



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROSES HIBRID OZONASI DAN MEMBRAN UNTUK
PENYISIHAN AMONIA DARI AIR LIMBAH**

SKRIPSI

OLEH

MILASARI HERDIANA PUTRI

0806368036

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI, 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROSES HIBRID OZONASI DAN MEMBRAN UNTUK PENYISIHAN
AMONIA DARI AIR LIMBAH**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

gelar Sarjana Teknik Kimia

MILASARI HERDIANA PUTRI

0806368036

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI, 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Milasari Herdiana Putri

NPM : 0806368036

Tanda Tangan :

Tanggal : Juni 2011

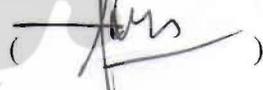


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Milasari Herdiana Putri
NPM : 0806368036
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Proses Hibrid Ozonasi dan Membran untuk
Penyisihan Amonia dari Air Limbah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, Msc., PhD. ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA ()
Ir. Eva Fathul Karamah, MT ()
Kamarza Mulia, PhD ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah seminar ini. Makalah dengan judul “**Proses Hibrid Ozonasi dan Membran untuk Penyisihan Amonia dari Air Limbah**” ini disusun untuk memenuhi tugas seminar. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Ir. Sutrasno K., Msc., PhD. selaku pembimbing seminar yang telah memberikan bimbingan, waktu dan arahan selama proses penyusunan. Selain itu juga, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia
2. Ir. Yuliusman M.Eng selaku kordinator seminar Teknik Kimia FTUI
3. Dosen-dosen Teknik Kimia yang telah memberi ilmu selama tiga tahun.
4. Mama, alm. Papa, dan keluarga tercinta yang telah memberi dukungan moril dan materi.
5. Drs. Sunardi, M.Si, dan Team Afiliasi FMIPA UI, yang sudah banyak mendukung dalam penelitian ini.
6. Mas Reza, Mas Bayu, Mas Tyo, Krishna, Ika, dan Fitri yang telah menjadi teman seperjuangan dalam menyusun seminar ini.
7. Erwin, Dhoni, Santika, dan Alfin yang selalu memberikan semangat.
8. Kak Dodi Chandra, Kak Achmad Effendi, Kak Desiana dan Kak Diana yang sudah bekerjasama terutama dalam berbagi informasi tentang seminar ini.
9. Semua teman ekstensi Teknik Kimia 2008 yang bersama-sama mengerjakan seminar dan saling memberi dukungan.

Dan akhirnya penulis berharap agar makalah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Depok, Juni 2011

Milasari Herdiana Putri

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Milasari Herdiana Putri

NPM : 0806368036

Program Studi: Ekstensi Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Proses Hibrid Ozonasi dan Membran untuk Penyisihan Ammonia dari Air Limbah

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Milasari Herdiana Putri)

ABSTRAK

Nama : Milasari Herdiana Putri

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Proses Hibrid Ozonasi dan Membran untuk Penyisihan Amonia dari Air Limbah

Amonia yang berasal dari limbah dan terkandung dalam lingkungan perairan dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kombinasi proses ozonasi dan membran terhadap penghilangan ammonia dari air limbah. Kelebihan kontaktor membran dibandingkan kontaktor konvensional seperti kolom absorber adalah luas permukaan kontakannya yang jauh lebih besar. Kelemahannya adalah adanya tahanan perpindahan massa tambahan di fasa membran selain di fasa cair, dibandingkan dengan kolom absorber konvensional yang hanya memiliki tahanan perpindahan di fasa cair. Penggunaan proses lanjutan dengan ozonasi merupakan suatu cara untuk meningkatkan pemisahan ammonia dari air limbah. Ada dua hal yang akan diteliti dalam penelitian ini yaitu: (1) Studi perpindahan massa pemisahan ammonia dari air limbah melalui kontaktor membran serat berongga menggunakan pelarut bahan alam, dan dilanjutkan dengan proses ozonasi; dan (2) Studi hidrodinamika pelarut tersebut di dalam kontaktor membran serat berlubang dan ozonator.

