



**PENGARUH VARIASI FRAKSI MASSA NILON DAN TiO_2 TERHADAP
EFEK ANTIBAKTERI DAN PERMEABILITAS PADA
MEMBRAN HIBRID**

SKRIPSI

Oleh
Binti Istikomatul Isrofiyah
NIM 141810201005

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH VARIASI FRAKSI MASSA NILON DAN TiO_2 TERHADAP
EFEK ANTIBAKTERI DAN PERMEABILITAS PADA
MEMBRAN HIBRID**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Binti Istikomatul Isrofiyah
NIM 141810201005

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Gimin dan Ibu Sati tercinta, yang telah memberikan nasehat, doa dan dukungan dengan segenap cinta dan kasih sayang selama ini.
2. Kakak Ahmad Basori, kakak Harsoyo, kakak Susanti, kakak Ahmad Rifai, kakak Ahmad Badrus Soleh dan adik Ahmad Ibrahim, yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi selama ini.
3. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa, nasehat, dan dukungan selama ini.

MOTTO

“Hanya kepada Engkaulah kami menyembah dan hanya kepada Engkaulah kami memohon pertolongan” (terjemahan Surat *Al Fatihah* ayat 5)*)

“Sesungguhnya kami telah menjadikan apa yang ada di bumi, sebagai perhiasan baginya, agar kami menguji mereka, siapakah diantara mereka yang terbaik perbuatan-nya” (terjemahan Surat *Al Kahfi* ayat 7)**)



*)**) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit Diponegoro

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Binti Istikomatul Isrofiyah

NIM: 141810201005

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon dan TiO₂ terhadap Efek Antibakteri dan Permeabilitas pada Membran Hibrid” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2018

Yang menyatakan,

(Binti Istikomatul Isrofiyah)

NIM 141810201005

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI FRAKSI MASSA NILON DAN TiO₂ TERHADAP
EFEK ANTIBAKTERI DAN PERMEABILITAS PADA
MEMBRAN HIBRID**

Oleh

Binti Istikomatul Isrofiyah

NIM 141810201005

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota: Supriyadi, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon dan TiO₂ Terhadap Efek Antibakteri dan Permeabilitas pada Membran Hibrid” karya Binti Istikomatul Isrofiyah telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

Supriyadi, S.Si., M.Si.

NIP 198711042014042001

NIP 198204242006041003

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

NIP 197208201998021001

NIP 198111112005012001

Mengesahkan,

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon dan TiO₂ Terhadap Efek Antibakteri dan Permeabilitas pada Membran Hibrid, Binti Istikomatul Isrofiyah, 141810201005; 2018: 50 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Membran hibrid merupakan membran yang berasal dari penggabungan bahan polimer (sintetis) dan bahan anorganik dengan tujuan untuk mengurangi biaya produksi dengan tetap menjaga kinerja membran (permeabilitas dan selektivitas) yang baik. Dalam membran hibrid, permeabilitas membran ditentukan oleh bahan polimer, sedangkan bahan anorganik menentukan selektivitas membran. Nilon adalah senyawa polimer yang memiliki gugus amida pada setiap unit ulangnya, sehingga nilon disebut juga senyawa poliamida. Nilon bersifat semikristalin, kuat, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan tahan terhadap suhu tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja membran polimer yaitu menambahkan bahan anorganik misalnya titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ bersifat hidrofilik dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap bakteri. Lapisan TiO₂ dapat mendorong peningkatan hidrofilisitas dan aktivitas antimikroba.

Penelitian mengenai membran ultrafiltrasi telah banyak dilakukan untuk mengetahui kinerja membran pada proses filtrasi larutan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian aktivitas antibakteri membran dan permeabilitas membran pada proses ultrafiltrasi pada larutan NaCl melalui perhitungan nilai fluks dan pengukuran nilai *Nernst potential* membran. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi massa nilon-TiO₂ terhadap karakteristik efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid.

Penelitian ini diawali dengan pembuatan membran hibrid nilon-TiO₂ menggunakan metode inversi fasa. Inversi fasa merupakan proses perubahan polimer dari bentuk larutan menjadi bentuk padatan secara terkontrol. Sintesis membran hibrid nilon-TiO₂ dengan variasi fraksi massa 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% dan 60%:40% dilakukan dengan melarutkan benang nilon dan TiO₂ ke dalam pelarut asam klorida (HCl) 25% sebanyak 20 mL dan aseton sebanyak 2 mL sehingga membentuk larutan *dope*. Kemudian dilakukan uji antibakteri dengan meneteskan sampel (larutan *dope*) sebanyak 10 μ l ke media padat yang sebelumnya telah diinokulasikan bakteri uji. Selanjutnya dilakukan pengamatan dan pengukuran diameter zona hambat yang terbentuk. Larutan *dope* (nilon dan TiO₂ yang telah dilarutkan dalam asam klorida dan aseton) yang tersisa dapat dicetak membentuk membran yang digunakan untuk proses ultrafiltrasi dengan metode *dead-end* dan untuk pengukuran *Nernst potential*. Pada proses ultrafiltrasi, volume hasil pemisahan atau volume *permeate* diamati sehingga dapat memperoleh nilai fluks. Sedangkan pada pengukuran *Nernst potential* diperoleh nilai beda potensial yang terukur pada multimeter. Berdasarkan pengujian ini maka dapat diketahui pengaruh variasi fraksi massa nilon-TiO₂ terhadap efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid.

Hasil penelitian memberikan informasi mengenai aktivitas antibakteri dan permeabilitas membran melalui proses ultrafiltrasi. Berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk dari uji aktivitas antibakteri menghasilkan bahwa penambahan fraksi massa TiO_2 sampai variasi fraksi massa nilon- TiO_2 70%:30% dapat meningkatkan aktivitas antibakteri membran. Permeabilitas membran hibrid nilon- TiO_2 yang ditinjau dari nilai fluks larutan NaCl dan nilai *Nernst potential* menghasilkan bahwa penambahan tekanan operasi membran dan penambahan fraksi massa TiO_2 pada variasi fraksi massa nilon- TiO_2 dapat meningkatkan nilai fluks dari membran melalui proses filtrasi. Sedangkan nilai *Nernst potential* mengalami penurunan dengan bertambahnya fraksi massa TiO_2 pada fraksi massa nilon- TiO_2 . Berdasarkan penelitian yang dilakukan, membran hibrid nilon- TiO_2 dengan variasi fraksi massa 100%:0% menghasilkan aktivitas antibakteri paling kecil dan nilai fluks paling kecil. Sedangkan membran hibrid nilon- TiO_2 dengan variasi fraksi massa 70%:30% menghasilkan aktivitas antibakteri paling tinggi dan fluks *permeat* besar dengan bentuk permukaan membran halus. Membran hibrid dengan variasi fraksi massa 100%:0% memiliki nilai beda potensial paling tinggi sedangkan membran hibrid dengan variasi fraksi massa 60%:40% memiliki nilai beda potensial paling rendah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa membran hibrid nilon- TiO_2 yang memiliki aktivitas antibakteri tinggi juga menghasilkan nilai fluks yang tinggi. Hal ini dikarenakan membran yang terbentuk tidak mudah terkontaminasi oleh bakteri-bakteri pengotor selama proses ultrafiltrasi. Sedangkan membran hibrid dengan aktivitas antibakteri dan fluks tinggi memiliki nilai beda potensial rendah. Hal ini dikarenakan proses *transport* ion pembawa muatan listrik yang bergerak mudah mencapai keadaan seimbang.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon dan TiO_2 terhadap Efek Antibakteri dan Permeabilitas pada Membran Hibrid”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam membimbing penulisan skripsi ini;
2. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota, atas semua masukan, kritik, dan saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Tim TA Biofisika (Laily, Ryo, M. Firdaus, Zakiyah, Rani), Cyntia Maya. P. dan Ismunawati yang telah membantu penulis dalam penelitian;
4. Sahabat-sahabat (Alfia, Ella, Yossika, Shofitri, Asih dan Ninik) serta keluarga besar Graphytasi'14 yang telah memberikan doa, dukungan dan semangat;
5. Muh. Hermanto yang telah memberikan doa, semangat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini;
6. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Desember 2018

Penulis

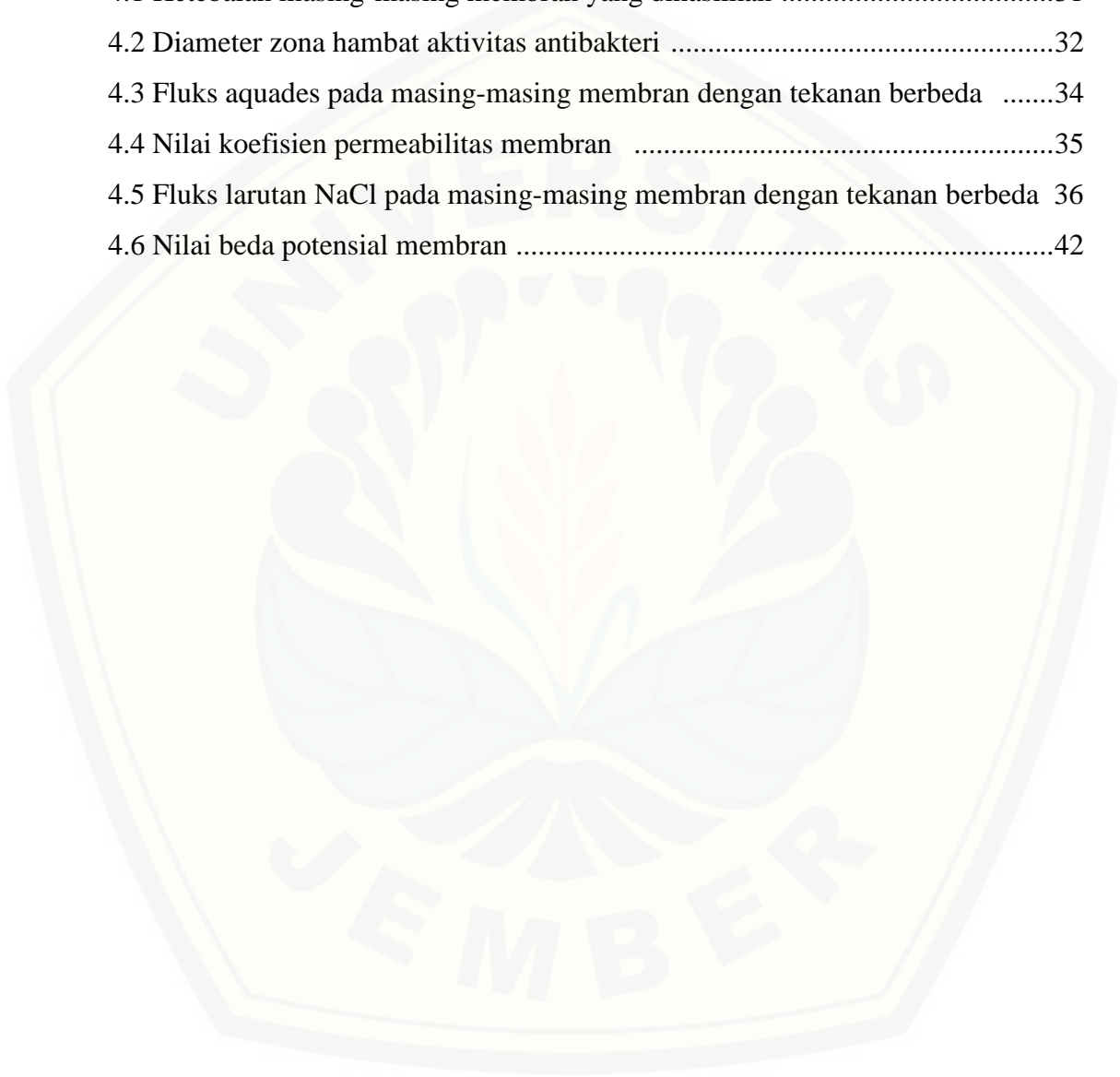
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Bahan Polimer Nilon	6
2.2 Bahan Anorganik Titanium Dioksida (TiO ₂).....	7
2.3 Teknologi Membran	8
2.3.1 Klasifikasi Membran	9
2.3.2 Teknik Pembuatan Membran	11
2.4 Metode Inversi Fasa	13
2.5 Proses Filtrasi	14
2.6 Uji Antibakteri.....	15
2.6.1 Metode Difusi	16

2.6.2 Metode Dilusi	17
2.7 Permeabilitas Membran	17
2.8 Pengukuran <i>Nernst Potential</i>	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Rancangan Penelitian	21
3.2 Jenis dan Sumber Data	22
3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukurannya	23
3.3.1 Variabel Penelitian	23
3.3.2 Skala Pengukuran	23
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	24
3.5 Metode Analisa Data	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Membran Hibrid Nilon-TiO ₂	30
4.2 Aktivitas Antibakteri Membran Hibrid Nilon-TiO ₂	30
4.3 Permeabilitas Membran Hibrid Nilon-TiO ₂	33
4.4 <i>Nernst Potential</i> Membran	42
BAB 5. PENUTUP	42
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Jenis membran berdasarkan kisaran tekanan dan koefisien permeabilitas	38
4.1 Ketebalan masing-masing membran yang dihasilkan	31
4.2 Diameter zona hambat aktivitas antibakteri	32
4.3 Fluks aquades pada masing-masing membran dengan tekanan berbeda	34
4.4 Nilai koefisien permeabilitas membran	35
4.5 Fluks larutan NaCl pada masing-masing membran dengan tekanan berbeda	36
4.6 Nilai beda potensial membran	42



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gugus fungsi nilon-6	6
2.2 Struktur kristal TiO ₂	7
2.3 Gejala <i>fouling</i>	9
2.4 Skema proses <i>sintering</i>	11
2.5 Sistem aliran filtrasi	14
2.6 Mekanisme <i>transport</i> ion	20
3.1 Diagram alir kerangka pemecahan masalah	24
4.1 Membran hibrid Nilon-TiO ₂ yang dihasilkan	31
4.2 Grafik hubungan antara diameter zona hambat terhadap fraksi massa TiO ₂ ..	32
4.3 Grafik hubungan antara fluks aquades terhadap tekanan pada masing-masing membran	34
4.4 Grafik hubungan antara fluks larutan NaCl terhadap tekanan pada masing-masing membran	36
4.5 Grafik hubungan antara fluks larutan NaCl terhadap waktu (a) tekanan 1 bar; (b) tekanan 2 bar; (c) tekanan 3 bar	39
4.6 Grafik hubungan antara VRF larutan NaCl terhadap waktu (a) tekanan 1 bar; (b) tekanan 2 bar; (c) tekanan 3 bar	41
4.7 Grafik hubungan antara beda potensial terhadap fraksi massa TiO ₂ pada variasi fraksi massa	42

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Perhitungan asam klorida (HCl) 25% yang diambil dari asam klorida (HCl) 37%	51
4.1 Perhitungan dan ralat pengukuran ketebalan membran hibrid Nilon-TiO ₂	52
4.2 Perhitungan dan ralat pengukuran diameter zona hambat membran hibrid Nilon-TiO ₂	53
4.3 Hasil uji antibakteri pada variasi fraksi massa 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, 60%:40% dan ampicilin	54
4.4 Hasil pengukuran volume <i>permeat</i> (aquades) terhadap tekanan pada proses ultrafiltrasi masing-masing membran	55
4.5 Slope grafik fluks aquades terhadap tekanan	56
4.6 Grafik hubungan antara fluks aquades terhadap waktu dan VRF terhadap waktu	57
4.7 Hasil pengukuran volume <i>permeat</i> (larutan NaCl) terhadap tekanan	60
4.8 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 1 bar	63
4.9 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 2 bar	64
4.10 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 3 bar	65
4.11 Hasil pengukuran nilai beda potensial	66

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi membran untuk filtrasi berkembang cepat sejak dikomersialkan oleh Sartorius-Werk di Jerman pada tahun 1927. Pengembangan dan aplikasi teknologi ini semakin beragam dan terus mengalami kemajuan sehingga banyak ide yang bermunculan untuk membuat membran sintetis (*artificial membrane*) dari berbagai bahan yang selanjutnya digunakan untuk menggantikan fungsi dari membran alami. Perkembangan teknologi membran tersebut meliputi pembuatan membran, pemisahan gas, desalinasi air laut, membran distilasi dan kristalisasi, medis dan rekayasa jaringan, serta proses-proses di bidang membran lainnya (Wenten, 2016).

