% air limbah, dan 195 mg/L untuk 50% air limbah.

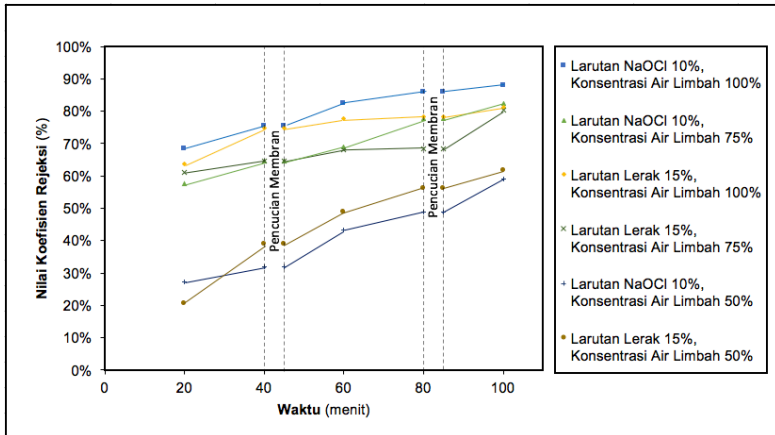
Menurut Mulder (1996), proses pemisahan berbasis membran merupakan proses pemisahan dengan cara menahan salah satu komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya. Pada proses pemisahan perlu adanya gaya dorong berupa tekanan, ketika gaya dorong bekerja pada sisi *feed* maka beberapa bagian padatan terlarut akan tertahan pada membran sedangkan pelarut akan lolos menembus membran. Hal ini menyebabkan konsentrasi *permeate* menjadi lebih rendah dibandingkan konsentrasi *feed* yang menjadi landasan proses pemisahan dengan membran yaitu *molecular sieving*. Terjadinya akumulasi partikel padatan yang disebut dengan polarisasi konsentrasi/*fouling* akan tertahan pada permukaan membran sehingga meningkatkan konsentrasi padatan pada permukaan membran. Peristiwa polarisasi konsentrasi akan sangat berpengaruh pada selektivitas membran.

Tabel 4. 5 Konsentrasi TSS dan %R TSS terhadap *Cleaning Agent* dan Konsentrasi Air Limbah Domestik

ID	Menit Ke-	Konsentrasi TSS	Nilai Koefisien Rejeksi	ID	Menit Ke-	Konsentrasi TSS	Nilai Koefisien Rejeksi
		mg/L				mg/L	
AV1	20	112.5	68.5%	BV1	20	130.0	63.6%
	40	87.5	75.5%		40	90.0	74.8%
	60	62.5	82.5%		60	80.0	77.6%
	80	50.0	86.0%		80	77.8	78.2%
	100	42.9	88.0%		100	66.7	81.3%
AV2	20	120.0	57.4%	BV2	20	110.0	61.0%
	40	100.0	64.5%		40	100.0	64.5%
	60	87.5	69.0%		60	90.0	68.1%
	80	62.5	77.8%		80	88.9	68.5%
	100	50.0	82.3%		100	55.6	80.3%
AV3	20	71.4	27.1%	BV3	20	77.8	20.6%
	40	66.7	32.0%		40	60	38.8%
	60	55.6	43.3%		60	50	49.0%
	80	50.0	49.0%		80	42.9	56.3%
	100	40.0	59.2%		100	37.5	61.7%

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa membran dengan konsentrasi air limbah 100% dengan konsentrasi TSS yaitu 357 mg/L pada penggunaan larutan NaOCl 10% sebagai larutan pencuci memberikan nilai koefisien rejeksi (%R) TSS terbesar yaitu 88% pada menit ke-100. Konsentrasi air limbah 50% dengan konsentrasi TSS 195 mg/L dan larutan NaOCl 10% memiliki nilai koefisien rejeksi (%R) TSS yaitu 59.2%. Konsentrasi TSS pada menit ke-100 dengan menggunakan larutan NaOCl dan variasi konsentrasi air limbah memiliki hasil nilai konsentrasi yang sudah memenuhi standar baku mutu yaitu 50 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Sedangkan pada larutan lerak 15% untuk konsentrasi TSS 50% telah mencapai standar baku mutu yaitu 37.5 mg/L, dan konsentrasi TSS 75% hampir memenuhi standar baku mutu yaitu 55.6 mg/L. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu diantaranya ukuran pori pada membran, distribusi porositas, proses pencucian yang terjadi pada membran. Ukuran pori pada membran zeolit pada penelitian ini memiliki ukuran rata-rata yaitu 9 - 25 μm . Ukuran pori ini tentunya juga menjadi faktor utama dalam proses pemisahan yang terjadi pada membran dan mempengaruhi hasil nilai koefisien rejeksi (%R) pada tiap-tiap membran. Nilai koefisien rejeksi (%R) TSS menunjukkan bahwa membran masih

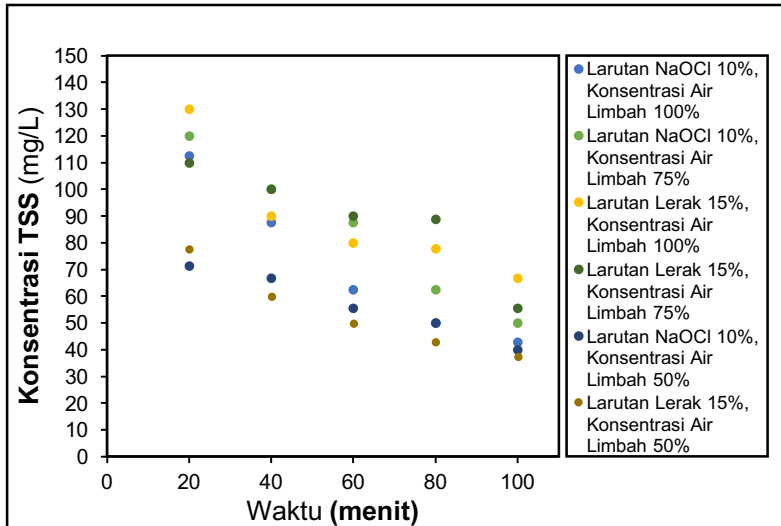
memiliki kemampuan untuk menyaring TSS. Semakin besar konsentrasi air limbah nilai koefisien rejeksi yang didapat juga semakin besar. Hal ini dipengaruhi karena kandungan polutan yang tinggi pada konsentrasi air limbah menyebabkan semakin banyak polutan yang tertahan pada membran yang menyebabkan pori membran semakin sempit atau yang sering disebut dengan *fouling*.



Gambar 4. 3 Nilai Koefisien Rejeksi (%R) TSS terhadap Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning Agent* Pada Membran Zeolit

Gambar 4.3 menjelaskan bahwa proses pencucian mampu membersihkan *foulant* pada permukaan membran sehingga kinerja pada membran kembali efektif. *Foulant* pada permukaan membran tergolong *foulant irreversibel* dalam hal ini mampu dihilangkan dengan proses pencucian pada membran. Menurut Bacchin *et al.* (2006), *foulant* dapat menyebabkan *fouling* melalui mekanisme *pore blockage* yaitu terjadi jika komponen dalam *feed* menutupi pori membran secara total maupun parsial. Namun, *foulant* yang telah terdeposisi pada permukaan membran dapat terus tumbuh membentuk lapisan *cake* yang menyebabkan penambahan tahanan hidrolis atau yang disebut dengan mekanisme deposit. Dengan adanya pencucian membran %R

tidak terjadi peningkatan secara drastis dibandingkan tanpa adanya proses pencucian, maka dari itu didapatkan range %R yang cukup stabil dalam penyisihan TSS.



Gambar 4. 4 Konsentrasi TSS (mg/L) terhadap Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning Agent* Pada Membran Zeolit

Gambar 4.4 menyatakan bahwa konsentrasi TSS mengalami penurunan selama proses pemisahan berlangsung dengan menggunakan membran. Air limbah dengan konsentrasi 100% memiliki nilai koefisien rejeksi yang lebih tinggi karena kandungan partikel yang lebih tinggi dibandingkan limbah dengan konsentrasi 50%. Kenaikan nilai koefisien rejeksi TSS sejalan juga dengan kenaikan efisiensi COD yang disebabkan karena partikel tersuspensi pada air limbah mengandung hampir 70% dari total COD (Prमितasari, 2016).

4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah dan *Cleaning agent* dalam Membran Bioreaktor *Cross-Flow* terhadap Nilai Fluks (J)

Filtrasi dengan membran akan didapatkan hasil *permeate* yang digunakan sebagai penentuan karakterisasi membran khususnya pada permeabilitas membran. Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran. Secara kuantitas, permeabilitas membran sering dinyatakan sebagai fluks atau koefisien permeabilitas. Definisi dari fluks adalah jumlah volume *permeate* yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Fluks menjadi parameter penting dalam penentuan kinerja membran, berperan penting dalam menentukan biaya perawatan dan operasional secara keseluruhan (Sari, 2016). Luas permukaan membran yang dilewati oleh air limbah yaitu berdiameter 4 cm dengan waktu beroperasi 100 menit. Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material dipermukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling* (Yunarsih, 2013).

Fouling pada membran disebabkan oleh partikel atau koloid yang terdapat pada air *feed* dan terdeposisi pada permukaan membran. Bahan organik, presipitat garam anorganik yang telah lama terdeposit pada membran, dan pertumbuhan mikroorganisme merupakan penyebab terjadinya *fouling* (Porcelli dan Jud, 2010). Lapisan ini semakin lama semakin menebal sehingga terhalangnya air *feed* melewati membran dan mengurangi fluks membran. *Fouling* membran pada proses filtrasi umumnya ditandai dan diukur dari penurunan nilai fluks pada kondisi operasi konstan. Pencucian membran merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengurangi *fouling* pada permukaan membran (Greenlee *et al.*, 2009). Metode pencucian dengan larutan kimia pada membran mampu mengembalikan kondisi membran menjadi lebih bersih, memperbaiki nilai fluks membran dan mampu memperpanjang umur membran. Nilai fluks pada membran dapat dilihat pada Tabel 4.6 untuk pencucian dengan larutan NaOCl 10% dan Tabel 4.7 untuk pencucian dengan

larutan lerak 15%. Perhitungan nilai fluks membran dapat dilihat pada Lampiran 7.