Kata Kunci: membran, membran serat berongga, ozonator

ABSTRACT

Name : Milasari Herdiana Putri

Study Programe : Teknik Kimia

Title :Hybrid Process of Ozonation and Membrane to Reduce Ammonia From Wastewater

Ammonia from waste contained in aquatic environment may lead human health and damage environment. This research analyzes the effectiveness of combination between ozonation and membrane process the removal of ammonia from wastewater. The advantages membrane contactors rather than conventional contactors such as column absorber is the surface of area contact much larger. The weakness is the presence of resistance in additional mass transfer in membrane phase based in the liquid phase, as compared with conventional absorber column that only has custody transfer in liquid phase. The use of advanced ozonation process is a way to improve the separation of ammonia from wastewater. Two things that will be examined in this research are: (1) Study of mass transfer in the separation of ammonia from wastewater through hollow fiber membrane contactors using a solvent of natural materials, continued with ozonation process; and (2) study the hydrodynamics of solvent in membrane contactors hollow fiber and ozonator.

Keywords: membrane, hollow fiber membrane, ozonator

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Air.....	6
2.2 Amonia.....	7
2.3 Membran.....	10
2.3.1 Klasifikasi Membran	12
2.3.1.1 Mikrofiltrasi	12
2.3.1.2 Osmosis Balik	12
2.3.1.3 Ultrafiltrasi	12
2.3.1.4 Berdasar Bahan Penyusun	13
2.3.1.5 Berdasar Struktur	13
2.3.1.6 Berdasar Prinsip Pemisahan	13
2.3.2 Membran Polipropilen	14
2.3.3 Kontaktor Membran	16
2.3.3.1 Kontaktor Membran Serat Berongga	18
2.3.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Membran Serat Berongga ..	18
2.3.3.3 Aplikasi Kontaktor Membran Serat Berongga	20

Perpindahan Massa	40
3.3.2.2 Uji Hidrodinamika	42
3.3.2.2.1 Menghitung Faktor Friksi Modul	42
3.3.2.2.2 Menghitung Faktor Friksi Literatur	42
3.3.2.2.3 Menghitung Nilai Friksi Rasio.....	43
....43	
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Penyisihan Amonia Terlarut dalam Limbah Sintetis.....	45
4.2 Studi Perpindahan Massa.....	48
4.2.1 Pengaruh pH Absorben terhadap Perpindahan Massa	48
4.2.2 Pengaruh pH Absorben terhadap Fluks.....	50
4.3 Studi Hidrodinamika.....	51
BAB 5. KESIMPULAN	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema Perpindahan Melalui Membran	10
Gambar 2.2. Skema Perpindahan Melalui Membran	11
Gambar 2.3. Skema Kontaktor Membran G-L dan L-G	17
Gambar 2.4. Skema Kontaktor Membran Cair-Cair	17
Gambar 2.5. Membran Serat Berongga	18
Gambar 3.1. Skema Penelitian	31
Gambar 3.2. Skema Uji Produktifitas Ozon	35
Gambar 3.3. Skema Peratalan Proses Ozonasi	37
Gambar 3.4. Skema Peratalan Proses Membran	38
Gambar 3.5. Skema Peratalan Proses Hibrid Membran dan Ozonasi	39
Gambar 4.1. Variasi % Penyisihan amonia pada masing-masing proses terhadap waktu	45
Gambar 4.2. Variasi % Penyisihan amonia pada berbagai pH absorben terhadap waktu	46
Gambar 4.3. Hubungan % Penyisihan amonia terhadap Waktu	47
Gambar 4.4. Hubungan pH terhadap Koefisien Perpindahan Massa	49
Gambar 4.5. Pengaruh pH absorben terhadap Fluks	51
Gambar 4.6. Hubungan Bilangan Reynold dengan nilai Friksi	53
Gambar 4.7. Hubungan Bilangan Reynold dengan nilai f rasio	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1.	Sifat-sifat Amonia.....7
Tabel 2.2.	Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat (On-Shore).....8
Tabel 2.3.	Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi..... 9
Tabel 2.4.	Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Pengolahan Minyak Bumi..... 9
Tabel 2.5.	Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Bagi Kegiatan Industri Pupuk..... 9
Tabel 2.6.	Karakteristik Jenis Polimer..... 15
Tabel 2.7.	Aplikasi Membran Serat Berongga..... 20
Tabel 2.8.	Komposisi Ion Air Ciater..... 23
Tabel 2.9.	Sifat Fisika Ozon..... 25
Tabel 2.10.	Sifat Kimia Ozon..... 26