Membran sintetis dapat dibuat dari bahan polimer (sintetis) maupun bahan anorganik. Polimer merupakan senyawa kimia organik yang didasarkan pada karbon, hidrogen, dan unsur bukan logam (O, N, Si) (Harsojuwono dan Arnata, 2015). Sebagian besar bahan yang digunakan untuk membuat membran adalah bahan polimer karena proses pembuatannya yang relatif sederhana. Bahan polimer yang banyak digunakan untuk membran sintetis diantaranya polisulfon, poliamida, selulosa asetat, *politetraflouroetilen* (PTFE), dan jenis polimer lainnya. Sedangkan bahan anorganik yang digunakan dalam pembuatan membran sintetis adalah keramik. Bahan keramik yang biasa digunakan adalah aluminium oksida (Al_2O_3), titanium dioksida (TiO_2), zirkonium dioksida (ZrO_2), dan silikon dioksida (SiO_2). Berdasarkan sifat fisika dan kimia, membran keramik memiliki kinerja yang lebih baik daripada membran polimer. Namun, membran keramik lebih mahal, mudah rapuh dan sulit diproduksi sedangkan membran polimer biaya produksinya lebih rendah, fleksibel, dan banyak digunakan dalam industri (Pinem dan Angela, 2011; Lai *et al.*, 2014).

Saat ini telah dikembangkan membran yang disebut membran *mixed matrix membrane* (MMM) atau dikenal juga sebagai membran hibrid, yaitu membran yang berasal dari penggabungan bahan polimer (sintetis) dan bahan anorganik. Tujuannya adalah untuk mengurangi biaya produksi dengan tetap

menjaga kinerja membran (permeabilitas dan selektivitas) yang baik. Membran hibrid dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh membran polimer yaitu mengeliminasi keterbalikan antara permeabilitas dan selektivitas. Keunggulan lainnya yaitu memiliki sifat mekanik dan stabilitas kimia yang lebih baik dibandingkan membran polimer. Dalam membran hibrid, permeabilitas membran ditentukan oleh bahan polimer, sedangkan bahan anorganik menentukan selektivitas (Wenten, 2016). Hal yang perlu diperhatikan dalam sintesis membran hibrid adalah pemilihan bahan polimer (organik) dan anorganik untuk menghindari adanya aglomerasi atau penggumpalan-penggumpalan bahan anorganik dalam matriks membran, sehingga membran dapat bekerja dengan baik.

Nilon adalah senyawa polimer yang memiliki gugus amida pada setiap unit ulangnya, sehingga nilon disebut juga senyawa poliamida (Fanani *et al.*, 2014). Nilon bersifat semikristalin, kuat, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan tahan terhadap suhu tinggi. Polimer nilon-6 bersifat biodegradabel, biokompatibel dan banyak dimanfaatkan pada berbagai bidang karena harganya murah serta ekonomis sehingga dapat digunakan berulang-ulang, kemampuan membentuk serat yang baik, kualitas mekanik dan stabilitas termal yang tinggi (Jabur *et al.*, 2017).

Banyak cara dilakukan untuk meningkatkan kinerja membran polimer, misalnya dengan menambahkan bahan anorganik sehingga membentuk membran hibrid. *Filler* yang umumnya digunakan dalam membran hibrid adalah bahan berpori, salah satunya yaitu titanium dioksida (TiO_2). TiO_2 bersifat hidrofilik dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap bakteri. Penambahan TiO_2 meningkatkan kekuatan mekanik membran sehingga membran tidak terdekomposisi serta meningkatkan hidrofilitas sehingga fluks meningkat (Mahaningsih, 2011). Penambahan TiO_2 pada membran polimer dapat mempengaruhi aktivitas antibakteri membran yang ditandai dengan adanya pertumbuhan zona hambat pada uji antibakteri. Pencampuran bahan polimer dan TiO_2 pada skala nano dapat membentuk material nanokomposit multifungsi yang luar biasa dan kuat. Lapisan TiO_2 dapat mendorong peningkatan hidrofilitas dan aktivitas antimikroba (Jabur *et al.*, 2017).

Penelitian terkait perkembangan membran hibrid beserta aplikasinya telah banyak dilakukan, diantaranya Esnahati *et al.* (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan nano-TiO₂ sebagai agen antibakterial dalam pembuatan membran selulosa asetat-kitosan terhadap *biofouling* yang disebabkan oleh bakteri Gram negatif dan Gram positif menggunakan metode blending. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan TiO₂ sebesar 1% pada membran selulosa asetat-kitosan dapat menaikkan nilai fluks air murni. Fluks optimal terdapat pada membran TiO₂ dengan fraksi massa 1% yaitu 574.26 L/m²jam. Setyawan (2012) melakukan penelitian mengenai uji fluks dan karakterisasi struktur membran selulosa asetat yang ditambahkan titanium dioksida (TiO₂) menggunakan metode pembalik fasa rendam-endap. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa membran selulosa asetat yang ditambah TiO₂ memiliki fluks air yang lebih besar dibanding dengan membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO₂. Jabur *et al.* (2017) melakukan penelitian mengenai uji fluks membran dan aktivitas antibakteri membran hibrid nilon-TiO₂ menggunakan metode *electrospinning* untuk filtrasi larutan garam. *Electrospinning* merupakan salah satu bidang nanoteknologi yang berkembang pesat dan digunakan untuk memproduksi serat nano (*nanofiber*) dan partikel nano (*nano particle*) dari bahan organik, anorganik dan komposit. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa fluks air meningkat ketika tekanan dinaikkan dan aktivitas antibakteri meningkat dengan bertambahnya jumlah TiO₂ pada membran.

Berdasarkan uraian di atas, penambahan TiO₂ mampu meningkatkan aktivitas antibakteri dan permeabilitas membran terbukti dengan bertambahnya nilai fluks yang melalui membran. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian terkait pengaruh variasi fraksi massa nilon dan TiO₂ terhadap karakteristik efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid. Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Jabur *et al.* (2017) terletak pada penggunaan variasi fraksi massa dan metode pembuatan membran dimana pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode inversi fasa. Metode inversi fasa merupakan salah satu metode pembuatan membran yang sederhana namun diharapkan mampu menghasilkan aktivitas antibakteri dan permeabilitas

yang tinggi. Uji antibakteri dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fraksi massa TiO_2 terhadap daya hambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada membran hibrid. Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang tidak membentuk spora dan merupakan flora normal di usus dan sebagai penyebab penyakit diare (Noverita *et al.*, 2009). Sedangkan salah satu parameter yang sering digunakan dalam penilaian kinerja membran adalah besarnya permeabilitas membran yang dapat diketahui melalui uji fluks dan pengukuran *Nernst potential* pada membran. Uji fluks pada membran nilon yang ditambah TiO_2 dilakukan dengan metode aliran *dead-end*. Sedangkan pengukuran *Nernst potential* dilakukan untuk mengamati proses *transport* ion yang melalui membran hibrid.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi fraksi massa nilon dan titanium dioksida (TiO_2) terhadap efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian pengaruh variasi fraksi massa nilon dan titanium dioksida (TiO_2) terhadap efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid dibatasi pada:

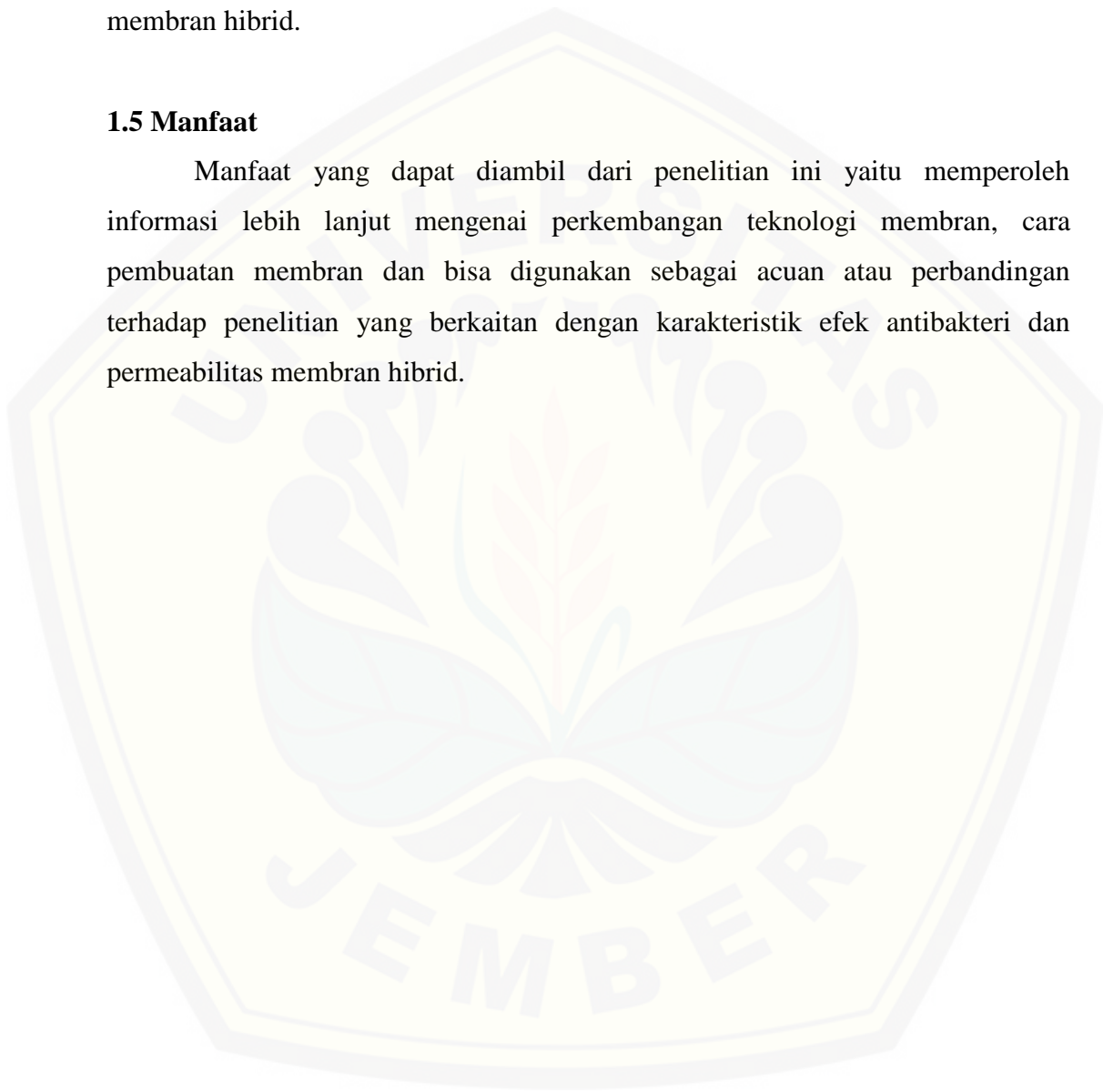
1. Nilon yang digunakan pada penelitian ini merupakan benang nilon merek ikan marlin.
2. Variasi tekanan yang digunakan pada proses filtrasi sebesar 1 bar, 2 bar dan 3 bar dengan fraksi massa nilon- TiO_2 sebesar 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%.

1.4 Tujuan

Berdasarkan uraian pada rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi massa nilon dan titanium dioksida (TiO_2) terhadap efek antibakteri dan permeabilitas pada membran hibrid.

1.5 Manfaat

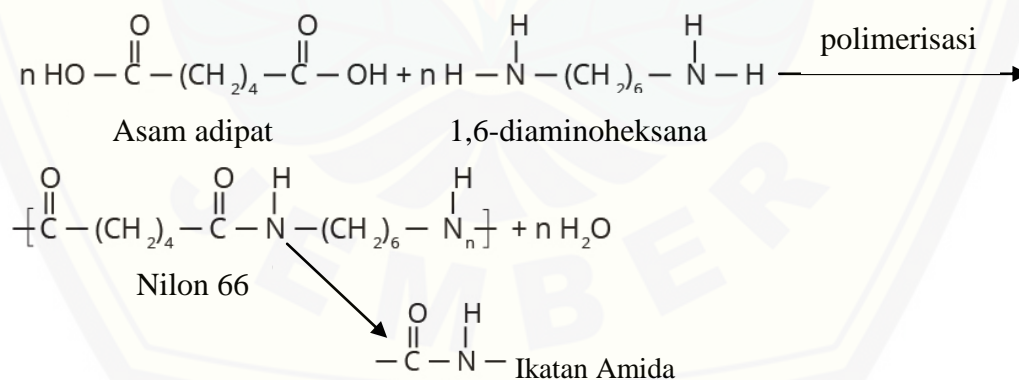
Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu memperoleh informasi lebih lanjut mengenai perkembangan teknologi membran, cara pembuatan membran dan bisa digunakan sebagai acuan atau perbandingan terhadap penelitian yang berkaitan dengan karakteristik efek antibakteri dan permeabilitas membran hibrid.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Polimer Nilon

Nilon merupakan senyawa polimer yang memiliki gugus amida pada setiap unit ulangnya, sehingga nilon disebut sebagai senyawa poliamida (Fanani *et al.*, 2014). Adanya gugus amida pada nilon menunjukkan bahwa terdapat komponen penyusun nilon berupa poliamida (-CONH-) (unit ulangan amida) yang memiliki gugus ikatan H antara kelompok C=O dalam satu rantai ke kelompok N-H dari rantai lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Pramanik *et al.*, 2015). Nilon merupakan polimer kondensasi yang terjadi dari reaksi antara gugus fungsi pada monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Dalam polimerasi kondensasi, dua molekul bergabung menjadi satu molekul yang lebih besar. Monomer-monomer bereaksi secara adisi untuk membentuk rantai. Namun, setiap ikatan baru yang dibentuk akan bersamaan dengan dihasilkannya suatu molekul kecil dari atom-atom monomer. Pada reaksi seperti ini, tiap monomer harus mempunyai dua gugus fungsional sehingga dapat menambahkan pada tiap ujung unit ke unit lainnya dari rantai tersebut (Suhendi, 2007).