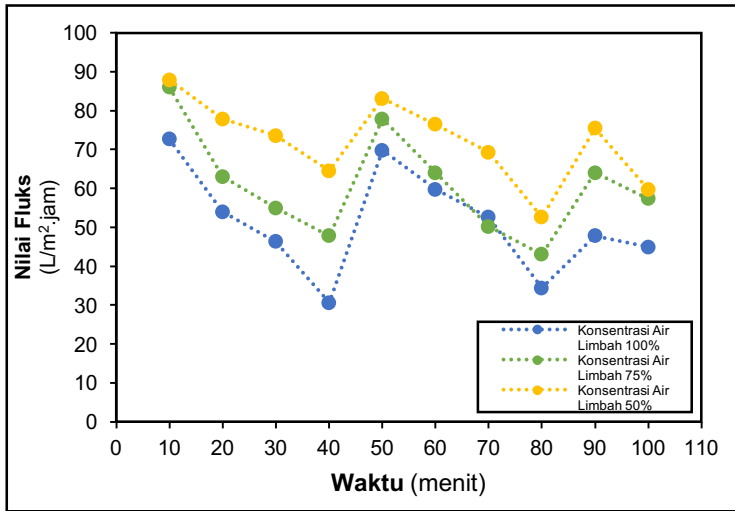
Menurut Wenten (1995), larutan NaOCl merupakan larutan desinfeksi yang dapat menghilangkan *foulant* organik pada membran. Desinfektan mampu menghilangkan mikroorganisme patogen. Desinfektan dalam air terdisosiasi menghasilkan asam hipoklorit dan NaOH. Asam hipoklorit yang dihasilkan inilah yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme. Konsentrasi larutan NaOCl yang dipakai untuk perendaman membran sangat berpengaruh pada fluks membran yang dihasilkan.

Tabel 4. 6 Nilai Fluks Membran dengan Larutan NaOCl 10%

Menit Ke-	Sample ID					
	AV1		AV2		AV3	
	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)
	mL	L/m ² .jam	mL	L/m ² .jam	mL	L/m ² .jam
10	15.2	72.6	18	86.0	18.4	87.9
20	11.3	54.0	13.2	63.1	16.3	77.9
30	9.7	46.3	11.5	54.9	15.4	73.6
40	6.4	30.6	10	47.8	13.5	64.5
50	14.6	69.7	16.3	77.9	17.4	83.1
60	12.5	59.7	13.4	64.0	16	76.4
70	11	52.5	10.5	50.2	14.5	69.3
80	7.2	34.4	9	43.0	11	52.5
90	10	47.8	13.4	64.0	15.8	75.5
100	9.4	44.9	12	57.3	12.5	59.7

Bedasarkan Tabel 4.6 nilai fluks pada berbagai jenis konsentrasi air limbah menunjukkan terjadinya penurunan serta peningkatan kembali setelah terjadi proses pencucian. Konsentrasi air limbah 50% menghasilkan volume *permeate* yang lebih banyak dibandingkan dengan volume *permeate* pada konsentrasi air limbah 100%. Volume *permeate* akan mempengaruhi hasil nilai fluks terhadap satuan luas dan waktu pada membran. Pada menit ke-10 pada pengujian membran, volume *permeate* yang dihasilkan lebih tinggi dikarenakan pori-pori pada membran yang digunakan belum terjadi peristiwa *pore blockage* oleh *foulant-foulant* yang menempel pada permukaan membran. Namun setelah menit ke-10 membran mengalami penurunan nilai fluks yang disebabkan oleh terdposisi *foulant* pada permukaan membran. Pencucian membran pada penelitian

ini dilakukan secara berkala hal ini mampu memperpanjang umur membran dan menjaga nilai fluks pada membran agar tidak terjadi penurunan secara drastis akibat peristiwa *fouling*. Perubahan nilai fluks pada membran dengan menggunakan larutan pencuci yaitu larutan NaOCl 10% dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengaruh Larutan NaOCl 10% terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit

Gambar 4.5 menyatakan bahwa terjadinya *fouling* akan menurunkan volume *permeate*, sehingga harus dijaga kontinuitas aliran dengan dilakukan pencucian secara berkala. Pada menit ke-40 dan menit ke-80 dilakukan proses pencucian dengan menggunakan *cleaning agent* yaitu larutan NaOCl 10% selama 15 menit untuk perendaman dan dibilas dengan aquades hingga bersih. Nilai fluks setelah dicuci dengan larutan NaOCl 10% yaitu pada konsentrasi air limbah 100% dengan pencucian pertama 69.7 L/m².jam dan pencucian kedua 47.8 L/m².jam, konsentrasi air limbah 75% pencucian pertama 77.9 L/m².jam dan pencucian kedua 64 L/m².jam, dan konsentrasi air limbah 50% pencucian pertama 83.1 L/m².jam dan pencucian kedua 75.5 L/m².jam. ΔNilai

fluks (J) yang tinggi terjadi pada membran dengan larutan NaOCl 10% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 39.2 L/m².jam pada pencucian pertama dan 13.4 L/m².jam pada pencucian kedua.

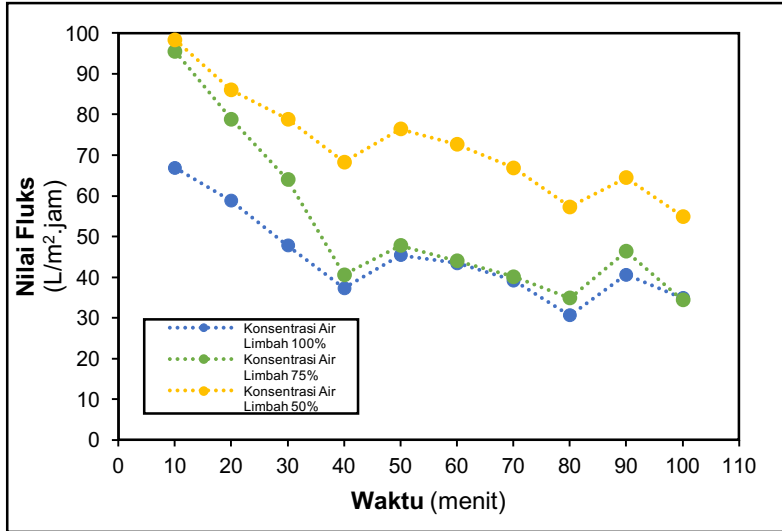
Nilai fluks (J) menurun drastis sejalan dengan waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material dipermukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling* (Yunarsih, 2013). Kondisi operasi yang harus diperhatikan ketika pencucian membran yaitu jenis larutan pencuci, pH larutan pencuci, dosis larutan, waktu pencucian, dan suhu pencucian. Hal ini akan mempengaruhi proses interaksi antara larutan pencuci dengan membran dalam menghilangkan *foulant-foulant* yang ada. Pada larutan NaOCl mampu menghilangkan *foulant-foulant* pada membran dengan baik berdasarkan hasil ΔNilai fluks (J) pada pencucian pertama dan kedua terhadap membran.

Tabel 4. 7 Nilai Fluks Membran dengan Larutan Lerak 15%

Menit Ke-	Sample ID					
	BV1		BV2		BV3	
	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)
	mL	L/m ² .jam	mL	L/m ² .jam	mL	L/m ² .jam
10	14	66.9	20	95.5	20.6	98.4
20	12.3	58.8	16.5	78.8	18	86.0
30	10	47.8	13.4	64.0	16.5	78.8
40	7.8	37.3	8.5	40.6	14.3	68.3
50	9.5	45.4	10	47.8	16	76.4
60	9.1	43.5	9.2	43.9	15.2	72.6
70	8.2	39.2	8.4	40.1	14	66.9
80	6.4	30.6	7.3	34.9	12	57.3
90	8.5	40.6	9.7	46.3	13.5	64.5
100	7.3	34.9	7.2	34.4	11.5	54.9

Berdasarkan Tabel 4.7 nilai fluks membran dengan penggunaan larutan pencuci yaitu larutan lerak 15% memiliki ΔNilai fluks (J) yang tidak cukup besar. Hal ini disebabkan konsentrasi pada larutan lerak 15% sangat rendah, sehingga dalam proses penghilangan *foulant* pada membran kurang efektif. Konsentrasi pada larutan pencuci sangat mempengaruhi membran dalam proses pencucian pada membran. Proses pencucian didasari oleh dua tipe operasi yaitu operasi pembilasan dan operasi pencucian. Operasi pembilasan yaitu menghilang lapisan tipis cair atau partikel yang menempel pada permukaan. Pada

pembilasan awal terjadi penghilangan bahan-bahan *biological*, sedangkan pembilasan lainnya dilakukan pada residu pencuci (deterjen, desinfektan). Operasi pencucian yaitu menghilangkan pengotor yang menempel kuat pada permukaan.



Gambar 4. 6 Pengaruh Larutan Lerak 15% Terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit

Berdasarkan Gambar 4.6 pada menit ke-40 dan menit ke-80 terjadi proses pencucian dengan menggunakan *cleaning agent* yaitu larutan lerak 15%. Peningkatan nilai fluks setelah dicuci dengan larutan lerak 15% yaitu pada konsentrasi air limbah 100% dengan pencucian pertama 45.4 L/m².jam dan pencucian kedua 40.6 L/m².jam, konsentrasi air limbah 75% pencucian pertama 47.8 L/m².jam, dan pencucian kedua 46.3 L/m².jam, dan konsentrasi air limbah 50% pencucian pertama 76.4 L/m².jam dan pencucian kedua 64.5L/m².jam. ΔNilai fluks (J) pada larutan lerak 15% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 8.1 L/m².jam pada pencucian pertama dan 10.0 L/m².jam pada pencucian kedua.