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1	58
1.1. Perhitungan Uji Produktivitas Ozon.....	58
1.2. Perhitungan Preparasi Air Ciater.....	59
1.3. Preparasi Larutan Amonium Sulfat.....	60
1.4. Data Perpindahan Massa.....	60
1.4.1 Perpindahan Massa Variasi pH Air Ciater 2.....	60
1.4.2 Perpindahan Massa Variasi pH Air Ciater 1.....	61
1.4.3 Perpindahan Massa Variasi pH Air Ciater 0,7.....	61
1.5. Data Perbedaan Tekanan.....	62
LAMPIRAN 2	63
2.1. Studi Perpindahan Massa.....	63
2.1.1 Perhitungan Efektifitas Pemisahan.....	63
2.1.2 Perhitungan Slope Perubahan Konsentrasi terhadap Waktu..	64
2.1.3 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa.....	67
2.1.4 Perhitungan Fluks.....	68
2.2. Studi Hidrodinamika.....	69
2.2.1 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	69
2.2.2 Perhitungan Faktor Friksi.....	70
2.2.3 Perhitungan Friksi Rasio.....	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan jenis sumber daya alam yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup. Oleh karena itu, keberadaan dan kualitas air harus dijaga dengan baik. Berubahnya kualitas air dapat disebabkan karena faktor alami ataupun karena aktivitas manusia. Manusia memiliki andil besar dalam penurunan kualitas air. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya sungai ataupun danau yang tercemar akibat limbah yang dibuang oleh manusia. Baik itu limbah domestik yang berasal dari rumah tangga maupun limbah industri. Limbah industri dinilai memiliki potensi bahaya yang lebih tinggi terhadap kelangsungan sumber daya air.

Pada dasarnya industrialisasi akan meningkatkan taraf hidup masyarakat suatu negara, namun proses industrialisasi juga memberikan dampak negatif berupa limbah pencemar terhadap lingkungan. Senyawa amonia menjadi salah satu limbah yang dihasilkan dari proses industri yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 18 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun pasal 8 ayat 1, amonia tergolong kedalam limbah B3 karena bersifat korosif, sifat ini dijelaskan pada *Material Safety Data Sheet* (MSDS) Amonia. Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang tepat dan efektif untuk pengolahan limbah yang mengandung amonia agar kualitas limbah tersebut memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan serta tidak berbahaya terhadap lingkungan.

Melihat bahaya yang ditimbulkan oleh amonia maka perlu dilakukan proses penghilangan limbah amonia. Penghilangan amonia terlarut dalam air secara konvensional biasanya dilakukan dengan aerasi ataupun dengan proses operasi kontak dengan mengalirkan kolom *packed tower* (Chandra, 2010). Penghilangan amonia dengan proses ini dilakukan dengan mengalirkan udara ke dalam limbahnya. Namun proses ini memiliki efek samping yaitu berupa gas amonia yang dibuang ke udara bebas. Selain dengan cara aerasi, penghilangan

amonia dapat dilakukan dengan cara separasi, seperti *amonia stripping*, *biological nitrification-denitrification*, *breakpoint klorinasi* dan *biological treatment*. Namun proses ini membutuhkan konsumsi energi dan area yang cukup besar.

Adapun cara baru yang dikembangkan yang memiliki kelebihan dibandingkan cara separasi biasa adalah dengan menggunakan teknologi membran. Membran berfungsi sebagai kontaktor yang merupakan media tempat berkontak antara air dengan amonia.

Dalam banyak proses membran, pemilihan membran didasarkan pada ukuran pori dari materialnya dan sifat membran. Membran berpori mikro mengandung pori yang berukuran 0,1-10 μm (Mulder, 1997). Interaksi gas dan cairan merupakan parameter penting dalam proses kontak. Pada pemisahan membran hidrofobik berpori mikro, pori membran terisi oleh gas sehingga tahanan perpindahan massa di membran dapat diabaikan terhadap tahanan perpindahan massa keseluruhan didalam kontaktor.

Kontaktor membran dapat mencegah dispersi antara fasa satu dengan fasa yang lainnya, operasi dapat berlangsung kontiniu dan tidak mencemari lingkungan karena tidak ada zat aditif yang digunakan. Dari aspek luas permukaan kontak, kontaktor membran memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom konvensional. Jika kolom absorber dengan jenis *packed column* memiliki luas permukaan 30-300 m^2/m^3 , kontaktor membran serat berongga memiliki luas permukaan diatas 33.000 m^2/m^3 (Chandra, 2009). Hal ini menyebabkan proses pemisahan yang terjadi lebih efektif dibandingkan dengan kolom absorber. Teknologi membran dapat menghasilkan efisiensi hingga 99,5% ini lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya menghasilkan efisiensi sekitar 85% (Chandra, 2009).