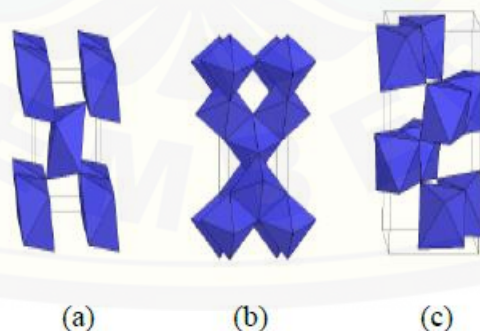
Gambar 2.1 Gugus fungsi nilon 66 (Nurilmaulidi, 2011)

Nilon mempunyai sifat antara lain kuat dan tahan gesekan, elastisitasnya besar, jika diregang sampai 8% benang akan kembali pada panjang semula, tetapi jika terlalu diregang bentuknya akan berubah, kenyal, tidak mengisap air sehingga mudah kering, umumnya tidak tahan panas, larut dalam fenol, tetapi jika

menggunakan fenol cair akan mengerut, tahan terhadap alkali dan tidak tahan terhadap klor, tahan air garam, jika dibakar terlihat meleleh, tidak menyala dan membentuk tepi berwarna coklat (Apipah, 2013).

Berdasarkan sifat fisik, kimia dan strukturnya nilon sangat memungkinkan untuk dijadikan bahan dasar dari pembuatan membran. Nilon bersifat semikristalin, kuat dan tahan terhadap suhu tinggi. Oleh karena itu, nilon sangat baik digunakan sebagai bahan termoplastik pada mesin, yang memiliki kemampuan setara atau lebih baik daripada logam. Nilon dapat digolongkan menjadi nilon aromatik dan linear. Nilon aromatik ialah nilon yang memiliki gugus aromatik pada unit ulangnya misalnya nilon-6,6. Sedangkan nilon linear adalah nilon yang tersusun atas rantai lurus pada unit ulangnya misalnya nilon-6. Penelitian lebih lanjut telah membuktikan bahwa nilon-6,6 dapat dimodifikasi menjadi membran. Membran yang dihasilkan termasuk membran ultrafiltrasi dan telah digunakan dalam proses pengolahan limbah zat warna dari industri tekstil di Bali (Suhendi, 2007). Nilon-6 merupakan salah satu jenis senyawa poliamida yang paling banyak penggunaannya. Sesuai dengan namanya, nilon-6 tersusun atas 6 atom karbon pada setiap unit ulangnya.

2.2 Bahan Anorganik Titanium Dioksida (TiO_2)



Gambar 2.2 Struktur kristal TiO_2 (a), kristal *rutile* (b), kristal *anatase* (c), kristal *brookite* (Marlupi, 2003)

TiO_2 merupakan salah satu bahan anorganik yang memiliki sifat hidrofilisitas, daya tahan yang tinggi terhadap bakteri dan harga yang murah

(Mahaningsih, 2011). TiO_2 memiliki tiga fase kristal yang berbeda yaitu *rutile*, *anatase* dan *brookite* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bentuk kristal *anatase* dapat diamati pada pemanasan serbuk TiO_2 mulai dari suhu 120°C dan mencapai sempurna pada suhu 500°C , sedangkan bentuk kristal *rutile* mulai terbentuk pada suhu 700°C . *Rutile* cenderung lebih stabil pada suhu tinggi, sedangkan *anatase* cenderung lebih stabil pada suhu rendah. Keduanya mempunyai sistem kristal tetragonal. *Brookite* biasanya terdapat dalam mineral dan mempunyai struktur kristal ortorombik. Bentuk kristal yang paling aktif diantara ketiganya adalah *anatase*. Karena struktur kristal *anatase* lebih stabil, tahan dalam kondisi asam maupun basa kuat, tidak beracun, dan memiliki tingkat aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Struktur kristal *rutile*, *anatase* dan *brookite* digambarkan dalam rantai oktahedron TiO_2 (Lestari, 2012).

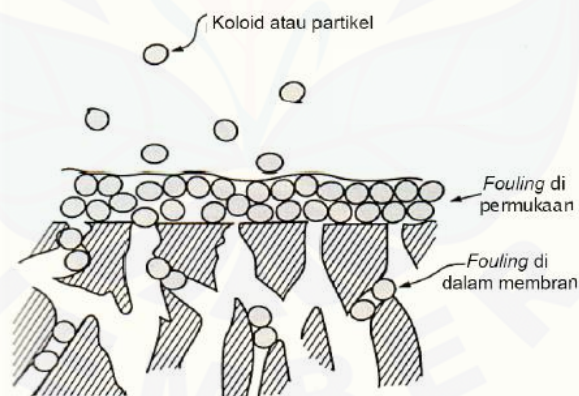
Penggunaan TiO_2 baik dalam bentuk tetragonal *rutile* ataupun *anatase* sangat banyak digunakan dalam bidang industri antara lain sebagai pigmen pemutih, bahan utama keramik untuk elektronik (BaTiO_3) dan bahan baku untuk pembuatan TiO_2 *polimericprecursor* (Mahaningsih, 2011). Titanium dioksida (TiO_2) telah banyak digunakan dalam teknologi membran untuk meningkatkan permeabilitas dan sifat *antifouling* membran karena efek fotokatalitik dan superhidrofilisitas. Penggunaan TiO_2 dapat mencegah terjadinya *fouling* dengan cara memasukkan nanopartikel TiO_2 di atas permukaan membran polimerik (Mohamad *et al.*, 2013).

2.3 Teknologi Membran

Membran merupakan lapisan tipis yang dapat melewatkan komponen tertentu saja dan menahan komponen lain berdasarkan pada perbedaan ukuran komponen yang dipisahkan. Membran dapat berfungsi sebagai penghalang (*barrier*) yang sangat selektif di antara dua fasa (Juansah *et al.*, 2012). Proses pemisahan menggunakan membran terjadi karena perbedaan ukuran pori, bentuk, dan struktur kimianya. Membran yang demikian dikenal dengan membran semipermeabel, artinya membran dapat menahan komponen tertentu dan

meloloskan komponen lain. Komponen yang akan dipisahkan disebut *feed* dan komponen hasil pemisahan disebut *permeat* (Al, 2003).

Keunggulan yang diperoleh dari teknologi membran yaitu proses pemisahan dapat dilakukan secara kontinu, proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*), konsumsi energi umumnya relatif rendah dan pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah diciptakan. Sedangkan kelemahan teknologi membran yaitu pada fluks dan selektivitas. Fluks dan selektivitas memiliki nilai saling keterbalikan dalam proses membran. Fluks yang tinggi mengakibatkan penurunan selektivitas membran (Agustina, 2006). Penurunan nilai fluks pada proses filtrasi disebabkan karena adanya *fouling*. *Fouling* ini terjadi akibat adanya molekul-molekul yang terakumulasi pada permukaan membran dimana molekul-molekul tersebut akan menempati pori-pori dan tersumbat di dalam membran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Terjadinya *fouling* dapat diketahui dari nilai fluks yang mengalami penurunan, adanya perubahan pada nilai konduktivitas, dan lain sebagainya.



Gambar 2.3 Gejala *fouling* (Athiyah, 2012)

2.3.1 Klasifikasi Membran

Membran dapat digolongkan dalam berbagai macam. Berdasarkan ukuran porinya, membran dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Reverse osmosis* yaitu membran yang memiliki diameter pori antara 0,0001 – 0,001 μm .

2. Ultrafiltrasi yaitu membran yang memiliki diameter pori antara $0,001 - 0,1\mu\text{m}$.
3. Mikrofiltrasi yaitu membran yang mempunyai diameter pori antara $0,1 - 10\mu\text{m}$.
4. Konvensional filtrasi yaitu membran yang tergolong penyaring pada umumnya yang memiliki diameter pori antara $10 - 100\mu\text{m}$ (Baker, 2004).

Berdasarkan gradien tekanan sebagai gaya dorongnya dan permeabilitasnya membran dibedakan menjadi:

1. Mikrofiltrasi (MF) yaitu membran yang beroperasi pada tekanan berkisar $0,1-2$ bar dan batasan permeabilitasnya lebih besar dari $50 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$.
2. Ultrafiltrasi (UF) yaitu membran yang beroperasi pada tekanan antara $1-5$ bar dan batasan permeabilitasnya adalah $10-50 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$.
3. Nanofiltrasi yaitu membran yang beroperasi pada tekanan antara $5-20$ bar dan batasan permeabilitasnya mencapai $1,4-12 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$.
4. *Reverse osmosis* (RO) yaitu membran yang beroperasi pada tekanan antara $10-100$ bar dan batasan permeabilitasnya mencapai $0,005-1,4 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$ (Mulder, 1996).

Ditinjau dari sifat listriknya, membran dibagi menjadi dua yaitu membran tidak bermuatan tetap dan membran bermuatan tetap. Membran tidak bermuatan tetap disebut juga membran netral. Membran ini terdiri dari polimer yang tidak mengikat ion-ion sebagai ion tetap dan bersifat selektif terhadap larutan kimia. Selektivitas membran netral ditentukan oleh unsur-unsur penyusun (monomer), iktan kimia, ukuran pori-pori, daya tahan terhadap tekanan dan temperatur, serta karakteristik sifat listriknya. Membran bermuatan tetap terbentuk karena molekul-molekul ionik yang menempel pada membran secara kimia. Ion-ion tidak dapat berpindah dan membentuk lapisan tipis bermuatan pada membran, sehingga membran ini dapat dilalui ion-ion tertentu saja (Mahaningsih, 2011).

Berdasarkan materi pembentuknya, membran dapat dibedakan menjadi membran alami dan membran sintesis. Membran alami merupakan membran yang terbuat dari bahan alami seperti pulp dan kapas, sedangkan membran sintesis merupakan membran yang terbuat dari bahan kimia (Wenten, 2010). Saat ini telah dikembangkan membran yang disebut dengan *mixed matrix membrane* (MMM) atau dikenal sebagai membran hibrid, yaitu penggabungan dari bahan polimer

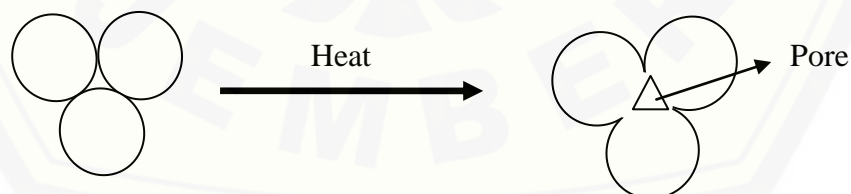
(sintesis) dan bahan anorganik. Tujuannya adalah untuk mengurangi biaya produksi dengan tetap menjaga permeabilitas dan selektivitas membran yang baik. Membran hibrid yang dihasilkan menunjukkan sifat mekanik yang meningkat, memiliki interaksi kimia yang kuat antar komponen, stabilitas kimia yang unggul, serta kinerja yang lebih baik. Membran hibrid dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh membran polimer, yaitu mengeliminasi keterbalikan antara permeabilitas dan selektivitas. Permeabilitas dari membran hibrid ditentukan oleh bahan polimer dan bahan anorganik yang akan menentukan selektivitas (tanpa keberadaan cacat membran). Bahan polimer yang umum digunakan dalam pembuatan membran hibrid adalah tipe polimer gelas (*glass polymer*) dan polimer *rubber*, karena selektivitasnya yang tinggi (Wenten, 2016; Pinem dan Angela, 2011).

2.3.2 Teknik Pembuatan Membran

Beberapa teknik pembuatan membran yang paling penting diantaranya:

1. *Sintering*

Bahan membran ditekan dan dipanaskan pada suhu yang tinggi sehingga antarmuka partikel yang berdekatan akan menghilang dan timbul pori-pori seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Metode ini dilakukan untuk menghasilkan membran organik dan anorganik ukuran pori antara 0,1-10 μm .



Gambar 2.4 Skema proses *sintering* (Mulder, 1996)

2. *Stretching*

Film yang terbuat dari polimer semikristal ditarik searah dengan arah ekstrusi sehingga bagian kristal dari polimer terletak sejajar dengan arah ekstrusi.

Porositas membran yang dihasilkan dengan metode ini lebih banyak dibanding dengan metode *sintering*. Pori yang terbentuk berukuran antara 0,1-3 μ m.

3. *Track-etching*

Film dari polimer ditembak dengan partikel radiasi berenergi tinggi pada arah tegak lurus terhadap film. Partikel radiasi akan membentuk lintasan pada matriks film. Ketika film dimasukkan ke dalam bak asam atau basa, pori akan terbentuk sepanjang lintasan. Pori yang dihasilkan berukuran seragam (simetri) dengan ukuran pori antara 0,02-10 μ m.

4. *Template leaching*

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

5. *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 dari dua material. Material yang sangat selektif diletakkan di bagian atas membran. Bagian ini menentukan selektivitas membran. Sedangkan material berpori besar diletakkan di bagian bawah membran. *Coating* dapat dilakukan dengan cara *dip coating*, polimerisasi plasma, polimerisasi antarmuka dan polimerisasi *in situ*.

6. Inversi fasa

Inversi fasa adalah proses transformasi polimer dari fasa cair ke fasa padat. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan perubahan satu fasa cair menjadi dua fasa cair yang saling campur. Peristiwa ini disebut pemisahan cair-cair (*liquid-liquid demixing*). Salah satu fasa cair tersebut adalah fasa yang kaya polimer. Fasa ini akan memadat selama proses inversi fasa sehingga membentuk matriks padat (membran) (Mulder, 1996).

2.4 Metode Inversi Fasa

Metode inversi fasa pertama kali diperkenalkan pada akhir tahun 1950 oleh Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan yang kemudian dikenal dengan teknik Loeb-Sourirajan (Wenten *et al.*, 2010). Teknik ini menghasilkan membran asimetrik dengan ukuran pori yang bervariasi. Pembentukan membran dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, pembuatan larutan cetak yang homogen, penguapan pelarut secara parsial pada lapisan atas dan terakhir pengendapan polimer dalam bak koagulan yang berisi non-pelarut. Polimer yang digunakan harus memiliki kelarutan yang rendah dalam non-pelarut. Kelarutan polimer dalam non-pelarut berpengaruh terhadap pori yang terbentuk. Semakin tinggi kelarutan polimer dalam non-pelarut, semakin besar polimer yang terbentuk. Pori yang terbentuk juga dipengaruhi oleh konsentrasi polimer dalam larutan cetak. Semakin tinggi konsentrasi polimer, pori yang terbentuk semakin rapat. Menurut Ali (2016), metode inversi fasa ini dapat dilakukan dengan beberapa teknik yaitu:

1. Presipitasi dengan penguapan pelarut

Polimer dilarutkan dalam pelarut dan kemudian larutan polimer dicetak di atas plat kaca. Setelah itu larutan dibiarkan agar pelarutnya menguap ke atmosfer. Larutan polimer akan semakin pekat selama penguapan dan akhirnya memadat menjadi membran. Membran yang dihasilkan melalui teknik ini adalah membran homogen yang tebal.