Dalam pengolahan air limbah, pengendalian *fouling* dilakukan mulai dari proses *pre-treatment* air *feed* untuk menghilangkan

padatan terlarut (Shon *et al.*, 2009) dan mencegah aktivitas biologis pada mikroba (Al-Juboori dan Yusaf, 2012). *Fouling* pada membran umumnya disebabkan oleh kurang efektifnya proses *pre-treatment* pada air *feed* (Lee *et al.*, 2006). Beberapa senyawa anorganik penyebab *fouling* yang terdapat pada air limbah domestik yaitu CaCO_3 (Yang *et al.*, 2008), CaSO_4 (Antony *et al.*, 2011), SiSO_4 (Chesters, 2009).

Larutan lerak berasal dari buah lerak. Buah lerak adalah biji dari pohon yang memiliki nama binomial *Sapindus rarak* Dc. Buah lerak (*Sapindus rarak*) mengandung senyawa Saponin, zat inilah yang menghasilkan busa dari buah lerak. Saponin adalah kelas senyawa kimia yang memiliki kemampuan untuk membersihkan dan mencuci. Penelitian menunjukkan bahwa dari senyawa saponin, alkaloid, steroid dan triterpen pada lerak masing-masing berurutan mengandung bahan aktif sebesar 12%, 1%, 0,036% dan 0,029%. Saponin terbukti mempunyai kemampuan pembersih yang sangat baik yang mampu menghapus kotoran dari segala macam material. Saponin sangat efektif juga lembut dan ramah lingkungan. Kelebihan lain lerak dibandingkan dengan sabun atau deterjen kimia adalah lebih ekologis dan ekonomis. Limbah lerak dapat diuraikan oleh alam dan tingkat pencemarannya hampir tidak ada. Air bekas cucian bisa diurai mikroorganisme sehingga tidak mencemari lingkungan. Namun penggunaan larutan lerak kurang efektif dikarenakan konsentrasi yang digunakan pada larutan pencuci ini sangatlah rendah, sehingga dalam membersihkan *foulant* yang ada hanya sebatas di permukaan membran saja.

Berdasarkan larutan pencuci yang telah digunakan pada penelitian maka *Cleaning agent* membran terbaik terhadap efektifitas kinerja membran zeolit yaitu dengan larutan NaOCl 10%. Nilai koefisien rejeksi (%) membran zeolit yang optimal pada membran yaitu 82% pada konsentrasi awal COD 174 mg/L dengan larutan NaOCl 10% dan 88% pada konsentrasi awal TSS 357 mg/L dengan larutan NaOCl 10%. Δ Nilai fluks (J) yang tinggi terjadi pada membran dengan larutan NaOCl 10% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 39.2 L/m^2 .jam pada pencucian pertama dan 13.4 L/m^2 .jam pada pencucian kedua. Sedangkan Δ Nilai fluks (J) pada larutan lerak 15% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 8.1

L/m².jam pada pencucian pertama dan 10.0 L/m².jam pada pencucian kedua.

Berdasarkan pengaruh jenis larutan pencucian, maka diperlukan konsentrasi *cleaning agent* pada membran yang divariasikan karena hal ini sangat mempengaruhi dari potensi larutan itu sendiri dalam melakukan pencucian membran. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan variasi konsentrasi *cleaning agent* yang digunakan pada membran. Selain itu, lama waktu operasi membran pun juga mempengaruhi frekuensi pencucian terhadap kinerja membran dalam beroperasi sebagai *molecular sieving*. Frekuensi pencucian membran berdasarkan lama waktu operasi kinerja membran yang digunakan pada reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.8. Dengan frekuensi pencucian membran ini nantinya akan diketahui umur membran dan pengaruh larutan pencucian terhadap pencucian membran. Frekuensi pencucian pada umumnya dalam skala *pilot plant* yaitu sebanyak 6 – 8 kali proses pencucian pada membran secara berkala.

Tahap pencucian membran secara umum meliputi penghilangan *foulant*, pembilasan menggunakan air de-ion, pencucian satu tahap atau dua tahap, dan pembilasan menggunakan air (Ang *et al.*, 2006). Tiga *foulant* utama yang mengotori membran zeolit pada aplikasi reaktor *cross-flow* air limbah domestik adalah *foulant* organik, *foulant* mikroba, dan *foulant* mineral anorganik.

Menurut Wenten (1995), mekanisme pencucian dapat dibagi menjadi empat tahap. Tahap pertama yaitu menetapkan kontak antara larutan pencuci dan pengotor yang akan dihilangkan. Tahap kedua yaitu pembasahan dan penetrasi pengotor oleh larutan pencuci; reaksi antara komponen pengotor dengan pencuci. Reaksi yang mungkin terjadi adalah peptisasi campuran organik, dan penyebaran mineral dan emulsifikasi lemak. Tahap ketiga yaitu penyebara pengotor yang diperoleh dari larutan pencuci, dengan pengumpulan, penyebaran dan emulsifikasi. Tahap keempat yaitu pencegahan fenomena redoposisi dari kotoran yang sudah terdispersi ke permukaan yang sudah bersih.

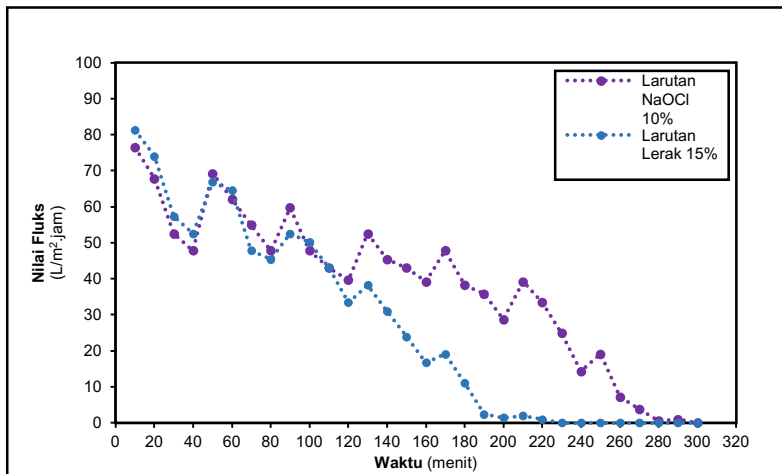
Tabel 4. 8 Nilai Fluks Membran dengan *Cleaning Agent*

Menit Ke-	Sample ID				Keterangan
	Larutan NaOCl 10%		Larutan Lerak 15%		
	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	Volume Permeate	Nilai Fluks (J)	
	mL	L/m ² .jam	mL	L/m ² .jam	
10	16	76.4	17	81.2	Pencucian pada menit ke-40, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 21.5 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 14.3 L/m ² .jam
20	14.2	67.8	15.5	74.0	
30	11	52.5	12	57.3	
40	10	47.8	11	52.5	
50	14.5	69.3	14	66.9	Pencucian pada menit ke-80, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 11.9 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 7.2 L/m ² .jam
60	13	62.1	13.5	64.5	
70	11.5	54.9	10	47.8	
80	10	47.8	9.5	45.4	
90	12.5	59.7	11	52.5	Pencucian pada menit ke-120, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 12.9 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 4.8 L/m ² .jam
100	10	47.8	10.5	50.2	
110	9	43.0	9	43.0	
120	8.3	39.6	7	33.4	
130	11	52.5	8	38.2	Pencucian pada menit ke-160, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 8.6 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 2.4 L/m ² .jam
140	9.5	45.4	6.5	31.1	
150	9	43.0	5	23.9	
160	8.2	39.2	3.5	16.7	
170	10	47.8	4	19.1	Pencucian pada menit ke-200, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 10.5 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 0.5 L/m ² .jam
180	8	38.2	2.3	11.0	
190	7.5	35.8	0.5	2.4	
200	6	28.7	0.3	1.4	
210	8.2	39.2	0.4	1.9	Pencucian pada menit ke-240, perubahan nilai fluks pada larutan NaOCl 10% yaitu 4.8 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 0 L/m ² .jam
220	7	33.4	0.2	1.0	
230	5.2	24.8	0	0.0	
240	3	14.3	0	0.0	
250	4	19.1	0	0.0	Pencucian pada menit ke-280, ΔJ (fluks) pada larutan NaOCl 10% yaitu 0.5 L/m ² .jam dan larutan lerak 15% yaitu 0 L/m ² .jam
260	1.5	7.2	0	0.0	
270	0.8	3.8	0	0.0	
280	0.1	0.5	0	0.0	
290	0.2	1.0	0	0.0	Pencucian pada menit ke-300 dihentikan.
300	0	0	0	0.0	

Berdasarkan Tabel 4.8 terjadinya kenaikan fluks membran setelah dilakukan perendaman dalam larutan NaOCl ada beberapa pendapat dari peneliti terdahulu yang percobaannya

dilakukan dengan polimer membran berbeda. Ahmad (2009) mengatakan bahwa adanya senyawa aditif polivinil pirrolidon yang terperangkap dalam pori-pori membran akan menghalangi laju fluks karena senyawa ini dalam air bersifat mengembang (*swelling*). Apabila membran direndam dalam larutan NaOCl, maka aditif polivinil pirrolidon, akan bereaksi dengan NaOCl dan memutus rantai cincin yang ada pada senyawa polivinil pirrolidon sehingga molekulnya menjadi kecil dan dengan mudah lepas keluar dari dalam pori membran.

Ahmad (2009) mengatakan bahwa perendaman membran dalam larutan NaOCl mengakibatkan aditif polivinil pirrolidon yang terperangkap dalam pori yang tadinya “*swelling*” akan mengecil atau menyusut (*shrinking*), sehingga mempermudah laju fluks. Mungkin juga kedua faktor ini terjadi bersamaan saat perendaman membran dalam larutan NaOCl.