2. Presipitasi fasa uap

Membran dibuat dengan meletakkan cetakan larutan *dope* yang terdiri dari polimer dan pelarut pada susunan uap. Fasa uap mengandung uap jernih pelarut dan non-pelarut yang sama dengan cetakan larutan *dope*. Membran terbentuk karena difusi non-pelarut ke dalam cetakan larutan *dope*. Konsentrasi pelarut yang tinggi dalam fasa uap akan menghalangi penguapan pelarut dari cetakan larutan *dope* dan membran yang terbentuk adalah membran berpori dengan permukaan terbuka (tanpa kulit membran).

3. Presipitasi dengan penguapan terkontrol

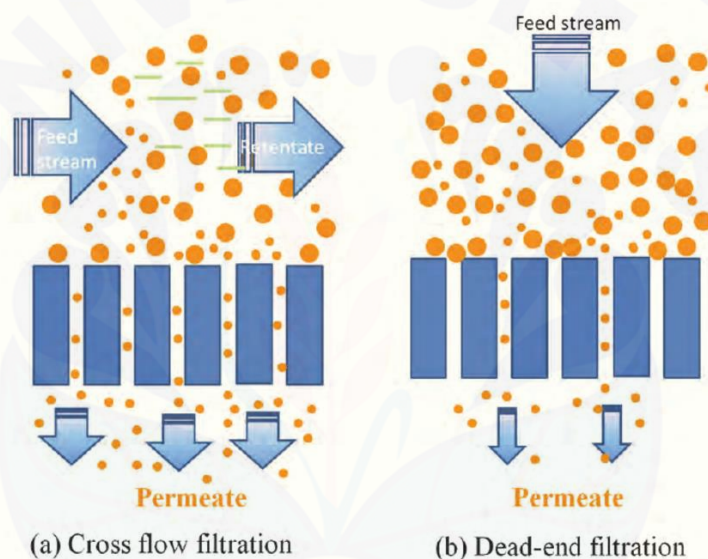
Teknik ini menggunakan campuran pelarut dan non-pelarut sebagai pelarut untuk polimernya. Karena pelarut lebih mudah menguap daripada non-pelarut

maka kecepatan penguapan dapat dikontrol dengan mengatur komposisi campuran pelarut dan non-pelarut. Setelah pelarut menguap semua akan menghasilkan fasa polimer padat (membran).

4. Presipitasi melalui pencelupan

Pada teknik ini larutan dicetak di atas plat kaca, setelah itu dicelupkan ke dalam bak koagulan. Pengendapan terjadi karena difusi koagulan (air) ke dalam larutan cetak dan difusi pelarut dari larutan cetak.

2.5 Proses Filtrasi



Gambar 2.5 Sistem aliran filtrasi, (a) *cross flow* dan (b) *dead-end* (El-Safty dan Hoa, 2012)

Filtrasi merupakan suatu proses pemisahan yang bergantung pada bahan dan tingkat filtrasi yang diinginkan. Proses filtrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah ultrafiltrasi. Berdasarkan arah larutan umpan, proses filtrasi terdiri dari dua jenis sistem aliran yaitu *dead-end* dan *cross-flow* seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.5. Prinsip kerja dari sistem aliran *dead-end* yaitu larutan umpan dialirkan secara tegak lurus terhadap membran, akibatnya cepat terjadi akumulasi konsentrasi komponen-komponen yang tertahan pada permukaan membran sehingga terjadi *fouling* yang menyebabkan penurunan laju (fluks) hasil pemisahan. Sedangkan pada sistem *cross-flow* larutan umpan dialirkan secara

sejajar (tangensial) terhadap membran, akibatnya komponen-komponen yang tertahan di atas permukaan membran akan dibersihkan oleh aliran umpan yang sejajar dengan membran sehingga tidak cepat terjadi akumulasi konsentrasi dan tidak cepat terjadi *fouling* (Baker, 2004).

2.6 Uji Antibakteri

Antibakteri adalah senyawa yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan bahkan mematikan bakteri yang bersifat merugikan. Di bidang farmasi, bahan antibakteri dikenal sebagai antibiotik, yaitu suatu substansi kimia yang dihasilkan oleh mikroba dan dapat menghambat pertumbuhan mikroba lain. Mekanisme penghambatan terhadap pertumbuhan bakteri oleh senyawa antibakteri dapat berupa merusak dinding sel dengan cara menghambat pembentukannya atau mengubahnya setelah selesai terbentuk, perubahan permeabilitas membran sitoplasma sehingga menyebabkan keluarnya bahan makanan dari dalam sel, perubahan molekul protein dan asam nukleat, penghambatan kerja enzim, dan penghambatan sintesis asam nukleat dan protein. Mekanisme penghambatan antibakteri dapat dikelompokkan menjadi lima, yaitu menghambat sintesis dinding sel mikrobia, merusak ketahanan dinding sel mikrobia, menghambat sintesis protein sel mikrobia, menghambat sintesis asam nukleat, dan merusak asam nukleat sel mikrobia (Rahmawati *et al.*, 2014).

Ampisilin merupakan antibiotik berspektrum luas yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri baik Gram positif maupun Gram negatif. Pernah dilakukan penelitian mengenai perbandingan uji resistensi bakteri *staphylococcus aureus* terhadap obat antibiotik ampisilin dan tetrasiklin. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata zona hambat yang dihasilkan oleh antibiotik ampisilin adalah 36,64 mm dan antibiotik tetrasiklin adalah 25,58 mm. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara antibiotik ampisilin dan antibiotik tetrasiklin. Antibiotik ampisilin lebih sensitif dan lebih efektif dibandingkan dengan antibiotik tetrasiklin dalam menghambat pertumbuhan bakteri *staphylococcus aureus* (Finnie, 2015).

2.6.1 Metode Difusi

1. Metode *disc diffusion* (tes Kirby dan Bauer)

Metode *disc diffusion* digunakan untuk menentukan aktivitas agen antibakteri. Piringan yang berisi agen antibakteri diletakkan pada media agar yang telah ditanami mikroorganisme yang akan berdifusi pada media agar tersebut. Area jernih pada permukaan media agar mengindikasikan adanya hambatan pertumbuhan mikroorganisme oleh agen antibakteri.

2. *E-test*

Metode *e-test* digunakan untuk mengestimasi *minimum inhibitory concentration* (MIC) atau kadar hambat minimum (KHM), yaitu konsentrasi minimal agen antibakteri untuk dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

3. *Ditch-plate technique*

Sampel uji berupa agen antibakteri diletakkan pada parit yang dibuat dengan cara memotong media agar dalam cawan petri pada bagian tengah secara membujur dan bakteri uji (maksimum 6 macam) digoreskan ke arah parit yang berisi agen antibakteri.

4. *Cup-plate technique*

Metode ini dilakukan dengan membuat sumur pada media agar yang telah ditanami dengan mikroorganisme dan pada sumur tersebut diberi agen antibakteri yang akan diuji.

5. *Gradient-plate technique*

Konsentrasi agen antibakteri pada media agar secara teoritis dari 0 hingga maksimal. Media agar dicairkan dan larutan uji ditambahkan. Campuran kemudian dituang ke dalam cawan petri dan diletakkan dalam posisi miring. *Plate* diinkubasi selama 24 jam untuk memungkinkan agen antibakteri berdifusi dan permukaan media mengering. Bakteri uji (maksimal 6 macam) digoreskan pada arah mulai dari konsentrasi tinggi ke rendah.

2.6.2 Metode Dilusi

1. Metode dilusi cair

Metode ini mengukur kadar hambat minimum (KHM) dan kadar bakterisidal minimum (KBM). Cara yang dilakukan adalah dengan membuat seri pengenceran agen antibakteri pada medium cair yang ditambahkan dengan bakteri uji. Larutan uji agen antibakteri pada kadar terkecil yang terlihat jernih tanpa adanya pertumbuhan bakteri uji ditetapkan sebagai KHM. Selanjutnya larutan dikultur ulang pada media cair tanpa penambahan bakteri uji ataupun agen antibakteri, dan diinkubasi selama 18-24 jam. Media cair tetap terlihat jernih setelah inkubasi ditetapkan sebagai KBM.

2. Metode dilusi padat

Metode ini serupa dengan metode dilusi cair namun menggunakan media padat (solid). Keuntungan metode ini adalah satu konsentrasi agen antibakteri yang diuji dapat digunakan untuk menguji beberapa bakteri uji (Pratiwi, 2008).

2.7 Permeabilitas Membran

Salah satu parameter utama untuk menentukan kinerja membran dalam filtrasi yaitu besarnya permeabilitas membran. Permeabilitas membran pada penelitian dapat diketahui melalui nilai fluks. Fluks merupakan jumlah volume permeat yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong berupa tekanan dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1). Satuan yang menyatakan besaran fluks adalah L/m^2 jam atau kg/m^2 jam.

$$J_v = \frac{V}{t \times A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

J_v = fluks (L/m^2 .jam)

V = volume permeat (L)

t = waktu perolehan permeat dengan volume tertentu (jam)

A = luas permukaan membran (m^2)

(Mulder, 1996).

Satuan yang menyatakan besaran fluks adalah L/m^2 jam atau kg/m^2 jam. Pengukuran nilai fluks dapat dilakukan pada berbagai tekanan sebagai sumbu X dan nilai fluks sebagai sumbu Y. Slope dari persamaan garis yang diperoleh merupakan nilai koefisien permeabilitas. Penentuan koefisien permeabilitas dapat dinyatakan pada persamaan (2.2)

$$J_v = L_p \times \Delta P \quad (2.2)$$

Keterangan:

J_v = fluks (L/m^2 .jam)

L_p = koefisien permeabilitas (L/m^2 .jam.bar)

ΔP = perubahan tekanan (bar)

(Mulder, 1996).

Kisaran nilai koefisien permeabilitas membran dan tekanan dapat menentukan jenis membran seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis membran berdasarkan kisaran tekanan dan koefisien permeabilitas

Jenis membran	Tekanan (bar)	Koefisien permeabilitas membran (L/m^2 .jam.bar)
Mikrofiltrasi	0,1-2,0	>50
Ultrafiltrasi	1,0-5,0	10-50
Nanofiltrasi	5,0-20	1,4-12
<i>Reverse Osmosis</i>	10-100	0,05-1,2

Sumber: Mulder, 1996

Volume reduction factor (VRF) atau dengan istilah lain faktor pengurangan volume merupakan faktor penting dalam proses ultrafiltrasi yang berkaitan dengan pengaruh konsentrasi yang dihasilkan (Zhang *et al.*, 2010). Pengaruh konsentrasi yang dimaksud ialah banyak sedikitnya hasil zat filtrasi terhadap fluks pada berbagai variasi fraksi massa dan tekanan transmembran yang dihasilkan pada membran hibrid Nilon-TiO₂. Nilai *volume reduction factor* ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.2)

$$VRF = \frac{V_f}{V_r} \quad (2.3)$$

Keterangan:

V_p = volume *permeat* (L)

V_f = volume *feed* (L)

(Conidi *et al.*, 2015)

2.8 Pengukuran *Nernst Potential*

Nernst potential merupakan perbedaan potensial listrik diantara sebuah membran yang memisahkan dua buah larutan. *Nernst potential* muncul karena ion-ion yang menembus membawa muatan listrik melintasi membran pada berbagai kecepatan yang berbeda. Keadaan kedua sisi harus dalam keadaan netral, sehingga muncul potensial listrik yang akan memperlambat ion yang bergerak cepat dan mempercepat ion yang bergerak lambat. Ion-ion kemudian bergerak dengan kecepatan yang sama sehingga terjadi keseimbangan ion. Keseimbangan ion dapat dicapai dari gradien konsentrasi (Agustina, 2004).

Persamaan (2.3) dapat digunakan untuk mengetahui keseimbangan *Nernst potential* :

$$V_k = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_{out}}{[K^+]_{in}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

V_k = Beda potensial total (Volt)

R = konstanta gas (R = 8,314J/K.mol)

T = suhu mutlak (K)

F = konstanta Faraday (F = 96.400 $\frac{\text{Coulomb}}{\text{mol}}$)

z = jumlah muatan ion

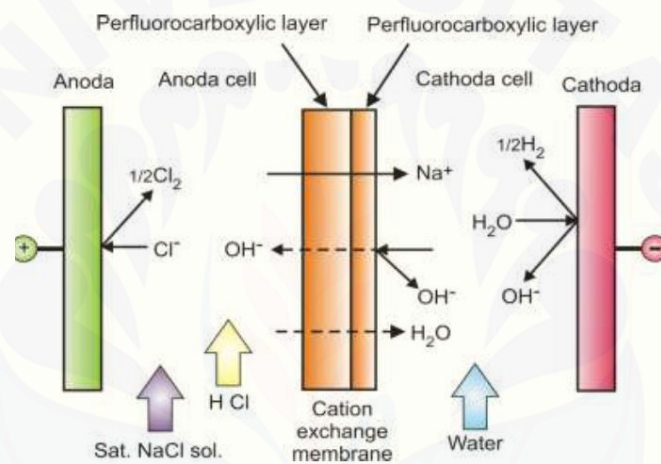
$[K^+]_{out}$ = konsentrasi ion di luar sel

$[K^+]_{in}$ = konsentrasi ion di dalam sel

(Agustina, 2004)

Membran merupakan lapisan tipis berpori yang hanya dapat dilalui oleh molekul-molekul kecil seperti air. Difusi ion-ion akan menembus membran sel dan mempengaruhi potensial di sisi dalam dan luar membran sel. Untuk melihat pengaruh kedua jenis ion tersebut pada potensial membran sel, akan dilihat pengaruh masing-masing jenis ion tersebut secara sendiri-sendiri terlebih dahulu, setelah itu baru diperhitungkan interaksi keduanya secara bersamaan (Salisbury dan Cleon, 1995).

Mekanisme *transport* ion yang melewati membran diilustrasikan seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mekanisme *transport* ion (Wenten *et al.*, 2014)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian “Pengaruh Variasi Fraksi Massa Nilon dan TiO_2 terhadap Efek Antibakteri dan Permeabilitas pada Membran Hibrid” dilakukan dengan 2 tahap antara lain: 1) tahap sintesis membran hibrid nilon- TiO_2 dan 2) tahap uji antibakteri dan uji permeabilitas (nilai fluks dan pengukuran *Nernst potential*) membran hibrid nilon- TiO_2 . Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dimulai dari bulan Januari 2018 sampai bulan Oktober 2018. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam untuk proses sintesis membran hibrid nilon- TiO_2 dan pengukuran *Nernst potential* membran, Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam untuk uji antibakteri, dan Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam untuk proses ultrafiltrasi larutan garam dengan sistem aliran *dead-end*.

Kegiatan penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur tentang perkembangan teknologi membran khususnya membran hibrid. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan nilon dan titanium dioksida (TiO_2) sebagai bahan dasar pembuatan membran hibrid nilon- TiO_2 . Seperti yang telah diketahui bahwa membran mempunyai peran penting pada kehidupan manusia. Mulai dari organ-organ tubuh sampai aplikasi yang banyak digunakan pada bidang industri. Membran hibrid nilon- TiO_2 yang terbentuk akan dilakukan uji antibakteri dan uji permeabilitas membran pada proses ultrafiltrasi larutan NaCl dengan konsentrasi 35 ppt (Jakhrani, 2012) dan pengukuran nilai *Nernst potential*.

Alat yang digunakan pada penelitian ini ialah neraca analitik, tabung erlenmeyer, tabung reaksi, mikropipet, *beaker glass*, gelas ukur, labu ukur, cawan petri, pipet volume, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, plat kaca, selotip, batang silinder spatula, *thickness gauge*, inkubator, *autoclav*, jarum ose, pelubang kertas, *micro tip*, nampan, *chamber*, multimeter, elektroda dan satu set alat ultrafiltrasi.

Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi aquades, nilon, titanium dioksida (TiO_2), bahan pelarut yaitu asam klorida PA merek Mallincrodt (HCl 37%) dan aseton PA, larutan NaCl (35 ppt), bakteri *Escherichia coli*, kertas saring, kertas coklat, kapas, karet gelang, alkohol 70%, vaseline, ampisilin dan aluminium foil.

Sintesis membran hibrid nilon- TiO_2 dilakukan menggunakan metode inversi fasa. Tahap sintesis membran diawali dengan mencampurkan nilon dan titanium dioksida (TiO_2) pada berbagai variasi fraksi massa ke dalam pelarut asam klorida (HCl 25%) dan aseton. Cara untuk mendapatkan asam klorida (HCl 25%) dapat dilihat pada Lampiran 3.1. Setelah terbentuk larutan membran dicetak pada plat kaca dan diratakan dengan batang silinder spatula agar membentuk lapisan tipis. Membran kemudian direndam dalam aquades untuk menghilangkan pelarut yang masih menempel dan untuk pembentukan pori membran. Tahap selanjutnya yaitu uji antibakteri, uji fluks dan pengukuran nilai *Nernst potential* membran hibrid nilon- TiO_2 . Uji antibakteri dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fraksi massa TiO_2 terhadap daya hambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada membran hibrid nilon- TiO_2 . Uji fluks dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan TiO_2 terhadap laju fluks yang melalui membran dan pengukuran Nernst potential dilakukan untuk mengamati proses *transport ion* yang melalui membran hibrid dalam hal ini adalah larutan NaCl.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data kuantitatif. Berdasarkan uji antibakteri, uji fluks dan pengukuran Nernst potential membran hibrid nilon- TiO_2 dihasilkan data kuantitatif. Data kuantitatif yang didapat dari uji antibakteri berupa diameter zona hambat yang terbentuk. Data kuantitatif yang didapat dari uji fluks berupa volume *permeat*. Sedangkan data kuantitatif yang diperoleh melalui pengukuran *Nernst potential* berupa nilai beda potensial. Sumber data yang digunakan untuk menentukan aktivitas antibakteri dan permeabilitas membran hibrid nilon- TiO_2 pada proses ultrafiltrasi larutan

garam dengan sistem aliran *dead-end* adalah data primer. Data yang digunakan diperoleh langsung dari hasil eksperimen.

3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukurannya

Adapun variabel pengukuran dalam penelitian ini meliputi:

3.3.1 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu massa benang nilon, massa TiO_2 , dan tekanan transmembran pada proses ultrafiltrasi. Variasi fraksi massa benang nilon dan TiO_2 yang digunakan yaitu 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% dan 60%:40% dari massa total. Massa total yang digunakan yaitu 6 gram. Menurut Mulder (1996), tekanan membran pada proses ultrafiltrasi berkisar antara 1-5 bar. Pada penelitian ini digunakan variasi tekanan 1 bar, 2 bar, dan 3 bar untuk masing-masing variasi fraksi massa membran nilon- TiO_2 .

b. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan besaran yang diukur untuk menentukan pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah aktivitas antibakteri, fluks membran dan nilai *Nernst potential*. Aktivitas antibakteri ditentukan berdasarkan uji antibakteri, fluks membran ditentukan dari proses ultrafiltrasi membran dan nilai beda potensial ditentukan dari pengukuran *Nernst potential* larutan NaCl yang melalui membran.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang tidak divariasikan. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu konsentrasi sampel uji antibakteri 10 μl dan larutan *feed* berupa larutan NaCl dengan konsentrasi 35 ppt.

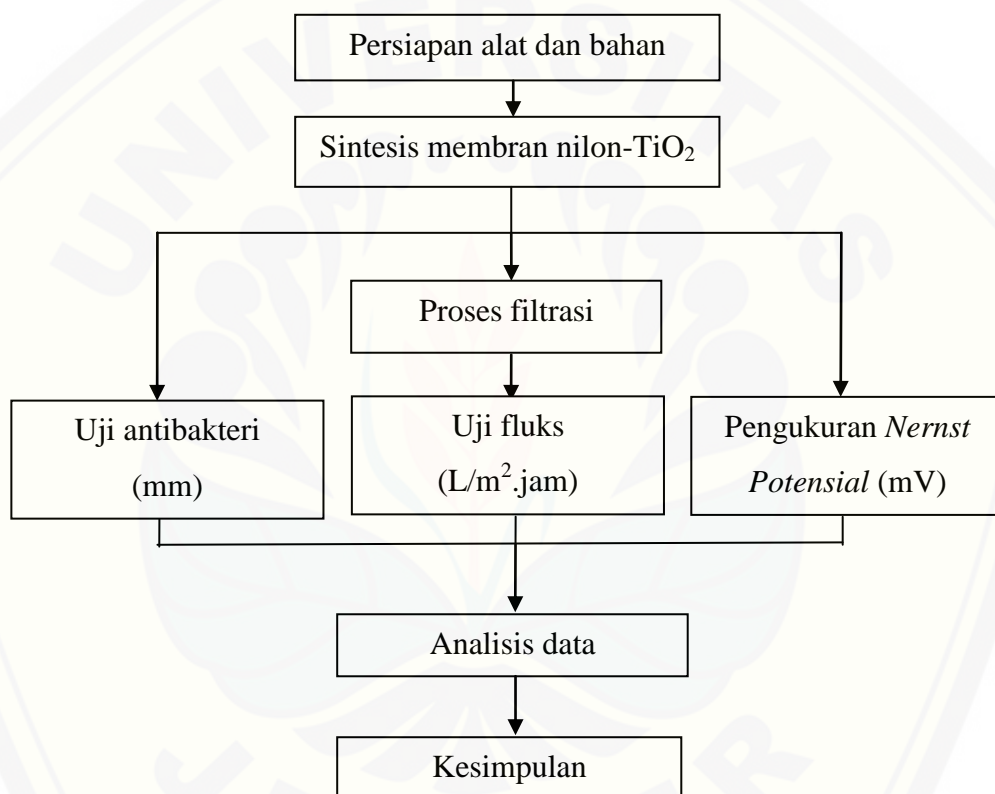
3.3.2 Skala Pengukuran

Skala pengukuran yang digunakan pada penelitian ini yaitu skala pengukuran rasio. Skala pengukuran rasio digunakan untuk membandingkan data yang diperoleh. Pada penelitian ini, skala pengukuran rasio menyatakan

perbandingan pengaruh variasi fraksi massa nilon dan TiO_2 terhadap aktivitas antibakteri dan permeabilitas membran (nilai fluks dan nilai beda potensial).

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini dilakukan dalam tahapan kegiatan penelitian yang digambarkan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir kerangka pemecahan masalah

Adapun kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.4.1 Tahap Sintesis Membran Hibrid Nilon-TiO₂

Tahap pembuatan membran hibrid nilon-TiO₂ dilakukan menggunakan metode inversi fasa. Pembuatan ini dimulai dengan menimbang massa nilon dan titanium dioksida (TiO₂) dengan variasi fraksi massa 100%:0% atau sama dengan

6 gram nilon sebagai membran A, 90%:10% dengan massa nilon 5,4 gram dan TiO₂ 0,6 gram sebagai membran B, 80%:20% dengan massa nilon 4,8 gram dan TiO₂ 1,2 gram sebagai membran C, 70%:30% dengan massa nilon 4,2 gram dan TiO₂ 1,8 gram sebagai membran D, dan 60%:40% dengan massa nilon 3,6 gram dan TiO₂ 2,4 gram sebagai membran E. Proses selanjutnya pada pembuatan membran ini dilakukan dengan mencampurkan nilon dan titanium dioksida (TiO₂) ke dalam pelarut asam klorida (HCl 25%) sebanyak 20ml dan aseton sebanyak 2ml. Penambahan larutan aseton ini bertujuan untuk mempercepat reaksi antara benang nilon dan asam klorida. Selanjutnya campuran bahan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 75 menit dengan kecepatan 350 rpm sehingga terbentuk larutan polimer yang homogen. Setelah terbentuk, larutan dicetak pada plat kaca yang sebelumnya pada dua sisi kaca telah dilapisi selotip dan diratakan dengan batang silinder spatula agar menjadi lapisan tipis, proses ini disebut *casting solution*. Membran yang sudah dicetak kemudian dimasukkan ke dalam nampan lebar yang berisi aquades dan direndam sekitar 10 menit untuk melepas membran. Ketebalan membran dapat diukur dengan menggunakan *thickness gauge*.

3.4.2 Uji Antibakteri

Pengujian aktivitas antibakteri pada penelitian ini dilakukan dengan metode *disc diffusion* menggunakan kertas saring yang berdiameter 6 mm dengan bakteri uji *Escherichia coli*. Tahap awal dari uji antibakteri ini dimulai dengan sterilisasi alat dan pembuatan media antara lain nutrient agar (NA), nutrient broth (NB) dan nutrient agar (NA) miring. Proses selanjutnya yaitu peremajaan bakteri dilakukan dengan mengambil isolat sebanyak satu jarum ose penuh kemudian digoreskan pada NA miring dan didiamkan selama 24 jam. Bakteri yang telah tumbuh dari proses peremajaan pada media NA miring diambil sebanyak satu jarum ose penuh dan dimasukkan pada media NB kemudian di-*shaker* selama 24 jam. Proses ini disebut dengan inokulasi.

Proses selanjutnya yaitu uji perlakuan yang dilakukan dengan cara mengambil 1000µl NB dan dimasukkan ke dalam cawan petri, kemudian

ditambah media NA sebanyak 10ml sehingga larutan memadat. Membran hibrid nilon-TiO₂ yang digunakan masih dalam bentuk larutan homogen yang belum dicetak. Proses selanjutnya yaitu memasukkan kertas saring ke dalam cawan petri, larutan sampel yang akan diuji diambil sebanyak 10 μ l kemudian diteteskan pada kertas saring dimana dalam satu cawan petri berisi satu sampai dua kertas saring. Cawan petri yang telah diberi perlakuan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian dilakukan pengukuran diameter zona hambat yaitu zona bening yang terbentuk di sekitar kertas saring, dengan menggunakan jangka sorong. Sebagai kontrol positif digunakan antibiotik Ampisilin sebanyak 10 μ l. Pengujian dilakukan dengan tiga pengulangan pada setiap variasi fraksi massa. Berdasarkan uji antibakteri ini diperoleh rata-rata diameter zona hambat pertumbuhan bakteri dengan satuan ukur milimeter (mm).

3.4.3 Permeabilitas Membran

Penelitian mengenai permeabilitas membran ditentukan melalui uji fluks dan pengukuran *Nernst potential*. Proses ultrafiltrasi pada penelitian ini menggunakan membran hibrid nilon-TiO₂ yang telah dibuat berdasarkan prosedur 3.4.1. Membran hibrid nilon-TiO₂ yang terbentuk kemudian dipotong membentuk lingkaran dengan diameter 5,5 cm yang disesuaikan dengan set alat ultrafiltrasi dengan sistem aliran *dead-end* yaitu larutan umpan dialirkan secara tegak lurus terhadap membran dan ketebalan membran (150 μ m - 200 μ m). Berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan diperoleh bahwa membran dengan ketebalan 3 lapis selotip terlalu tebal untuk proses filtrasi, membran dengan ketebalan 2 lapis selotip baik untuk filtrasi, sedangkan membran dengan ketebalan 1 lapis selotip terlalu tipis untuk proses filtrasi karena mudah sobek.

Membran yang sudah dipotong kemudian dimasukkan ke dalam alat ultrafiltrasi. *Feed* yang digunakan pada proses ultrafiltrasi yaitu larutan NaCl. Proses ultrafiltrasi dilakukan pada tekanan yang berbeda untuk masing-masing variasi fraksi massa membran hibrid nilon-TiO₂. Waktu setiap proses filtrasi ditetapkan selama 60 menit. Volume *permeat* yang tertampung diukur pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 dan 60 kemudian dihitung nilai fluks

dengan menggunakan persamaan (2.1). Proses filtrasi dilakukan dengan dua jenis larutan, yaitu aquades dan larutan NaCl. Pengukuran fluks aquades dilakukan sebagai kontrol untuk menunjukkan karakteristik membran yang digunakan serta sebagai pembanding dengan larutan uji yang digunakan (larutan NaCl). Penelitian ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap fraksi massa. Setiap tekanan dari masing-masing fraksi massa dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 54 sampel untuk dilakukan uji fluks membran dengan umpan larutan garam dan membutuhkan 18 sampel untuk dilakukan uji fluks membran dengan *feed* aquades.

Pengukuran *Nernst potential* dilakukan menggunakan membran hibrid nilon-TiO₂ yang telah dibuat berdasarkan prosedur 3.4.1. Membran hibrid nilon-TiO₂ yang dihasilkan dipotong membentuk lingkaran dengan diameter 5,5 cm yang kemudian disesuaikan dengan set alat chamber. Chamber diisi dengan larutan NaCl dan aquades yang pada sisi tengahnya dipisahkan dengan membran hibrid nilon-TiO₂. Pengukuran *Nernst potential* dilakukan dengan menggunakan elektroda yang terhubung ke multimeter. Elektroda yang digunakan pada penelitian ialah elektroda dari baterai bekas ukuran D yang sebelumnya direndam dalam asam klorida (HCl 37%) dengan konsentrasi 1 M selama 24 jam dan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 1 M selama 24 jam kemudian dibilas dengan aquades. Nilai yang muncul pada multimeter dicatat sebagai nilai beda potensial membran. Beda potensial ini dipengaruhi oleh beda konsentrasi larutan yang menyebabkan terjadinya proses *transport* ion yang melewati membran hibrid. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap variasi fraksi massa menggunakan larutan NaCl yang berbeda dengan konsentrasi yang sama sehingga membutuhkan 5 sampel membran hibrid Nilon-TiO₂ untuk pengukuran nilai *Nernst potential*.

3.5 Metode Analisa Data

Metode analisis data dalam penelitian ini mengacu pada tiga data kuantitatif yang diperoleh. Data kuantitatif pertama yaitu aktivitas antibakteri membran hibrid nilon-TiO₂. Data kuantitatif nilai rata-rata diameter zona hambat

membran hibrid nilon-TiO₂ yang dihasilkan melalui uji antibakteri direpresentasikan dalam grafik hubungan antara rata-rata diameter zona hambat terhadap variasi fraksi massa Nilon-TiO₂. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa diameter zona hambat mengalami peningkatan dengan bertambahnya konsentrasi TiO₂ yang diberikan (Jabur *et al.*, 2016). Melalui pengukuran zona hambat ini dapat ditentukan kadar hambat tumbuh minimum (KHTM) yaitu diameter zona hambat yang terkecil menunjukkan adanya aktivitas antibakteri yang rendah dan diameter zona hambat yang besar menunjukkan semakin besar aktivitas antibakterinya (Sarjono dan Mulyani, 2007). Pada penelitian ini, diamati dan dianalisa kecenderungan diameter zona hambat yang dihasilkan pada variasi fraksi massa.