Gambar 4. 7 Pengaruh Larutan NaOCl 10% dan Larutan Lerak 15% terhadap Nilai Fluks Pada Membran Zeolit

Menurut Ahmad (2009), apabila semakin meningkat konsentrasi larutan NaOCl yang dipakai untuk merendam membran, semakin turun nilai koefisien rejeksi membran yang diperoleh. Hal tersebut menunjukkan terjadinya perubahan ukuran

pori pada membran yang diperlakukan dengan larutan NaOCl di mana pori yang tadinya kecil berubah menjadi besar. Namun kekurangan pada penelitian ini tidak dilakukan perbedaan konsentrasi larutan NaOCl. Berdasarkan Gambar 4.7 pada penelitian ini membran pada penggunaan *cleaning agent* Larutan NaOCl 10% mengalami kerusakan akibat terlalu sering dicuci yaitu permukaan membran sedikit tergerus dan rusak sehingga tidak bisa digunakan kembali pada menit ke-300. Sedangkan pada larutan Lerak 15%, *foulant* yang tidak terangkat pada proses pencucian mengalami akumulasi pada permukaan dan menjadi *scaling* sehingga membuat pori-pori pada membran tersumbat. Pada menit ke-230, membran tidak mampu menghasilkan *permeate* pada saat proses filtrasi. Membran dengan larutan pencuci NaOCl 10% mampu dilakukan proses pencucian hingga 8 kali, sedangkan membran dengan larutan pencuci lerak 15% dilakukan proses pencucian hingga 6 kali.

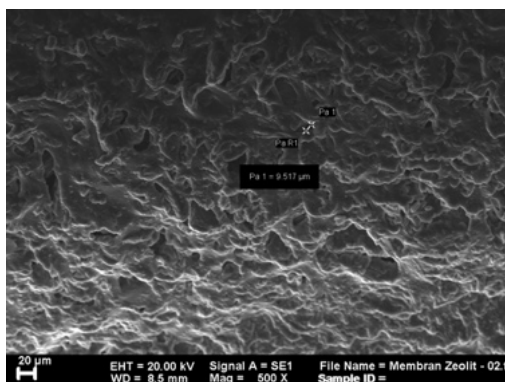
4.3 Analisis Morfologi Membran Zeolit

Salah satu cara untuk mengetahui morfologi membran adalah dengan uji SEM. Analisa SEM dapat memberikan informasi bentuk dan perubahan atau morfologi permukaan dari membran yang dianalisis.

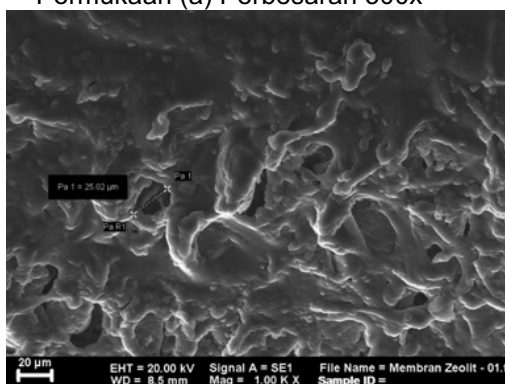
Pada penelitian ini, membran zeolit yang telah dibuat merupakan jenis membran anorganik berdasarkan morfologinya. Penentuan klasifikasi membran dapat dilihat dari besarnya ukuran pori membran serta ketebalan pada membran yang telah diuji dengan analisa SEM.

Membran zeolit dilakukan pengujian sebanyak 2 kali yaitu sebelum dan sesudah membran zeolit digunakan sebagai filtrasi pada MBR dengan sistem pengaliran *cross-flow*. Pengujian dilakukan dengan 2 kali perbesaran pada membran yang diuji. Data yang didapatkan selanjutnya digunakan sebagai penentuan karakterisasi membran. Hasil analisa SEM pada permukaan membran sebelum membran zeolit digunakan sebagai filtrasi dapat dilihat pada Gambar 4.8 untuk perbesaran 500x dan Gambar 4.9 untuk perbesaran 1000x. Pada gambar tersebut terlihat jelas bahwa terdapat pori-pori pada permukaan membran yang dapat diamati dari warna. Pada warna gelap menyatakan bahwa adanya lubang atau pori pada permukaan membran. Pori yang telah dilihat

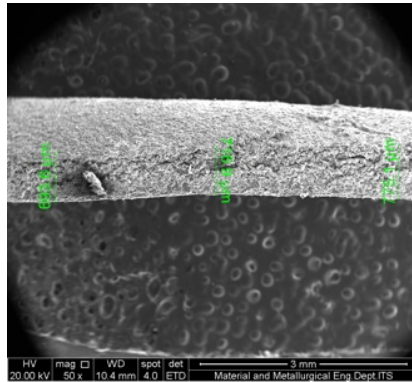
selanjutnya dilakukan pengukuran lebar secara langsung pada saat pengujian. Pada pengukuran lebar pori seharusnya dilakukan pada semua pori yang ada agar memberikan hasil ukuran pori yang lebih representatif, namun pada penelitian ini hanya mengukur lebar pori di beberapa titik. Sehingga pengukuran pori pada membran kurang mendeskripsikan pada karakteristik membran dengan baik.



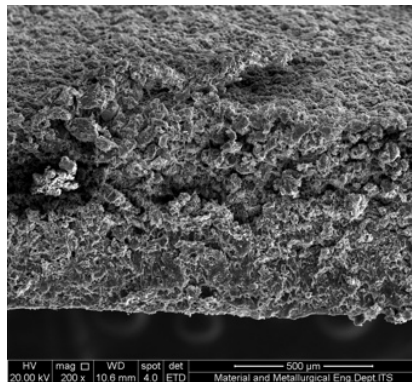
Gambar 4. 8 Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Permukaan (a) Perbesaran 500x



Gambar 4. 9 Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 1000x



Gambar 4. 10 Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Potongan Melintang Perbesaran 50x



Gambar 4. 11 Hasil Uji SEM Membran Sebelum Filtrasi Pada Potongan Melintang Perbesaran 200x

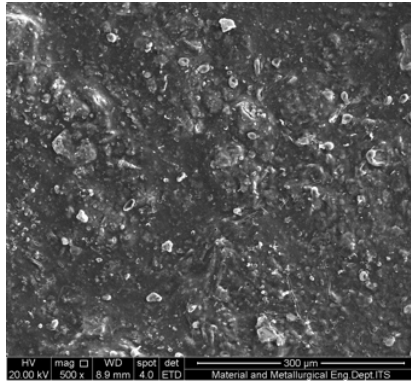
Pengukuran ketebalan membran berguna untuk pemakai maupun pembuat membran karena ketebalan membran merupakan salah satu indikator keseragaman dan kontrol kualitas membran. Pengukuran ketebalan membran dapat digunakan alat mikrometer, dan diukur secara acak kemudian dihitung ketebalan rata-ratanya (Mulder,1996).

Berdasarkan hasil uji SEM pada permukaan dan potongan melintang membran yang digunakan pada penelitian ini tergolong pada membran yaitu dengan spesifikasi sebagai berikut :

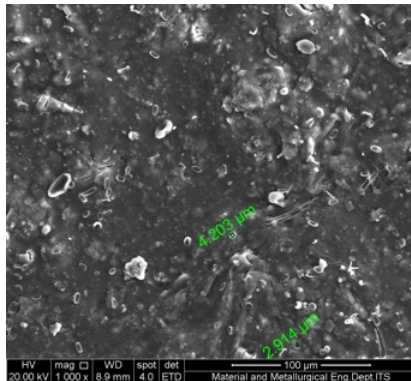
- Membran : asimetrik berpori
- Ketebalan
 - Sisi kiri : 693.6 μm
 - Sisi tengah : 716.9 μm
 - Sisi kanan : 775.1 μm
 - Rata-rata ketebalan : 718.53 μm
- Ukuran pori
 - Titik 1 : 9 - 25 μm
 - Titik 2 : 2.914 μm – 4.203 μm
- Gaya pendorong : tekanan 2 bar
- Prinsip pemisahan : mekanisme sieving
- Material membran : polimer (PVA, PEG, Zeolit)
- Aplikasi utama : Pengolahan air

Membran yang telah dibuat pada penelitian ini, memiliki ukuran pori yang beragam sehingga terdapat beberapa bagian ukuran pori yang memenuhi kriteria yaitu pada membran mikrofiltrasi dan sisanya yaitu membran berpori. Ketebalan pada membran tidak termasuk dalam kriteria tersebut yaitu 10 – 150 μm . Hal ini disebabkan karena metode pembuatan membran yang digunakan kurang efektif sehingga perlu inovasi baru dalam pembuatan membran yang dapat mengatur ketebalan dan ukuran pori secara merata.

Selanjutnya dilakukan kajian morfologi membran terhadap hasil uji SEM membran setelah filtrasi. Kajian morfologi membran setelah filtrasi bertujuan untuk membuktikan bahwa adanya foulant pada membran yang menutupi permukaan membran. Hal ini lah yang mampu menurunkan kinerja membran khususnya pada nilai fluks, namun pada nilai koefisien rejeksi akan meningkat. Hasil uji SEM membrane setelah filtrasi dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 12 Hasil Uji SEM Membran Setelah Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 500x



Gambar 4. 13 Hasil Uji SEM Membran Setelah Filtrasi Pada Permukaan Perbesaran 1000x

Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menyatakan bahwa butiran putih yang tersebar di permukaan membran adalah *foulant*. Pori-pori membran yang tersebar merata di permukaan membran tertutupi oleh *foulant* yang menempel. Ukuran pori-pori pada permukaan membran setelah filtrasi diantaranya yaitu $2.914 \mu\text{m}$ – $4.203 \mu\text{m}$. Penutupan pori-pori membran oleh *foulant* ini lah yang

menyebabkan nilai fluks pada aliran *permeate* menurun yang tentunya juga mempengaruhi nilai %rejeksi pada parameter COD dan TSS.

4.4 Analisis Scale Up

Analisis *scale up* membran pada instalasi pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan aspek pengukuran dimensi. Pengukuran dimensi dilakukan dengan cara perhitungan luas permukaan membran yang dibutuhkan dari hasil nilai fluks optimum pada membran yang telah didapatkan pada skala laboratorium dengan beban air limbah kondisi sebenarnya.