Data kuantitatif kedua berupa nilai fluks yang dihasilkan membran hibrid nilon-TiO₂ melalui proses filtrasi pada berbagai variasi fraksi massa dan tekanan yang direpresentasikan dalam grafik hubungan antara fluks terhadap tekanan, hubungan antara fluks terhadap waktu dan hubungan antara *volume reduction factor* (VRF) terhadap waktu. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa nilai fluks mengalami peningkatan dengan bertambahnya tekanan dan mengalami penurunan dengan bertambahnya waktu filtrasi (Wicaksana, 2012). Seiring dengan besarnya faktor pengurangan volume hasil filtrasi menyebabkan nilai fluks membran yang dihasilkan menurun (Qaid *et al.*, 2017). Pada penelitian ini dilakukan pengamatan dan dianalisa kecenderungan fluks pada berbagai tekanan menggunakan larutan aquades di awal percobaan sebagai kontrol untuk mengetahui apakah membran dapat berfungsi dengan baik pada proses filtrasi kemudian dilanjut dengan menggunakan larutan sampel yaitu larutan NaCl.

Data kuantitatif ketiga berupa nilai beda potensial yang dihasilkan membran hibrid nilon-TiO₂ melalui pengukuran *Nernst potential*. Data yang diperoleh direpresentasikan dalam grafik hubungan antara nilai beda potensial terhadap variasi fraksi massa Nilon-TiO₂. Beda potensial ini dipengaruhi oleh beda konsentrasi larutan yang menyebabkan terjadinya proses *transport* ion yang melewati membran hibrid. Semakin besar *transport* ion yang melewati membran menghasilkan beda potensial yang terukur semakin menurun. Berdasarkan uji

antibakteri dan uji permeabilitas membran (nilai fluks dan nilai beda potensial) dimungkinkan adanya korelasi dari keduanya yaitu diameter zona hambat yang besar dapat menghasilkan nilai fluks yang tinggi dan nilai beda potensial yang rendah.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk dari uji aktivitas antibakteri diketahui pengaruh penambahan TiO_2 dapat meningkatkan aktivitas antibakteri membran yang terjadi pada membran A, membran B, membran C dan membran D, sedangkan untuk membran E aktivitas antibakteri yang dihasilkan menurun. Aktivitas antibakteri terbesar terdapat pada membran D yaitu 2,8 cm.
2. Berdasarkan koefisien permeabilitas membran dapat diketahui bahwa membran A, membran B, dan membran C termasuk membran ultrafiltrasi. Sedangkan membran D dan membran E termasuk membran mikrofiltrasi. Nilai fluks larutan NaCl dan nilai *Nernst potential* membran hibrid nilon- TiO_2 menghasilkan bahwa penambahan TiO_2 dapat meningkatkan nilai fluks membran dan menghasilkan nilai *Nernst potential* yang semakin menurun. Fluks tertinggi terdapat pada membran E dengan tekanan 3 bar sebesar $128,62 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$. Sedangkan nilai *Nernst potential* terbesar terdapat pada membran A yaitu 520,33 mV.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan uji selektivitas melalui uji rejeksi dengan konsentrasi NaCl yang digunakan dalam satuan ppm agar terbaca pada alat Refraktometer. Membran yang akan digunakan untuk filtrasi sebaiknya disimpan dalam bak koagulasi agar dapat bertahan lama dan tidak kering. Proses filtrasi larutan sebaiknya dilakukan dengan waktu yang lebih lama untuk mengetahui waktu maksimum membran hibrid nilon- TiO_2 mengalami *fouling* dengan larutan *feed* lainnya. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji antibakteri pada variasi fraksi massa 60%:40% dan penggunaan kontrol negatif pada saat melakukan uji antibakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L. 2004. *Dasar Nutrisi Tanaman*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri. *Buletin penelitian* 28(1): 18-24.
- Anantharaman, R., D. Bestard, dan S. Roussanaly. 2014. Techno-economis Performance of a Hybrid Membrane-liquefaction Process for Post-Combustion CO₂ Capture. *Energy Procedia* 61: 1244-1247.
- Al, H.P. 2003. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains* 3: 168-173.
- Ali, B.T.I. 2016. Penentuan Jenis Fouling Membran Selulosa Asetat pada Proses Ultrafiltrasi Limbah Cair Tempe. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Apipah, E.R. 2013. Sintesis dan Karakteristik Membran Nilon yang Berasal dari Limbah Benang. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Athiyah, Z. 2012. Studi Kinerja Membran Polisulfon dengan Pendoping Titanium Dioksida (TiO₂) untuk Filtrasi Air Tercemar. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Baker, R.W. 2004. *Membrane Technology and Application*. 2nd ed. England: John Willey and Sons Ltd.
- Conidi, C., F. Destani, dan A. Cassano. 2015. Performance of Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes in the Clarification of Blood Orange Juice. *Journal beverages* (1): 341-353.
- El-Safty, S.A. dan N.D. Hoa. 2012. *Organic-Inorganik Mesoporous Silica Nanotube Hybrid Anodic Alumina Membranes For Ultrafine Filtration of Noble Metal Nanoparticles chapter 7*. London: INTECH Open Access Publisher.

- Esnahati, H. Susanto, dan Syafrudin. 2016. Pengaruh Penambahan Nano-TiO₂ Sebagai Agen Anti-bakterial dalam Pembuatan Membran Selulosa Asetat-Kitosan terhadap Biofouling yang Disebabkan oleh Bakteri Gram Negatif dan Positif. *Jurnal Teknik Lingkungan* 5(4): 1-10.
- Fanani, A., W.A. Nugroho, dan Y. Hendrawan. 2014. Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Massa Nilon pada Preparasi Membran Nilon terhadap Karakteristik Fisik Membran. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*2(3): 218-224.
- Fauzia, I.K. 2017. Uji Kerja Membran Nilon pada Proses Ultrafiltrasi Penjernihan Nira Tebu. *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Finnie, L.S. 2015. Perbandingan Uji Resistensi Bakteri Staphylococcus aureus Terhadap Obat Antibiotik Ampisilin dan Tetrasiklin. *Skripsi*. Padang: Universitas Andalas.
- Haghi, M., M. Hekmatafshar., M.B. Janipor., S.S. Gholizadeh., M.K. Faraz., F. Sayyadifar., dan M. Ghaedi. 2012. Antibacterial Effect of TiO₂ Nanoparticles on Pathogenic Strain of E.coli. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 3(3): 622-624.
- Harjosuwono, B.A., dan I.W. Arnata. 2015. *Modul kuliah 1: Teknologi Polimer*. Bali: Universitas Udayana.
- Jabur, A.R, L.K. Abbas, dan S.A. Moosa. 2016. Fabrication of Electrospun Chitosan/Nylon 6 Nanofibrous Membrane toward Metal Ions Removal and Antibacterial Effect. *Advances in Materials Science and Engineering* 2016:1-10.
- Jabur, A.R, L.K. Abbas, dan S.A. Moosa. 2017. Functionalized Titanium Dioxide Nanoparticles-Nylon 6 Nanocomposite Membran For Improved Salt Rejection Under Low Pressure Water Nanofiltration. *The Iraq Journal for Mechanical And Material Engineering*17(13): 408-421.
- Jakhrani, A.Q., S.R. Samo, H.R. Sobus, M.A. Uddin, M.J. Ahsan dan N.M.S. Hasan. 2012. Assessment of Dissolved Salts Concentration of Seawater in

the Vicinity of Karachi. *International Journal of Structural and Civil Engineering* (1): 61-69.

Juansah, J.N., Cheriastiyana, K. Dahlan, dan Irmansyah. 2012. Sifat Listrik Membran Selulosa Asetat – Titanium Dioksida. *Jurnal Biofisika* 1(8): 9–15.

Lai, C.Y., A. Groth, S. Gray dan M. Duke. 2014. Nanocomposite for Improved Physical Durability of Porous PVDF Membranes. *Membranes* 4: 55-78.

Lestari, P. 2012. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Selulosa Diasetat-TiO₂ untuk Pengolahan Limbah Deterjen. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga.

Mahaningsih, T. 2011. Kajian Sifat Listrik Membran Polisulfon yang Didadah Titanium Dioksida (TiO₂). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Marlupi, I. 2003. Desinfeksi Escherichia coli Melalui Fotokatalisis Titanium Dioksida (TiO₂) Bentuk Fase Rutile. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Maulina, W. 2016. Kajian Membran Komposit Nilon-Arang melalui Karakterisasi FTIR dan SEM. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan* 2(10): 56-60.

Mohamad, S.H., H.Z. Abdullah, M.I. Idris, dan Z. Harun. 2013. Membran Performance: TiO₂ Nanoparticles Coated on Polysulfone (PSf) Ultrafiltration Membrane Surfaces. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 65(4): 65-68.

Mpila D.A., Fatimawali, dan W.I. Wiyono. 2012. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Mayana (*Coleus atropurpureus* [L] Benth) Terhadap *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* Dan *Pseudomonas aeruginosa* Secara In-Vitro. *Jurnal Ilmiah Pharmacon* 1(1): 13-21.

Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. 2nded. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Noverita, D. Fitri, dan E. Sinaga. 2009. Isolasi dan Uji Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit dari Daun dan Rimpang Zingiber *Ottensii* Val. *Jurnal Farmasi Indonesia* 4(4): 171-176.
- Nurilmaulidi, A.E. 2011. *Bahan Ajar Kuliah:Polimer*. Jember: Universitas Muhammadiyah Jember.
- Pinem, J.A dan R. Angela. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Membran Hibrid PMMA/TEOT Pengaruh Konsentrasi Polimer. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*: 22 Februari 2011. Universitas Pembangunan Negeri Veteran Yogyakarta: B15-1–B15-7.
- Pramanik, N.K., M.S. Alam., dan R.K. Khandal. 2015. Electron Beam Irradiation of Nylon 66: Characterization by IR Spectroscopy and Viscosity Studies. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4(1): 18547-18555.
- Pratiwi, A.E. 2008. Isolasi Seleksi dan Uji Aktivitas Antibakteri Mikroba Endofit dari Daun Tanaman *Garcinia benthami* Pierre Terhadap *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae*, dan *salmonella typhimurium*. *Skripsi*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatulloh Jakarta.
- Qaid, S., M. Zait, K.E. Kacemi, A.E. Midaouni, H.E. Hajj dan M. Taky. 2017. Ultrafiltration for Clarification of Valencia Orange Juice: Comparison of Two Flat Sheet Membranes on Quality of Juice Production. *Journal of Materials and Enviromental Sciences* 4(8):1186-1194.
- Rahmawati, N., E. Sudjarwo, dan E. Widodo. 2014. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Herbal terhadap Bakteri *Escherichia Coli*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan* 24 (3): 24-3. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sarjono, P.R. dan N.S. Mulyani. 2007. Aktivitas Antibakteri Rimpang Temu Putih (*Curcuma Mangga* Vall). *Jurnal Sains dan Matematika (JSM)*15(2): 89-93.
- Salisbury, F.B., dan C.W. Ross. 1995. *Ilmu Tanah*. Bandung : ITB.

- Setyawan, H. 2012. Kajian Fluks dan Sifat Mekanik Membran Selulosa Asetat yang Didadah Titanium Dioksida. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sihotang, T.Y. 2014. Kajian Membran Nilon pada Proses Filtrasi Bertahap Sistem Cross Flow untuk Desalinasi Air Payau. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Singh, V. dan C. Das. 2014. Comparison of Spiral Wound UF Membrane Performance Between Turbulent and Laminar Flow Regimes. *Jurnal Elsevier 337*: 43-51.
- Suhendi, A. 2007. Pencirian Membran Mirofiltrasi Nilon-6. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Suprihatin, M. Romli, dan A. Ismayana. 2004. Penerapan Membran Filtrasi dari Selulosa Asetat dan Chitosan untuk Produksi Bersih pada Industri Pulp dan Kertas. *Jurnal Teknik Industri*. 13(3):75-82.
- Wenten, I.G., A.N. Hakim, Khoiruddin, dan P.T.P. Aryanti. 2010. *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Institut teknologi Bandung.
- Wenten, I.G., A.N. Hakim, Khoiruddin, dan P.T.P. Aryanti. 2013. *Polarisasi Konsentrasi dan Fouling pada Membran*. Bandung: Institut Tekonologi Bandung.
- Wenten, I.G., dan P.T.P. Aryanti. 2014. *Diktat: Ultrafiltrasi dan Aplikasinya*. Bandung: Institut Tekonologi Bandung.
- Wenten, I.G., Khoiruddin, dan P.T.P. Aryanti. 2014. *Diktat: Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah*. Bandung: Institut Tekonologi Bandung.
- Wenten, I.G., A.N. Hakim, Khoiruddin, dan P.T.P. Aryanti. 2014. *Pemisahan Elektro Ionik Berbasis Membrane*. Bandung: Institut Tekonologi Bandung.
- Wenten, I.G. 2016. *Teknologi Membran: Prospek dan Tantangannya di Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Wicaksana, I.P. 2012. Filtrasi Ekstrak Sari Buah Jeruk Pontianak dan Melon Menggunakan Membran Polisulfon. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Zhang, Y., C.Y. Cao, Q.X. Hou, W.Y. Feng, M. Xu, Z.H. Su, Q.Y. Lin, J.F. Zhuang dan Wei-Jun Lv. 2010. Using a Membrane Filtration Process to Concentrate the Effluent from Alkaline Peroxide Mechanical Pulping Plants. *BioResources* 5(2): 780-795.