Jumlah kapasitas penghuni pada Asrama Mahasiswa ITS yaitu 800 orang dan karyawan pada Asrama Mahasiswa ITS yaitu 25 orang. Total jumlah penghasil air limbah di Asrama Mahasiswa ITS yaitu 825 orang. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, volume limbah cair maksimum yaitu 120 L/orang.hari. Perencanaan membran bioreaktor ini akan digunakan sebagai pengganti bak pengendap II dengan prinsip kerja *molecular sieving*. *Scale up* dilakukan dengan konsentrasi air limbah 100% dengan larutan pencuci NaOCl 10% pada nilai fluks tertinggi yaitu 72.6 L/m².jam menit ke-10. Berdasarkan data yang telah diketahui dapat dihitung ukuran dimensi membran bioreaktor yaitu sebagai berikut :

- Luas permukaan membran yang dilewati aliran feed pada penelitian yaitu 0.001256 m²
- Jumlah pengguna air : 825 orang
- Debit limbah cair (Q) : 120 L/orang.hari x 825 orang
: 99000 L/hari
: 4125 L/jam
: 1.15 L/detik
- Nilai Fluks (J) : 72.6 L/m².jam
- Luas permukaan membran : $\frac{Q}{J} = \frac{4125 \text{ L/jam}}{72.6 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}} = 56.82 \text{ m}^2$
- Ketebalan membran : 718.53 μm
- Tekanan pada membran : 2 bar

Apabila menggunakan sistem *sidestream* membran bioreaktor, maka dibutuhkan tangki aerasi dan kompartemen untuk membran. Tangki aerasi dan membran merupakan pengolahan dwi tunggal yang tidak bisa dipisahkan. Adapun perhitungan

dimensi tangki aerasi yang dapat dilakukan berdasarkan kriteria perencanaan oleh Tchobanoglous *et al.* (2013) yaitu antara lain:

Kriteria Desain :

- θ_c : 5 -15 hari
- F/M ratio : 0.2 – 0.6 kg BOD/kg MLVSS.hari
- MLSS : 1500 – 4000 mg/L
- OLR : 0.3 – 1.6 kg BOD/m³.hari
- X_R : 4000 – 12000 mg/L
- Q_R/Q ratio : 0.25 – 1
- Kedalaman bak : 3 – 5 m
- Freeboard : 0.3 – 0.6 m
- P : L : (1 – 2.2) : 1
- Lebar bak : 6 – 12 m
- MLVSS/MLSS : 0.6 – 0.8
- Y : 0.2 – 0.7

Diketahui :

- Debit air limbah (Q) : 99 m³/hari
- BOD influent : 134 mg/L
- COD influent : 217 mg/L
- TSS influent : 402 mg/L
- BOD effluent : 30 mg/L

Direncanakan :

- Biological solid effluent : 65% biodegradable
- BOD_u : 1,42 x *biodegradable biological solid*
- BOD_5 solid : 68% x BOD_u
- BOD_5 larut yang lolos : BOD effluent - BOD_5 solid
- θ_c : 15 hari
- MLSS : 4000 mg/L
- X_R : 10000 mg/L
- Y : 0.6
- S_o : 134 mg/L
- X (MLVSS) : 3200 mg/L
- Kd : 0.06/hari

Volume Tangki Aerasi :

$$V = \frac{[\theta_c \times Y \times Q \times (S_o - S)]}{X / (1 + (k_d \times \theta_c))}$$

$$= \frac{[15 \text{ hari} \times 0,6 \times 99 \text{ m}^3/\text{hari} \times (134 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L})]}{}$$

$$\frac{3200\text{mg/L}}{1 + (0.06/\text{hari} \times 15 \text{ hari})} = 55 \text{ m}^3$$

Dimensi tangki aerasi

Kedalaman air (H)	= 3 m
Panjang : Lebar	= 1.2 : 1
Volume	= P x L x H
55 m ³	= 1.2 L x L x 3 m
18.34 m ³	= 1.2 L ²
L	= 3.9 m ~ 4 m
P	= 1.2 x L
	= 1.2 x 4 m
	= 4.8 m

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan dimensi tangki aerasi adalah :

- Panjang = 4.8 m
- Lebar = 4 m
- Kedalaman air (H) = 3 m
- Freeboard = 0.3 m

Salah satu penunjang dalam kinerja operasi *sidestream* MBR yaitu perawatan pada unit yang dilakukan secara rutin. Perawatan dilakukan dengan proses pencucian pada membran. Tujuan dari proses pencucian pada membran agar mampu memperpanjang umur membran, dan menghilangkan *foulant* akibat peristiwa *fouling*. Berdasarkan hasil penelitian maka pencucian membran pada skala *pilot plant* dapat dilakukan tiap 6 minggu sekali agar menjaga kondisi membran tetap optimum dalam melakukan proses pemisahan terhadap nilai fluks yang tetap.

Analisis *scale up* dapat dilihat bahwa dengan menggunakan membran bioreaktor hal ini menghasilkan keuntungan utama berupa penghematan ruang atau luas yang digunakan dibandingkan dengan menggunakan pengolahan konvensional. Dengan penghematan ruang ini maka biaya pembangunan pun lebih hemat namun biaya investasi yang cukup besar serta perlu adanya biaya operasi yaitu berupa aerator dan pompa serta perawatan yaitu pencucian membran.

Larutan pencuci NaOCl dapat digunakan berkali-kali (*reuse*) sehingga mampu mencegah terjadinya pencemaran pada lingkungan akibat penggunaan larutan pencuci NaOCl yang berlebihan. Larutan pencuci NaOCl apabila memiliki konsentrasi yang tinggi sangat berbahaya bagi lingkungan dibandingkan dengan larutan Lerak. Larutan lerak lebih ramah lingkungan, namun kemampuan untuk mencuci membran pun sangat jauh dengan larutan pencuci NaOCl.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan efektifitas nilai koefisien rejeksi dan nilai fluks pada membran saat dilakukan pencucian maka *cleaning agent* membran terbaik terhadap efektifitas kinerja membran zeolit yaitu dengan larutan NaOCl 10%.
2. Nilai koefisien rejeksi (%) membran zeolit pada variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran yaitu 82% pada konsentrasi awal COD 174 mg/L dengan larutan NaOCl 10% dan 88% pada konsentrasi awal TSS 357 mg/L dengan larutan NaOCl 10%.
3. Nilai fluks (J) membran zeolit pada variasi konsentrasi air limbah dan variasi *cleaning agent* yang optimal pada membran yaitu dengan Δ Nilai fluks (J) yang tinggi terjadi pada membran dengan larutan NaOCl 10% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 39.2 L/m².jam pada pencucian pertama dan 13.4 L/m².jam pada pencucian kedua. Sedangkan Δ Nilai fluks (J) pada larutan lerak 15% dan konsentrasi air limbah 100% yaitu 8.1 L/m².jam pada pencucian pertama dan 10.0 L/m².jam pada pencucian kedua.
4. *Scale up* membran bioreaktor pada debit air limbah domestik 99 m³/hari yaitu membutuhkan volume pada tangki aerasi (4.8 x 4 x 3.3) m³ sebagai pengolahan biologis dan luas permukaan membran yang dibutuhkan 56.82 m² pada tahap filtrasi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Melakukan pembuatan membran dengan metode yang lebih baik agar dapat menghasilkan kinerja membran yang baku.

2. Melakukan penelitian dengan variasi konsentrasi pada *cleaning agent* yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi *cleaning agent* yang optimum dalam pencucian membran.
3. Melakukan penelitian pencucian membran yang telah terfabrikasi dengan menggunakan *cleaning agent*.
4. Melakukan variasi *cleaning agent* dan metode *backflushing* pada penanganan *fouling*.
5. Melakukan penelitian dengan berdasarkan lama waktunya perendaman menggunakan *cleaning agent*.
6. Melakukan variasi lama waktu aerasi pada pengolahan biologis di MBR terhadap ukuran flok mikrobial.

DAFTAR PUSTAKA

- Abanmy, A dan Yoshio, T. 1992. *Desalination Selection of Membrans*. Paper Workshop. JICA dan Saline Water Conversion Corporation.
- Agustina, S., Pudji, S.R., Widiyanto, T., Trisni, A. 2005. *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Workshop Teknologi Industri Kimia dan Kemasan. Balikpapan.
- Ahmad, S. 2009. *Peningkatan Fluks Membran Dengan Cara Perendaman Dalam Larutan Natrium Hipoklorit*. LIPI Press. Teknologi Indonesia 32(1) (31-36).
- Akbary, F. 2009. *Membran Zeolit Katalitik untuk Pembentukan Syngas*. Program Studi Teknik Material. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Al-Juboori RA dan Yusaf T. 2012. *Biofouling in RO system: Mechanisms, monitoring and controlling*. (302) (1-23).
- Ang, W.S., Lee S, Elimelech M. 2006. *Chemical and physical aspects of cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes*. Journal of Membrane (272) (198 – 210).
- Ang, W.S., Tiraferri A, Chen K.L., Elimelech M. 2011. *Fouling and cleaning of RO membranes fouled by mixtures of organic foulants: Simulating wastewater effluent*. Journal of Membrane Science. (376) (196– 206).
- Antony A, Low JH, Gray S, Childress AE, Clech PL, Leslie G. 2011. *Scale formation and control in high pressure membrane water treatment system: A review*. Journal of membrane science. (383) (1-16).
- Arnal JM, García -Fayos B, Sancho M. 2011. *Membrane Cleaning, Expanding Issues in Desalination , Prof. Robert Y. Ning (Ed.)*. 2011. ISBN: 978-953-307-624-9
- Aufiyah, dan Damayanti, A. 2013. *Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Aliran Cross-flow untuk Menurunkan kekeruhan dan Fosfat*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bacchin, O., Airmar, O., dan Field, R.W. (2006). *Critical and Sustainable Fluxes : Theory, Experiment and Application*. Journal of Membran Science. (281) (42)

- Baker, W.R. 2004. *Membran Technology and Applications*. 2nd Edition. California : Jon Willey and Sons.
- Beyer M, Lohrengel B, Nghiem LD. 2010. *Membrane fouling and chemical cleaning in water recycling applications*. Journal of Desalination. (250) (977– 981).
- Chelme-Ayala, P., Smith, D.W., El-Din, M.G. 2009. *Membrane Concentrate Management Options : a Comprehensive Critical Review*. Can. J. Civil Engineering.(36) (1107-1119).
- Cheryan, M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Technomic Publishing Company. Inc., Pennsylvania.
- Chesters, SP. 2009. *Innovations in the inhibition and cleaning of reverse osmosis membrane scaling and fouling*. Journal of Desalination (238) (22-29).
- Cui, F., and Muralidhara, H. S. 2010. *Membran Technology : A Practical Guide to Membran Technology and Applications in Food and Bioprocessing*. India.
- Fach E, Waldman WJ, Williams M, Long J, Meister RK, Dutta PK. 2002. *Analysis of the biological and chemical reactivity of zeolit-based aluminosilicate fibers and particulates*. Environ Health Perspect (110) (1087-1096).
- Farha, I. F. dan Kusumawati, N.. 2012. *Pengaruh PVA Terhadap Morfologi dan Kinerja Membran Kitosan dalam Pemisahan Pewarna Rhodamin-B*. Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012 – ISBN : 978-979-028-550.
- Fritzmann, C., J., Löwenberg, T., Wintgens, and T., Melin. 2007. *State-of-the-art of Reverse Osmosis Desalination*. (216)(1-76).
- Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrot B, Moulin P. 2009. *Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges*. Journal of Water Research (43) (2317-2348).
- Hristov, P., Yoleva, A., Djambazof, S., Chukovska, I., and Dimitrov, D. 2012. *Preparation and Characterization of Porous Ceramic Membrane For Micro-Filtration From Natural Zeolite*. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. Vol. 47.(4) (476-480).
- Huajuan M. 2009. *A study on organic fouling of reverse osmosis membrane*. Dessertation, Department Of Civil Engineering. National University Of Singapore.

- Hermana, Joni. 2010. *Dasar - dasar Teknik Pengelolaan Air Limbah*. Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Jayanti, R. D dan Widiyasa, I. N. 2016. *Fouling dan Cleaning Membran Reverse Osmosis Tekanan Rendah untuk Aplikasi Daur Ulang Air Limbah Domestik*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Lee, S., Ang, W.S., Elimelech, M. 2006. *Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter : implications for water reuse*. (187) (313– 321).
- Li, N. N., Fane, A. G., Ho, W.S.W., Matsuura, T. 2008. *Advanced Membrane Technology and Applications*. (Chapter 5 & 9). John Wiley & Sons.
- Lorain, O., Hersant, B., Persin, F., Grasmick, A., Brunard, N., Espenan, J.M. 2007. *Ultrafiltration membrane pretreatment benefits for reverse osmosis process in seawater desalting*. Quantification in terms of capital investment cost and operating cost reduction. (203) (277– 285).
- Madaeni, S.S. dan Samieirad, S. 2010. *Chemical cleaning of reverse osmosis membrane fouled by wastewater*. Journal of Desalination. (257) (80-86).
- Malia, H. dan Till, S. 2001. *Membrane Bioreactors: Wastewater Treatment Applications To Achieve High Quality Effluent*.
- Maharani dan Damayanti, A. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Membran Nanofiltrasi Silika Aliran Cross-flow untuk Menurunkan Fosfat dan Amonium*. Jurnal Sains dan Seni POMITS Vol. 2 (1) (2337-3520).
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membran Technology*. 2nd edition. Netherlands : Kluwer Academic Publisher.
- Mursi, S dan Minta, R. 1994. *Zeolit*. Literatur Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, Jakarta.
- Nasir, S., Teguh, B.S.A dan Idha, S. 2013. *Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry*. Jurnal Bumi Lestari. Vol. 13 (1). (45-41).

- Nisa K. 2005. *Karakteristik fluks membrane kitosan termodifikasi Poli(Vinil Alkohol) dengan variasi poli(etilena glikol) sebagai porogen*. Skripsi. Departemen Kimia IPB.
- Notodarmojo, S., Deniva, A. 2004. *Penurunan Zat Organik dan Kekerusuhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus: Waduk Saguling, Padalarang)*. PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 36 A, No. 1:63-82.
- Nugroho, A.S., Damayanti, A. 2004. *Uji Kinerja Membran Nanofiltrasi Zeolit untuk Menapis Nitrat dan Amonium Air Limbah Produksi Tahu*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Nurmayanti. 2002. *Kontribusi Limbah domestik terhadap Kualitas Air Kaligarang Semarang*. Program Pasca Sarjana Universitas Gajahmada. Yogyakarta.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Piputri, D. A. 2014. *Pengaruh Frekuensi Pencucian Dengan Menggunakan Lerak (Sapindus rarak De Candole) Pada KetajamanWarna Batik Dulit Gresik*. Program Studi PKK. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Porcelli N. dan Judd S. 2010. Chemical cleaning of potable water membranes: A review. *Separation and Purification Technology* . (71) (137– 143).
- Pramitasari, N. 2016. *Pemanfaatan Membran Filtrasi Zeolit Silika untuk Menurunkan TSS, COD, dan Warna Limbah Cair Batik*. Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP. ITS.
- Pratama, H. A., Damayanti, A., Soedjono, E.S. 2014. *Nano Filtration Batik Waste Water Treatment Performing Test Using Nano Filtration Membran*. *International Journal of Academic Research* 6, 6:272-274.

- Pusparini, W.R dan Isyuniarto. 2010. *Teknologi pemisahan Zr-Hf menggunakan metode kompleksasi-membran nanofiltrasi*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN. Yogyakarta.
- Puspayana, D.R dan Damayanti, A. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Membran Silika Nanofiltrasi Aliran Cross-flow untuk Menurunkan Kadar Nitrat dan Amonium*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rachmawati, V dan Damayanti, A. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Industri Pewarnaan Jeans Menggunakan Membran Silika Nanofiltrasi Aliran Cross-flow untuk Menurunkan Warna dan Kekeruhan*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Redjeki, S. 2011. *Proses Desalinasi dengan Membran*. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.
- Rifaid, M. N. 2002. *Status Pengembangan Sains dan Teknologi Membran di Indonesia*. Buletin Limbah 7, 1.
- Ronaldo, R. 2008. *Zeolit Alam dan Kitosan sebagai Adsorben Catalytic Converter Monolitik untuk Pereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Saputra, A.D, Syarfi, Khairat. 2016. *Pencucian Secara Kimia Membran Ultrafiltrasi Sistem Aliran Cross-flow Pada Proses Penyaringan Air Terproduksi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Sari, T. K. 2014. *Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Zeolit Aliran Cross Flow untuk Filtrasi Kekeruhan dan Fosfat*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sari, T. K dan Damayanti, A. 2016. *Filtrasi Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Membran Zeolit-Silika untuk Menurunkan BOD, COD, dan TSS*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Septiani, N. M. 2013. *Sintesis Senyawa Antimikroba Dihidropirimidinon melalui Reaksi Siklokondensasi Biginelli Menggunakan Katalis Zeolit Alam*. Skripsi . UNS

- Shan, W., Zhang, Y., Yang, W., Ke, C., Gao, Z, Ye, Y., and Tang, Y. 2004. *Electrophoretic Deposition Of Nanosized Zeolites In Non-Aqueous Medium And Its Application In Fabricating Thin Zeolit Membrans, Microporous and Mesoporous Material*. 69. Pp. 35-42.
- Shon, H.K., Kim, S.H., Vigneswarana, S., Aim, B.R., Lee, S., Cho, J. 2009. *Physicochemical pretreatment of seawater: fouling reduction and membrane characterization*. (238) (10– 21).
- Siregar, A.S. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta : Kanisius.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Cetakan Pertama, UI Press : Jakarta.
- Tang, F., Hu, H.Y., Sun, L.J., Wu, Q.Y., MeiJiang, Y., Guan, Y.T., Huang, J.J. 2007. *Fouling of reverse osmosis membrane for municipal wastewater reclamation: Autopsy results from a full-scale plant*. (349) (73– 79).
- Tchobanoglous, G., Stensel, D.H., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-orf, M., Bowden, G., and Pfrang, W. 2013. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th Edition. Singapore : Mc Graw Hill.
- Thamzil. 2008. Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif. <http://www.batan.go.id/>.
- Vania, V. 2016. *Studi Penyisihan Logam Seng (Zn²⁺) pada Limbah Elektroplating Menggunakan Membran Kitosan dan Zeolit*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Veenstra. 1995. *Wastewater Treatment International Institute for Infrastructural Hydraulic and Environmental Engineering (IHE)*. Delf, Netherland.
- Wenten, I.G. 1995. *Teknologi Membran Industrial*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wenten, I.G. 1997. *Membran Untuk Pengolahan Air*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wenten, I.G. 2016. *Teknologi Membran : Prospek dan Tantangannya di Indonesia*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Widayanti, N. 2013. *Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dengan Variasi Komposisi Pelarut Aseton dan Asam Format*. Skripsi. Universitas Jember, Jember.

- Yang, H.L., Huang, C., Pan, J.R. . 2008. *Characteristic of RO foulant in a brackish water desalination plant*. Journal of Desalination. (220) (353– 358).
- Yudhastuti R. 1993. *Studi Kemampuan Zeolit untuk Menurunkan Jumlah Kuman-Kuman Coliform Air Sungai Ciliwung di Jakarta*. Tesis. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Yunarsih, N. M. 2013. *Efektifitas Membran Khitosan dari Kulit Udang Galah untuk Menurunkan Fosfat dalam Air Limbah Laundry*. Thesis. Universitas Udayana, Denpasar.
- Yuanita, D. 2009. *Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menjadi Stearil Alkohol Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam*. Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN-LAMPIRAN

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

Lampiran 1.

PROSEDUR PEMBUATAN MEMBRAN ZEOLIT

Sumber : Sari, 2014

I. Tahap Sintesis Zeolit

- a. Penggerusan zeolit dengan menggunakan *ball milling*.
- b. Pengayakan zeolit dengan menggunakan ayakan hingga berukuran 200 mesh.
- c. Zeolit direndam dengan larutan HCl 15% selama 24 jam untuk menghilangkan zat pengotor.
- d. Zeolit dibilas dengan air sebanyak 7 kali pembilasan hingga kadar HCl pada pasir zeolit hilang. Penentuan kadar HCl tepat hilang dapat dilakukan dengan cara menguji air bilasan ke-7 dengan uji AgNO_3 .
- e. Zeolit dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air dan di desikator selama 15 menit agar mencapai suhu ruangan.