LAMPIRAN

3.1 Perhitungan asam klorida (HCl) 25% yang diambil dari asam klorida

(HCl) 37%

- HCl 37%

Massa :

$$m = 37\% \times \rho$$

$$m = 0,37 \times 1,19 \text{ kg/L}$$

$$m = 432 \text{ gr}$$

Mol :

$$\text{mol} = m / M_r$$

$$\text{mol} = 432 / 36,5$$

$$\text{mol} = 12,06 \text{ mol}$$

Molaritas :

$$M = \text{mol} / V$$

$$M = 12,06 / 1 \text{ L}$$

$$M = 12,06 \text{ M}$$

- HCl 25%

Massa :

$$m = 25\% \times \rho$$

$$m = 0,25 \times 1,19 \text{ kg/L}$$

$$m = 297,5 \text{ gr}$$

Mol :

$$\text{mol} = m / M_r$$

$$\text{mol} = 297,5 / 36,5$$

$$\text{mol} = 8,15 \text{ mol}$$

Molaritas :

$$M = \text{mol} / V$$

$$M = 8,15 / 1 \text{ L}$$

$$M = 8,15 \text{ M}$$

- Pengenceran

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

$$12,06 \times V_1 = 8,15 \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 67,57 \text{ mL}$$

4.1 Perhitungan dan ralat pengukuran ketebalan membran hibrid Nilon-TiO₂

Membran	d (mm)	\bar{d} (mm)	Δd (mm)	$\bar{d} \pm \Delta d$ (mm)
A	0,170	0,176	0,002	$0,176 \pm 0,002$
	0,170			
	0,180			
	0,180			
	0,180			
B	0,160	0,165	0,003	$0,165 \pm 0,003$
	0,160			
	0,160			
	0,175			
	0,170			
C	0,170	0,163	0,003	$0,163 \pm 0,003$
	0,150			
	0,170			
	0,160			
	0,165			
D	0,160	0,161	0,003	$0,161 \pm 0,003$
	0,165			
	0,160			
	0,170			
	0,150			
E	0,150	0,152	0,003	$0,152 \pm 0,003$
	0,160			
	0,155			
	0,140			
	0,155			

Keterangan:

d = ketebalan membran

\bar{d} = rata-rata ketebalan membran

Δd = *error* ketebalan membran

4.2 Perhitungan dan ralat pengukuran diameter zona hambat membran hibrid Nilon-TiO₂

Membran	Fraksi massa	D(cm)	\bar{D} (cm)	ΔD (cm)	$\bar{D} \pm \Delta D$ (cm)
	Ampisilin	1,80	1,73	0,07	1,73 ± 0,07
		1,60			
		1,80			
A	TiO ₂ 0%	2,00	2,13	0,09	2,13 ± 0,09
		2,10			
		2,30			
B	TiO ₂ 10%	2,40	2,43	0,09	2,43 ± 0,09
		2,30			
		2,60			
C	TiO ₂ 20%	2,80	2,70	0,10	2,70 ± 0,10
		2,50			
		2,80			
D	TiO ₂ 30%	2,80	2,80	0,06	2,80 ± 0,06
		2,70			
		2,90			
E	TiO ₂ 40%	2,30	2,43	0,09	2,43 ± 0,09
		2,40			
		2,60			

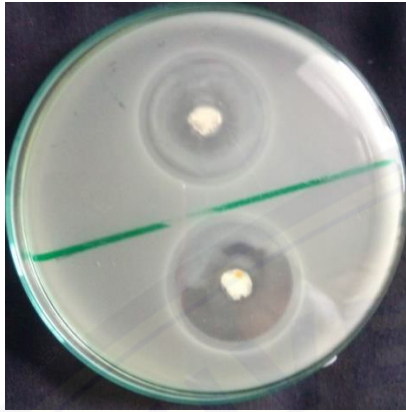
Keterangan:

D = diameter zona hambat membran (cm)

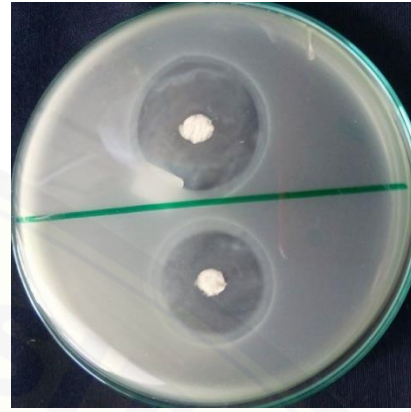
\bar{D} = rata-rata diameter zona hambat membran (cm)

ΔD = *error* diameter zona hambat membran (cm)

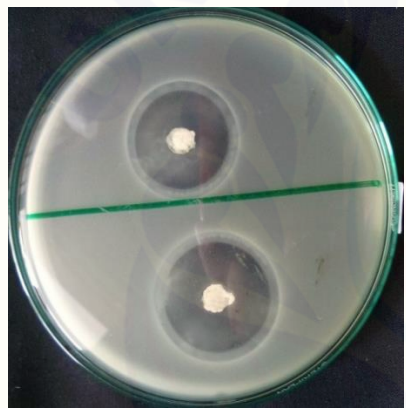
4.3 Hasil uji antibakteri pada variasi fraksi massa



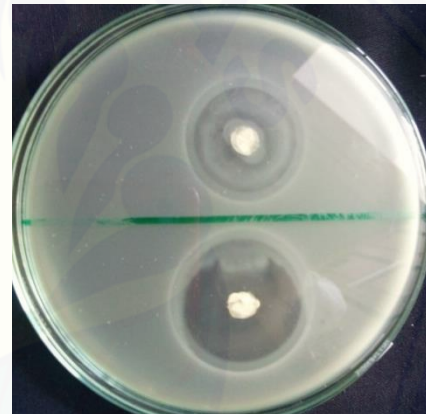
(a)



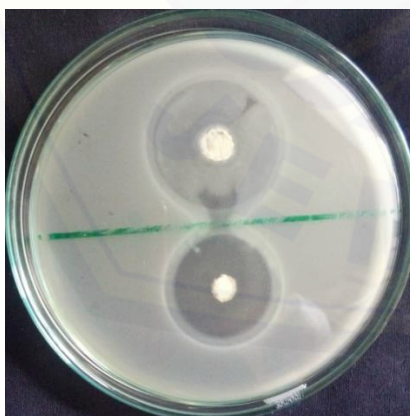
(d)



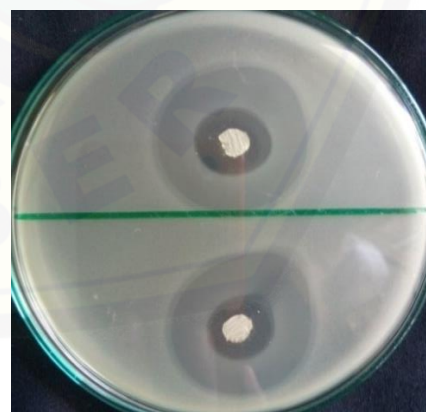
(b)



(e)



(c)



(f)

Keterangan:

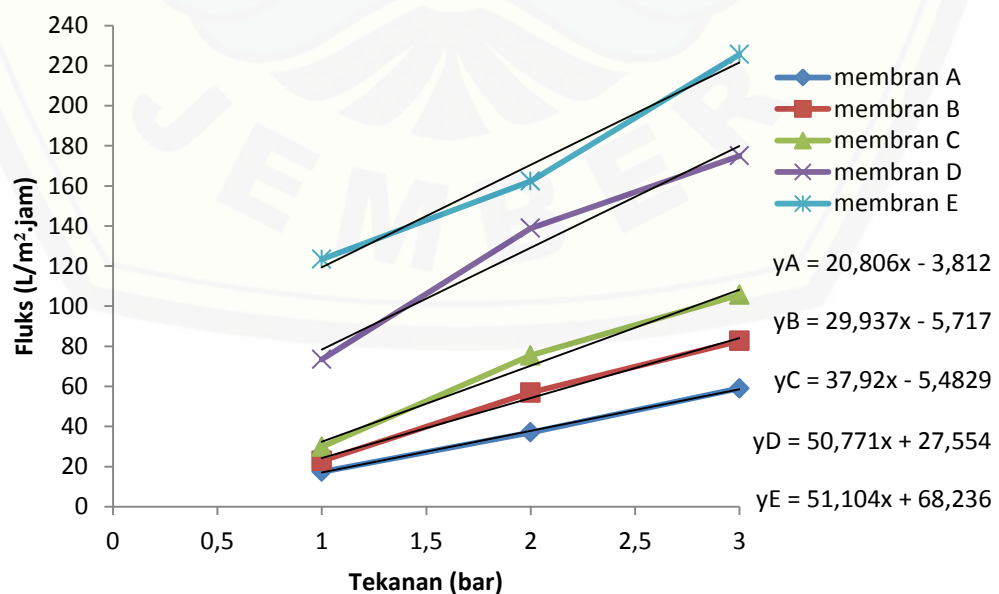
- (a) = Hasil uji antibakteri pada membran A
- (b) = Hasil uji antibakteri pada membran B
- (c) = Hasil uji antibakteri pada membran C
- (d) = Hasil uji antibakteri pada membran D
- (e) = Hasil uji antibakteri pada membran E
- (f) = Hasil uji antibakteri pada ampisilin

4.4 Hasil pengukuran volume *permeat* (aquades) terhadap tekanan pada proses ultrafiltrasi masing-masing membran

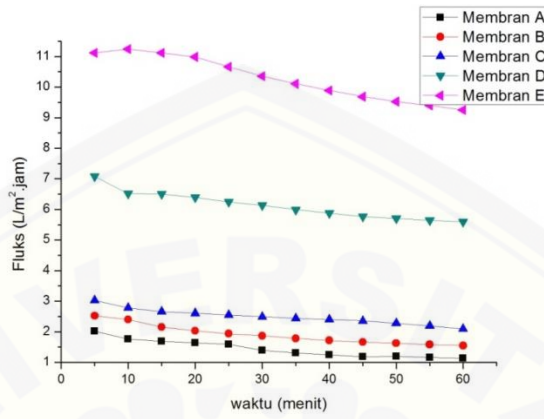
Tekanan (bar)	Menit ke-	volume aquades (mL)				
		Membran A	Membran B	Membran C	Membran D	Membran E
1	5	4,0	5,0	6,0	14,0	22,0
	10	7,0	9,5	11,0	25,8	44,5
	15	10,0	12,8	15,8	38,6	66,0
	20	13,0	16,1	20,6	50,6	87,0
	25	15,8	19,2	25,2	61,8	105,5
	30	16,6	22,2	29,6	72,8	123,0
	35	18,2	24,7	33,8	83,0	140,0
	40	19,8	27,2	38,0	93,0	156,6
	45	21,2	29,7	42,0	102,8	172,6
	50	23,8	32,2	45,0	112,8	188,6
	55	25,4	34,5	47,8	122,8	204,8
	60	27,0	36,8	49,8	132,8	219,8

Tekanan (bar)	Menit ke-	Volume aquades (mL)				
		Membran A	Membran B	Membran C	Membran D	Membran E
2	5	7,2	9,5	14,6	32,0	35,0
	10	13,1	18,5	28,6	61,6	65,0
	15	19,0	27,3	41,2	83,6	90,0
	20	25,0	36,1	53,2	102,6	115,0
	25	30,8	44,9	64,2	119,2	138,0
	30	36,6	53,5	74,7	134,2	160,0
	35	41,8	62,1	84,6	148,2	179,8
	40	46,6	70,4	94,1	160,7	197,8
	45	52,0	78,4	103,1	172,9	215,8
	50	57,2	86,4	111,8	183,9	230,8
	55	63,2	94,4	120,2	193,9	243,8
	60	68,0	102,2	128,5	201,5	253,8
3	5	10,6	13,0	23,5	46,0	75,8
	10	21,6	27,2	44,0	85,2	112,0
	15	31,6	40,7	61,5	110,2	138,5
	20	41,6	53,2	77,1	130,2	159,5
	25	50,4	65,7	90,6	148,2	181,5
	30	58,9	78,1	103,0	164,2	196,3
	35	66,9	90,1	114,5	178,2	214,3
	40	74,9	102,1	125,0	190,4	229,5
	45	82,3	113,6	135,0	201,6	243,0
	50	89,8	125,1	144,0	211,6	255,8
	55	96,8	136,6	152,5	218,4	267,8
	60	103,8	147,1	160,8	224,4	279,8

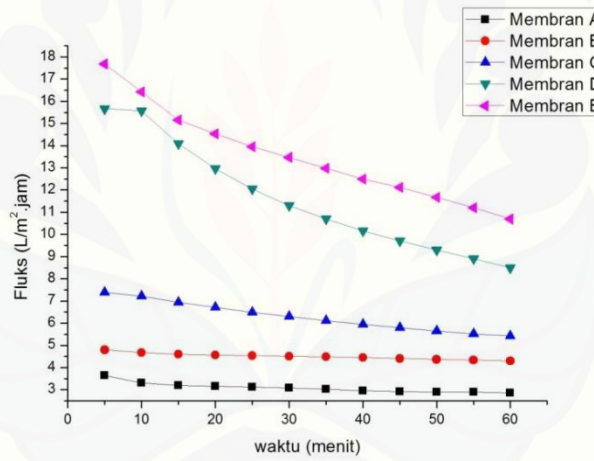
4.5 Slope grafik fluks aquades terhadap tekanan



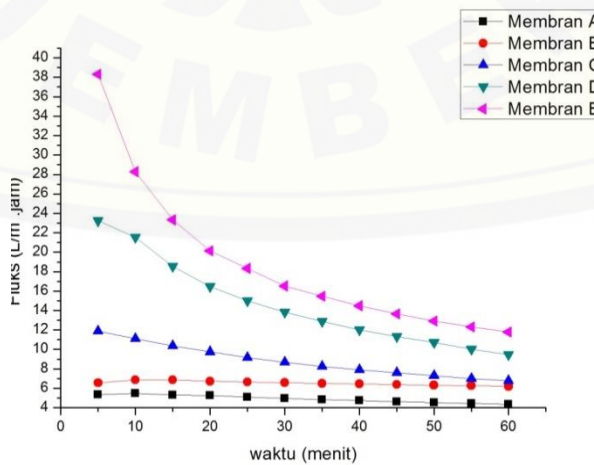
4.6 Grafik hubungan antara fluks aquades terhadap waktu dan VRF terhadap waktu



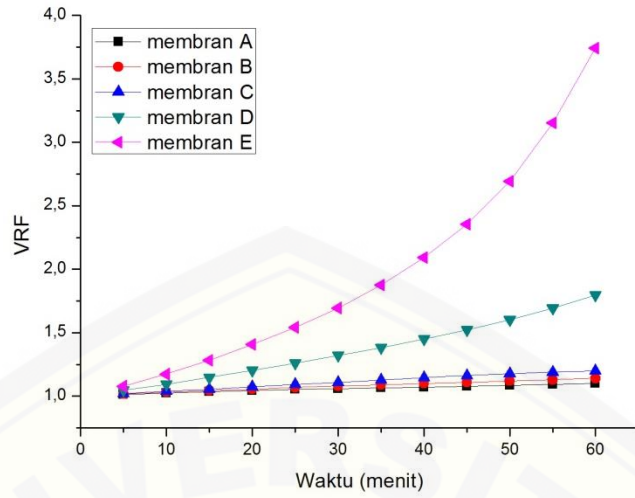
(a)



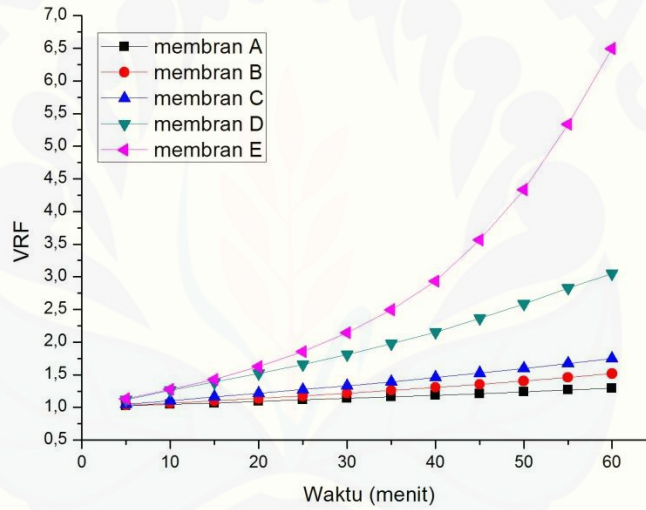
(b)