II. Tahap Pembuatan Membran

- a. Menimbang massa zeolit yaitu 6 gram ke dalam beaker glass 25 mL.
- b. Zeolit dicampur dengan 35 mL 2-propanol dan dimasukkan ke dalam botol centrifuge. Selanjutnya, dicentrifuge selama 10 menit dengan kecepatan 600 rpm.
- c. Fasa cair dibuang, sedangkan fasa padatan dituang ke dalam beaker glass 250 mL.
- d. Masukkan NH_4Cl sebanyak 3.5 gram yang sudah dilarutkan dengan aquades 300 mL.
- e. Larutan campuran diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Lalu diamkan hingga mengendap.
- f. Endapan dipisahkan dan dicampur dengan 5 mL PEG dan PVA sebanyak 2.5 gram. Setelah itu di *steam* pada air dengan kompor listrik.
- g. Diaduk hingga tercampur dan mengental.

- h. Adonan yang telah mengental selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri sebanyak 5 ml dengan menggunakan suntikan.
- i. Didiamkan selama 24 jam hingga kering.
- j. Dioven selama 1 jam
- k. Membran yang telah jadi dilepas dari cetakan.

*ket:

- 1. Penuangan volume adonan sebanyak 5 ml bertujuan untuk mencetak membran dengan diameter 5 cm atau luas permukaan 19.625 cm^2 dan ketebalan 0.25 cm.

Lampiran 2.

PROSEDUR ANALISIS CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)

Closed Reflux – Metode Titrimetri

Sumber : Greenberg *et al* (2005)

I. Bahan dan Alat

1. Larutan Kalium Dikromat $K_2Cr_2O_7$
2. Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
3. Larutan Standart Fero Amonium Sulfat 0.05 N
4. Larutan Indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
5. Buret 50 mL 1 buah
6. Tabung COD
7. Erlenmeyer 100 mL
8. Alat refluks dan kompor listrik
9. Pipet volumetrik 10 mL, 5 mL
10. Buret 25 mL
11. Pipet tetes

II. Pembuatan Reagen

1. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N
Timbang dengan teliti 4.9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1L menggunakan labu pengencer 1L.
2. Larutan Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,0125 N
Timbang dengan teliti 4.9 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1L menggunakan labu pengencer 1L.
3. Larutan Campuran Asam (Ag_2SO_4 dan H_2SO_4)
Timbang dengan teliti 10 gram Ag_2SO_4 dengan menggunakan neraca analitik. Larutkan dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna. Dibiarkan selama 1 hari untuk melarutkan Ag_2SO_4
4. Larutan Indikator Feroin
Timbang dengan teliti 1.485 gram Orthophenanthroline dan 0.695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ menggunakan neraca analitik. Larutkan dengan aquades 100 mL di labu pengencer 100 mL.

III. **Prosedur Percobaan**

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

1. Menyiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya
2. Mengambil 10 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
3. Menyiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
4. Tambahkan 1.5 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0.1 N
5. Tambahkan 3.5 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada arak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
7. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
8. Menambahkan 1 tetes indikator ferroin.
9. Sampel di dalam tabung dipindahkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL kemudian dititrasi menggunakan larutan standar Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0.0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat permanen.
10. Hitung COD sampel dengan rumus berikut

$$COD \left(\frac{mg}{L} O_2 \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{vol. sampel} \times F \times p$$

Dimana:

a = mL FAS titrasi blanko

F = faktor FAS

b = mL FAS titrasi sampel

p = nilai pengenceran

N = normalitas larutan FAS

Lampiran 3.

PROSEDUR ANALISIS TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)

Metode Gravimetri

Sumber : SNI 06-6989.3-2004

I. Bahan dan Alat

1. Furnace dengan suhu 550°C
2. Oven dengan suhu 105°C
3. Cawan porselin 50 mL
4. Timbangan analitis
5. Desikator
6. Cawan Petridis
7. Kertas saring
8. Vacum filter

II. Prosedur Percobaan

1. Memasukkan cawan kedalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu memasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Memasukkan kertas saring dalam oven 105°C selama 1 jam.
3. Mendinginkan cawan dan kertas saring dalam desikator selama 15 menit.
4. Menimbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e (mg)).
5. Meletakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacum filter.
6. Menuangkan sampel sebanyak 25 mL di atas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan tergantung dari kepekatannya, mencatat volume sampel (g (mL)).
7. Menyaring sampel hingga kering atau airnya habis.
8. Meletakkan kertas saring pada cawan dan memasukkan ke oven selama 1 jam pada suhu 105°C.
9. Mendinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Menimbang dengan timbangan analitis (f (mg)).
11. Hitung TSS dengan rumus berikut :

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Dimana:

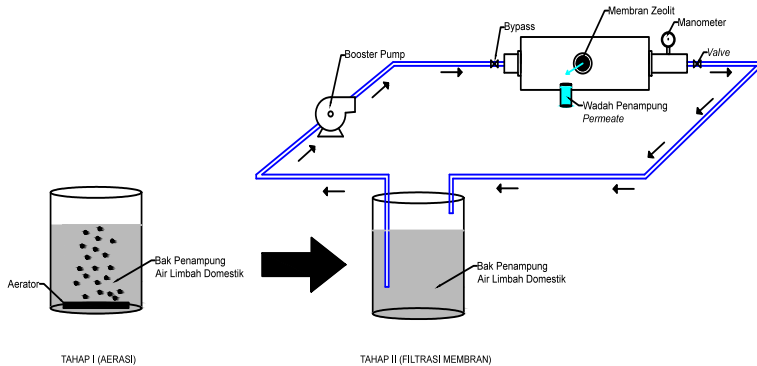
e = cawan kosong setelah difurnace 550°C
dan dioven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel

Lampiran 4.

PROSEDUR PENGATURAN MEMBRAN PADA REAKTOR



Gambar Skema Reaktor *Cross-flow*

I. Alat dan Bahan

1. Membran zeolit.
2. Air limbah domestik kategori *Gray Water* 20 L.
3. Bak penampung air limbah 30 L.
4. Aerator merk Resun LP 60 *Air Pump*.
5. Selang.
6. *Booster pump*.
7. *Bypass*.
8. Manometer.
9. Valve.
10. Kasa *stainless steel*.
11. *Water Mur*.
12. Pipa AW.
13. Pipa PVC.
14. Solatipe pipa

II. Prosedur Percobaan

a. Tahap Persiapan

1. Menyiapkan bak penampung 30 L dan Aerator.
2. Menyiapkan 20 L air limbah domestik dan ditampung

- di bak penampung.
3. Menyiapkan *booster pump*, dan memasang selang dari bak penampung ke *booster pump*.
 4. Menyiapkan reaktor pipa dengan aliran *cross-flow*, reaktor diberikan *bypass*, *valve* dan Manometer. *Bypass* dan *valve* digunakan untuk membuka tutup aliran sehingga tekanan dalam reaktor dapat diatur, dan Manometer berfungsi untuk menunjukkan tekanan yang berjalan di dalam reaktor.
 5. Memasang selang dari *booster pump* ke reaktor *cross-flow*. Selang berfungsi sebagai media pengalir air limbah.
 6. Memasang selang dari reaktor *cross-flow* menuju bak penampung air limbah pertama.
 7. Membran zeolit yang siap diuji dipasang dalam reaktor dan disangga dengan menggunakan kasa *stainless steel* dan ditutup dengan *water mur* untuk mencegah kebocoran pada membran.
 8. Menyiapkan wadah penampung *permeate*.

b. Tahap Pelaksanaan

1. Aerator pada bak penampung dioperasikan. Aerator berfungsi sebagai oksidator. Proses aerasi berlangsung selama 24 jam dengan metode *sidestream* MBR. Lalu dimatikan alat aerator dan ditinggal selama 2 jam sebelum dialirkan ke membran.
2. Setelah ditinggal, *feed* dipindahkan ke dalam bak penampung serta mengambil air sampel awal yang akan dilakukan pengujian pada parameter COD dan TSS.
3. *Booster pump* dioperasikan. Fungsi *booster pump* untuk mengalirkan air limbah dari bak penampung menuju reaktor aliran *cross-flow* dan kembali lagi ke bak penampung.
4. Pada saat *booster pump* dioperasikan, *bypass* dan *valve* dibuka dan ditutup secara perlahan untuk *start up* awal penentuan tekanan.
5. Apabila terdapat air limbah yang berhasil melewati membran zeolit atau yang disebut dengan *permeate*

ditampung di dalam wadah penampung. Tekanan yang mampu meloloskan *permeate* pada membran zeolit dijadikan sebagai tekanan yang dipilih dalam penelitian ini.

6. Aliran air limbah yang tidak melewati membran zeolit akan mengalir kembali ke dalam bak penampungan air limbah oleh *bypass*.
7. Pengoperasian reaktor dilaksanakan selama 100 menit dan dilakukan pengujian parameter COD dan TSS sebanyak 5 kali dengan periode 20 menit sekali.
8. Pada menit ke-40 dan ke-80 dilakukan tahap pencucian secara *batch* dengan *cleaning agent* yaitu larutan NaOCl 10% dan larutan lerak 15%.
9. Hitunglah nilai fluks dan nilai koefisien rejeksi pada membran untuk mengetahui kinerja membran dengan rumus sebagai berikut:

- Nilai Fluks (J)

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

Dimana:

J = Fluks (L/m².jam)

V = Volume *permeate* (L)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (jam)

- Nilai koefisien rejeksi (%R)

$$R = 1 - \frac{c_p}{c_f} \times 100\%$$

Dimana:

R = Koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam *feed*

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

Lampiran 5.

Cara Perhitungan Nilai Koefisien Rejeksi (%)

Perhitungan nilai koefisien rejeksi untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

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

Dimana :

R = nilai koefisien rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam *feed*

Contoh perhitungan :

1. Nilai Koefisien Rejeksi (%R) COD

Rejeksi COD pada konsentrasi air limbah domestik 100% dan larutan NaOCl 10% pada menit ke 20 yaitu sebagai berikut:

Konsentrasi *permeate* (C_p) = 82.7 mg/L

Konsentrasi *feed* (C_f) = 174 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Nilai koefisien rejeksi (\%R)} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{82.7}{174}\right) \times 100\% \\ &= 52.5 \% \end{aligned}$$

2. Nilai Koefisien Rejeksi (%R) TSS

Rejeksi TSS pada konsentrasi air limbah domestik 75% dan larutan lerak 15% pada menit ke 100 yaitu sebagai berikut:

Konsentrasi *permeate* (C_p) = 55.6 mg/L

Konsentrasi *feed* (C_f) = 282 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Nilai koefisien rejeksi (\%R)} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{55.6}{282}\right) \times 100\% \\ &= 80.3 \% \end{aligned}$$

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

Lampiran 6.

Cara Perhitungan Nilai Fluks (J)

Perhitungan nilai fluks untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

$$J = \frac{v}{A \times t}$$

Dimana :

J = nilai fluks (L/m².jam)
V = volume *permeate* (L)
A = luas permukaan membran (m²)
t = waktu (jam)

Contoh perhitungan :

1. Nilai Fluks Pada Larutan NaOCl 10%

Nilai fluks pada konsentrasi air limbah 100% pada menit ke-10 yaitu sebagai berikut :

Volume <i>permeate</i>	= 15.2 mL	= 0.0152 L
Luas permukaan (A)	= 3.14 x 2 cm x 2 cm	
	= 12.56 cm ²	= 0.001256 m ²
Waktu (t)	= 10 menit	= 0.1667 jam
Nilai Fluks (J)	= $\frac{v}{A \times t}$	
	= $\frac{0.0152 \text{ L}}{0.001256 \text{ m}^2 \times 0.1667 \text{ jam}}$	
	= 72.6 L/m ² .jam	

2. Nilai Fluks Pada Larutan Lerak 15%

Nilai fluks pada konsentrasi air limbah 75% pada menit ke-10 yaitu sebagai berikut :

Volume <i>permeate</i>	= 20 mL	= 0.02 L
Luas permukaan (A)	= 3.14 x 2 cm x 2 cm	
	= 12.56 cm ²	= 0.001256 m ²
Waktu (t)	= 10 menit	= 0.1667 jam
Nilai Fluks (J)	= $\frac{v}{A \times t}$	
	= $\frac{0.02 \text{ L}}{0.001256 \text{ m}^2 \times 0.1667 \text{ jam}}$	
	= 95.5 L/m ² .jam	

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

Lampiran 7.

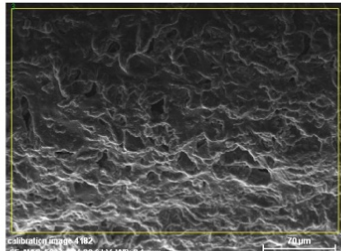
**HASIL UJI SEM-EDX
MORFOLOGI MEMBRAN ZEOLIT**

A. Hasil Uji SEM pada membran sebelum proses filtrasi

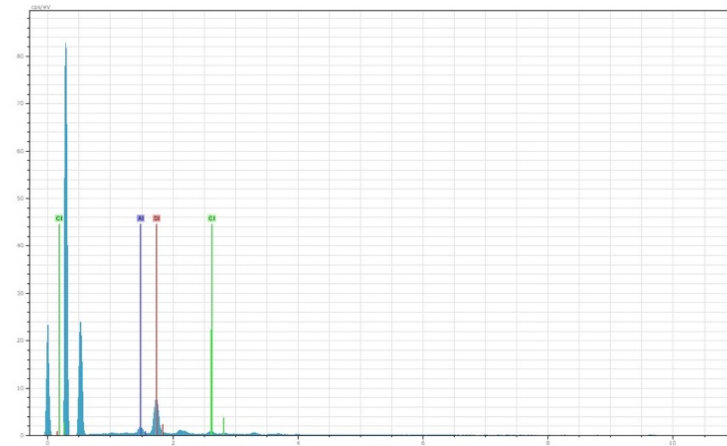
<p>Potongan Melintang Perbesaran 50 x</p>	<p>Potongan Melintang Perbesaran 200 x</p>
<p>Potongan Permukaan Membran Perbesaran 500 x (titik 1)</p>	<p>Potongan Permukaan Membran Perbesaran 1000 x (titik 1)</p>
<p>Potongan Permukaan Membran Perbesaran 500 x (titik 2)</p>	<p>Potongan Permukaan Membran Perbesaran 1500 x (titik 2)</p>

Hasil Uji EDX pada membran sebelum proses filtrasi

Membran Zeolit



calibration image 4182 Date:10/3/2016 10:30:43 AM Image size 512 x 384 Mag:499.99997x HV:20.0kV



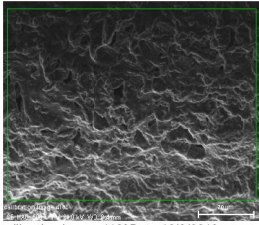
3 Date:10/3/2016 10:31:15 AM HV:20.0kV Puls th.:8.55kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al	13	K-series	1.56	10.94	11.90	0.1
Si	14	K-series	9.39	65.85	68.87	0.4
Cl	17	K-series	3.31	23.21	19.23	0.1
Total:			14.26	100.00	100.00	

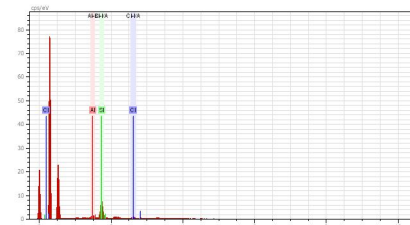
10/3/2016

1. Page

Membran Zeolit

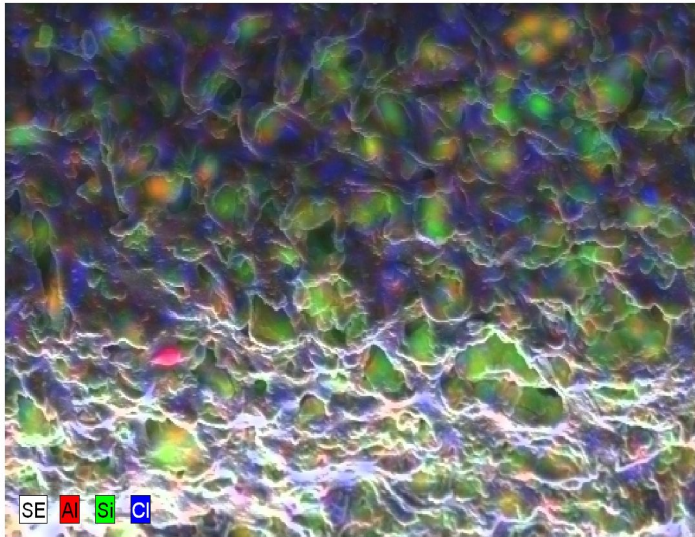


calibration image 4183 Date:10/3/2016
10:30:43 AM Image size:512 x
384 Mag:499.99997x HV:20.0kV

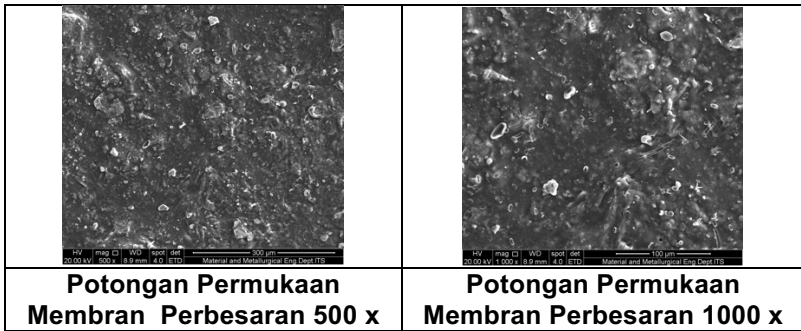


Map Date:10/3/2016 10:33:19 AM HV:20.0kV
Puls th.:5.52kcps

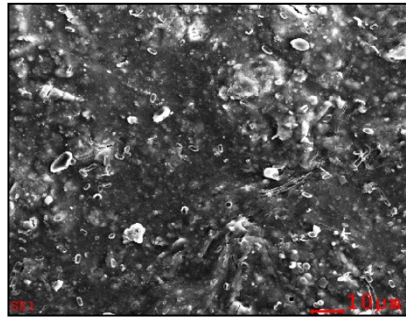
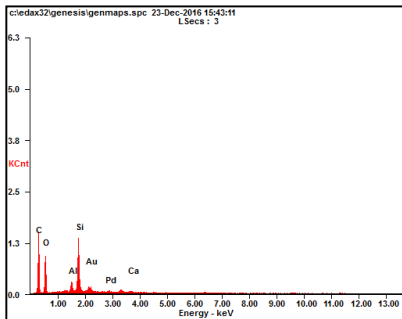
calibration image 21 3253 Date:10/3/2016 10:33:19 AM Image size:493 x
335 Mag:499.99997x HV:20.0kV



B. Hasil Uji SEM pada membran setelah proses filtrasi



Hasil Uji EDX pada membran setelah proses filtrasi



Komponen Penyusun yang diteliti pada membran :

Element	Wt%	At%
CK	40.02	53.76
OK	35.02	35.31
AlK	02.60	01.55
SiK	14.58	08.37
AuM	05.58	00.46
PdL	01.35	00.20
CaK	00.86	00.35
Matrix	Correction	ZAF

Lampiran 8.

BIOGRAFI PENULIS



Rizka Fauzia Putri, lahir di Bogor Jawa Barat pada tanggal 10 April 1995. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2006 di SDN Pondok Petir 01. Kemudian dilanjutkan di SMPN 4 Tangerang Selatan pada tahun 2007-2010, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Tangerang Selatan dari

tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313100102.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai pengurus di HMTL maupun di luar HMTL yaitu IMTLI (Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia) sebagai kepala departemen komunikasi dan informasi PB IMTLI periode 2014-2015 dan Dewan Pengawas Pusat PB IMTLI periode 2015-2016, dan aktif sebagai asisten laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan. Prestasi yang pernah diraih adalah PKM-Pe didanai oleh DIKTI. Selain itu, penulis juga aktif di bidang Seni Tari Tradisional yaitu Tari Ratoeh Jaroe (Tari Saman). Berbagai pelatihan dan seminar nasional di bidang Teknik Lingkungan (2013-2016) juga telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email rizkafauziaputri@gmail.com.