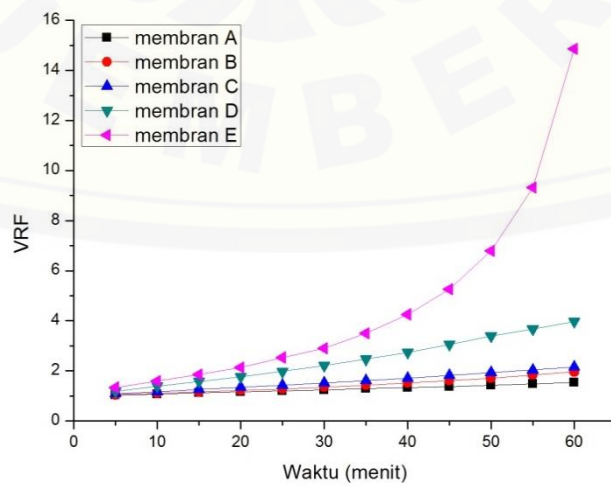
(c)



(d)



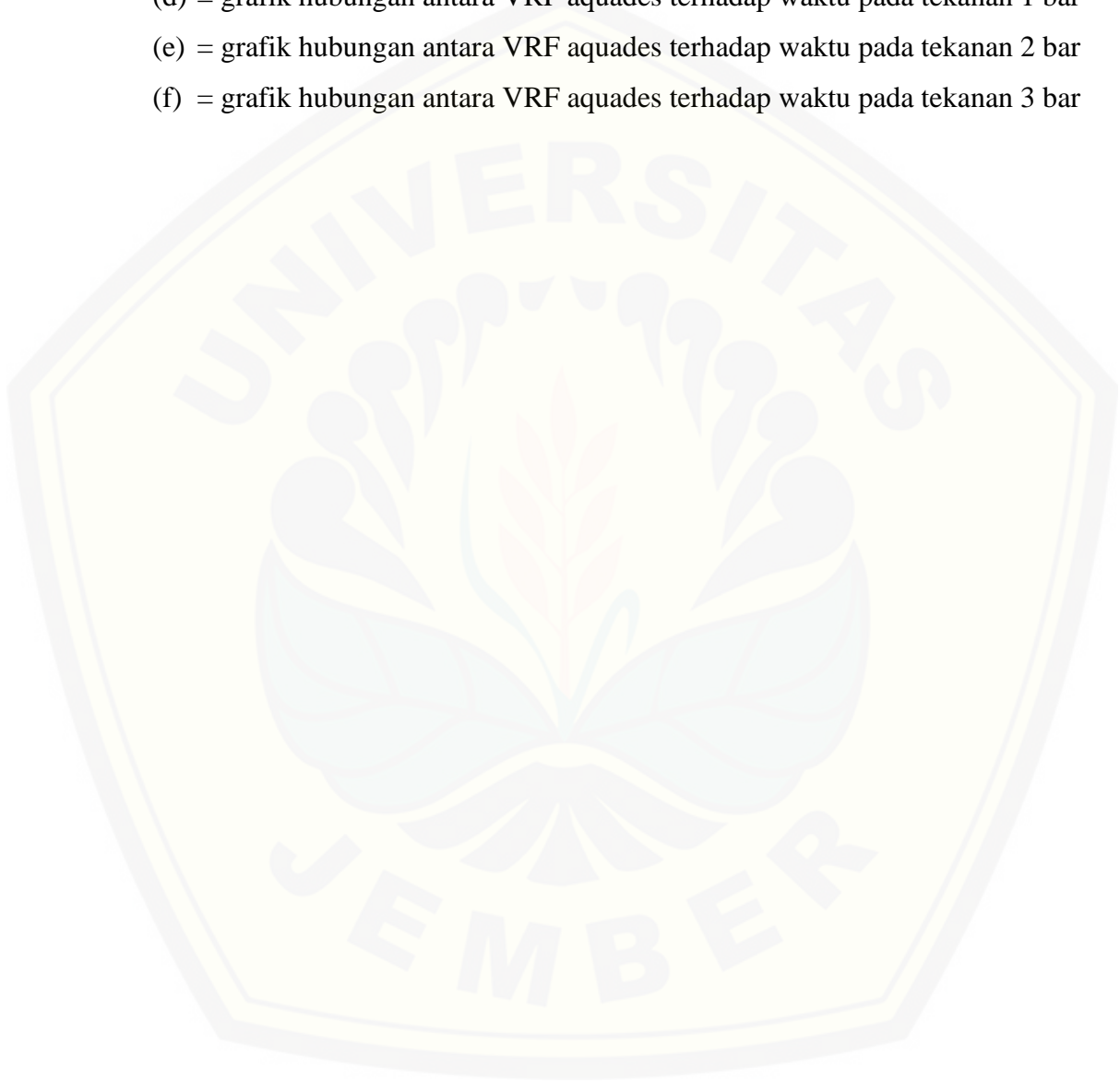
(e)



(f)

Keterangan:

- (a) = grafik hubungan antara fluks aquades terhadap waktu pada tekanan 1 bar
- (b) = grafik hubungan antara fluks aquades terhadap waktu pada tekanan 2 bar
- (c) = grafik hubungan antara fluks aquades terhadap waktu pada tekanan 3 bar
- (d) = grafik hubungan antara VRF aquades terhadap waktu pada tekanan 1 bar
- (e) = grafik hubungan antara VRF aquades terhadap waktu pada tekanan 2 bar
- (f) = grafik hubungan antara VRF aquades terhadap waktu pada tekanan 3 bar



4.7 Hasil pengukuran volume *permeat* (larutan NaCl) terhadap tekanan

a. Pengulangan pertama

Tekanan (bar)	Menit ke-	Volume permeat larutan NaCl (ml)				
		Membran A	Membran B	Membran C	Membran D	Membran E
1	5	2,0	3,0	5,0	9,2	10,0
	10	3,8	5,4	9,5	17,2	19,0
	15	5,6	9,0	13,3	25,2	27,2
	20	7,2	12,0	17,4	31,8	35,2
	25	8,8	15,0	20,4	37,8	42,8
	30	10,2	17,8	23,2	43,2	50,4
	35	11,4	19,4	26,6	48,4	57,6
	40	12,4	21,2	29,0	53,2	64,2
	45	13,3	24,0	31,6	57,6	70,4
	50	14,0	26,2	33,2	62,0	75,4
	55	14,6	28,0	35,8	66,2	79,8
	60	15,1	30,2	38,0	70,2	82,8
2	5	3,6	7,7	10,2	21,0	23,0
	10	6,8	15,7	19,2	31,0	25,0
	15	10,0	22,7	28,2	38,8	35,5
	20	13,2	29,3	35,4	46,0	45,0
	25	16,2	35,8	42,4	52,4	54,0
	30	18,8	41,5	48,4	58,4	62,6
	35	21,4	47,5	54,4	64,2	70,8
	40	23,8	52,9	60,0	70,0	78,8
	45	26,2	58,4	65,6	75,4	86,8
	50	28,6	63,6	71,0	81,0	94,6
	55	30,8	68,6	76,4	86,2	102,4
	60	32,6	73,8	81,6	91,6	110,2
3	5	6,2	17,5	20,0	28,0	37,0
	10	12,4	32,7	35,0	53,0	54,0
	15	18,0	44,2	48,2	75,0	66,5
	20	23,1	54,7	61,4	94,0	81,5
	25	27,7	64,7	74,2	108,6	95,5
	30	32,1	73,7	86,4	120,6	108,5
	35	36,1	82,7	98,6	130,6	121,5
	40	40,1	91,2	110,1	138,4	133,5
	45	44,2	100,2	117,1	144,6	146,0
	50	48,0	108,4	123,5	149,6	158,0
	55	51,8	116,9	129,5	154,1	170,0
	60	55,5	125,3	135,0	157,9	180,0

b. Pengulangan kedua

Tekanan (bar)	Menit ke-	Volume permeat larutan NaCl (ml)				
		Membran A	Membran B	Membran C	Membran D	Membran E
1	5	1,8	2,8	4,5	9,5	15,0
	10	3,3	5,2	8,0	17,5	23,5
	15	4,8	8,4	11,4	25,3	30,5
	20	6,1	10,4	14,0	32,7	37,0
	25	7,4	12,4	17,0	39,9	42,4
	30	8,7	15,2	19,8	46,7	47,6
	35	9,9	17,1	22,6	52,9	52,4
	40	11,1	19,8	25,0	58,5	56,6
	45	12,1	21,4	27,4	64,0	60,9
	50	12,9	23,5	29,6	68,4	65,1
	55	13,7	25,0	31,6	72,4	69,1
	60	14,5	27,0	33,6	76,4	73,1
2	5	3,8	8,2	13,0	19,0	20,0
	10	7,0	15,2	23,0	32,0	32,0
	15	11,0	21,2	31,0	43,0	42,0
	20	14,8	27,0	38,4	52,0	51,0
	25	18,6	32,8	45,4	60,0	59,4
	30	22,4	38,6	52,4	66,8	67,4
	35	26,2	44,0	59,2	72,8	75,2
	40	29,8	49,4	65,4	78,2	83,0
	45	33,4	54,6	71,0	83,2	90,8
	50	37,2	59,8	76,0	87,8	98,0
	55	40,8	64,8	81,0	92,0	105,0
	60	44,2	69,6	85,4	96,0	111,6
3	5	7,0	7,5	25,0	29,0	41,0
	10	13,0	18,5	52,5	53,0	52,0
	15	18,8	29,5	65,5	74,0	70,0
	20	24,5	40,5	75,7	92,0	86,0
	25	30,0	51,0	85,5	108,0	102,0
	30	35,4	62,0	94,0	121,0	116,5
	35	38,2	73,0	102,4	131,5	130,5
	40	43,0	84,0	110,6	140,7	144,5
	45	47,6	95,5	118,6	148,7	158,0
	50	51,8	106,5	126,2	155,1	172,0
	55	56,0	117,5	133,8	160,3	185,0
	60	60,0	128,5	141,4	163,5	197,0

c. Pengulangan ketiga

Tekanan (bar)	Menit ke-	Volume permeat larutan NaCl (ml)				
		Membran A	Membran B	Membran C	Membran D	Membran E
1	5	2,0	2,8	5,0	8,0	12,0
	10	3,5	4,8	9,2	15,2	21,0
	15	5,0	7,0	13,0	22,2	30,0
	20	6,3	9,0	16,0	29,0	38,0
	25	7,6	12,0	19,5	35,6	43,0
	30	8,9	13,9	22,5	42,0	47,8
	35	10,0	16,1	24,2	48,2	52,2
	40	11,1	19,2	27,0	54,4	56,4
	45	11,9	23,4	29,6	60,4	60,2
	50	12,5	26,6	31,5	66,4	64,0
	55	13,1	29,6	33,4	72,2	67,6
	60	13,7	31,7	35,5	78,0	71,0
2	5	3,0	9,0	9,0	18,0	15,0
	10	5,5	16,0	17,0	28,0	29,0
	15	8,0	22,8	25,0	36,0	40,2
	20	10,3	29,6	32,6	45,2	50,8
	25	12,6	36,2	39,8	53,6	60,8
	30	14,7	42,6	46,8	61,6	70,4
	35	16,8	49,0	53,8	69,6	77,6
	40	18,9	55,0	60,4	76,8	83,8
	45	21,0	60,8	66,8	83,2	88,8
	50	22,9	66,2	72,8	88,9	93,6
	55	24,6	71,6	78,8	93,4	97,8
	60	26,3	76,6	84,6	96,9	101,8
3	5	8,2	8,6	23,0	33,0	40,0
	10	14,9	18,4	43,0	47,5	60,5
	15	21,3	28,0	58,0	64,5	78,5
	20	27,5	37,6	69,2	78,5	91,5
	25	33,1	47,0	79,2	92,1	103,5
	30	38,6	56,6	88,4	105,7	120,0
	35	43,6	66,0	96,8	118,9	136,0
	40	48,6	75,4	104,8	129,9	151,0
	45	53,6	84,8	112,0	139,5	164,5
	50	58,6	94,8	118,8	148,5	175,5
	55	63,5	104,3	124,8	156,5	184,5
	60	68,3	114,3	130,3	164,5	192,7

4.8 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 1 bar

Membran	J	\bar{J}	ΔJ	$\bar{J} \pm \Delta J$ (L/m ² .jam)
A	9,94	9,23	0,36	9,23 ± 0,36
	8,79			
	8,95			
B	16,90	15,70	0,60	15,70 ± 0,60
	15,15			
	15,05			
C	23,83	22,32	0,98	22,32 ± 0,98
	20,48			
	22,66			
D	43,93	44,44	1,18	44,44 ± 1,18
	46,69			
	42,69			
E	50,58	50,72	0,67	50,72 ± 0,67
	51,94			
	49,64			

Keterangan:

J = fluks membran (L/m².jam)

\bar{J} = rata-rata fluks membran (L/m².jam)

ΔJ = *error* fluks membran (L/m².jam)

4.9 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 2 bar

Membran	J	\bar{J}	ΔJ	$\bar{J} \pm \Delta J$ (L/m ² .jam)
A	18,86	18,78	2,13	18,78 ± 2,13
	22,44			
	15,05			
B	42,02	41,85	1,12	41,85 ± 1,12
	39,82			
	43,70			
C	49,52	50,66	2,25	50,66 ± 2,25
	55,01			
	47,45			
D	62,35	66,36	2,44	66,36 ± 2,44
	70,76			
	65,96			
E	69,42	70,87	1,38	70,87 ± 1,38
	73,64			
	69,56			

Keterangan:

J = fluks membran (L/m².jam)

\bar{J} = rata-rata fluks membran (L/m².jam)

ΔJ = *error* fluks membran (L/m².jam)

4.10 Hasil perhitungan nilai fluks larutan NaCl tekanan 3 bar

Membran	J	\bar{J}	ΔJ	$\bar{J} \pm \Delta J$ (L/m ² .jam)
A	32,48	35,66	2,07	35,66 ± 2,07
	34,96			
	39,55			
B	77,69	65,14	6,40	65,14 ± 6,40
	61,05			
	56,66			
C	88,13	94,76	4,21	94,76 ± 4,21
	102,57			
	93,57			
D	120,76	118,91	2,53	118,91 ± 2,53
	122,06			
	113,91			
E	121,41	128,62	3,92	128,62 ± 3,92
	129,54			
	134,90			

Keterangan:

J = fluks membran (L/m².jam)

\bar{J} = rata-rata fluks membran (L/m².jam)

ΔJ = error fluks membran (L/m².jam)

4.11 Perhitungan dan ralat pengukuran nilai beda potensial membran hibrid

Nilon-TiO₂

Membran	Fraksi massa (%)	V (mV)	\bar{V} (mV)	ΔV (mV)	$\bar{V} \pm \Delta V$ (mV)
A	100:0	519	520,33	0,88	520,33 \pm 0,88
		520			
		522			
B	90:10	300	300,67	0,33	300,67 \pm 0,33
		301			
		301			
C	80:20	258	259,67	0,88	259,67 \pm 0,88
		260			
		261			
D	70:30	228	226,33	0,88	226,33 \pm 0,88
		225			
		226			
E	60:40	198	200,33	1,20	200,33 \pm 1,20
		201			
		202			

Keterangan:

V = beda potensial membran

\bar{V} = rata-rata beda potensial membran

ΔV = *error* beda potensial membran