Membran yang digunakan pada penelitian ini adalah membran serat berongga. Prinsip dasar sistem membran sebagai kontaktor adalah difusi dari *feed* berkonsentrasi tinggi pada bagian selongsong (*shell side*) melewati pori-pori membran (*lumen side*) ke dalam larutan absorben. Perpindahan massa terjadi karena adanya gaya pendorong (*driving force*) seperti perbedaan konsentrasi dan perbedaan tekanan (Mulder, 1997). Perpindahan massa akan dipengaruhi oleh

beberapa faktor, seperti jenis membran, bentuk modul, sifat fluida, dan karakteristik aliran fluida dalam modul (Peinemann, 2001).

Pelarut yang digunakan dalam proses pemisahan amonia ini adalah air asam yang berasal dari sumber mata air Ciater, Jawa Barat. Dalam pemilihan absorben cair, terdapat beberapa kriteria yaitu (Li, J-L dan B.-H. Chen, 2005). Digunakan pelarut bahan alam adalah untuk mengurangi pemakaian senyawa asam yang biasa digunakan sebagai absorben pada pemisahan amonia dengan teknologi membran.

Selain memiliki luas permukaan kontak yang cukup besar, keuntungan dari teknologi membran adalah sistem pemisahan gas menggunakan membran dapat dimodifikasi dan diperbanyak sehingga penggunaan banyaknya modul tergantung dari besarnya kapasitas yang diinginkan, biaya operasional pun lebih rendah karena energi yang digunakan untuk menjalankan pompa tidak sebesar energi yang digunakan untuk menggerakkan motor pada metode konvensional.

Namun adapula kelemahan yang sering terjadi pada teknologi membran adalah dengan adanya membran menambah resistansi/tahanan lain pada perpindahan masa, pada membran dapat terjadi *fouling* (tertutupnya permukaan membran karena adanya polarisasi konsentrasi) dan ketidakstabilan fluks yang dapat mengurangi efisiensi dan umur operasi membran sehingga biaya periodik penggantian membran juga harus diperhitungkan. Selain itu membran juga tidak tahan pada kondisi yang terlalu asam atau basa khususnya untuk membran polimer (Gabelman dan Hwang, 1999).

Untuk mengatasi permasalahan *fouling factor* dan ketidakstabilan fluks, maka perlu dilakukannya suatu *treatment* tambahan. Dalam penelitian ini, *treatment* yang dilakukan adalah proses ozonasi. Diharapkan dengan proses ozonasi *treatment* akan mencegah terjadinya *fouling* membran yang akan meningkatkan kualitas hasil dan periode penggunaan membran. Selain itu, diharapkan dengan proses ozonasi dapat membantu menguraikan amonia sehingga beban pemisahan amonia yang terjadi didalam membran dapat berkurang.

Proses ozonasi adalah proses dimana ozon yang merupakan suatu zat alami dan merupakan bentuk yang sangat aktif dari oksigen, diinjeksikan ke dalam air. Sebagai oksidator yang kuat, ozon dapat membunuh bakteri

(*sterilization*), menghilangkan warna (*decoloration*), menghilangkan bau (*deodorization*), dan menguraikan senyawa organik (*degradation*). Kombinasi proses ozonasi dan proses filtrasi akan dapat menghasilkan air yang lebih bersih, jernih, dan bebas dari bau.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan pelarut bahan alam dalam penyisihan amonia dari air limbah.
2. Bagaimana kemampuan proses ozonasi terhadap proses penghilangan amonia dari air limbah.
3. Bagaimana efektivitas dari proses hibrid ozonasi dan membran serat berongga dalam menghilangkan amonia dari air limbah.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis efektivitas kombinasi proses ozonasi dan membran pada proses penyisihan amonia dari air limbah.

1.4 Batasan Masalah

Yang menjadi batasan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Air limbah yang digunakan sebagai umpan adalah limbah sintetik.
2. Proses absorpsi dilakukan dengan menggunakan pelarut bahan alam yang berasal dari sumber air panas.
3. Proses ozonasi berlangsung secara semi-batch dengan sirkulasi liquid.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan seminar ini terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori tentang membran dan ozonasi. Tentang definisi kontaktor membran serat berongga, aplikasi membran serat berongga, proses pemisahan amonia dari dalam air dengan menggunakan kontaktor serat berongga. Tentang definisi ozon, ozonasi, dan proses pembangkitan ozon

BAB 3 METODE PENELITIAN

Menampilkan prosedur penelitian, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, perangkaian alat, dan cara pengolahan data dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi analisis dan pembahasan dari hasil penelitian berupa data yang diperoleh.

BAB 5 KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan dari analisis hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air

Kebutuhan air di muka bumi ini sangat penting sekali karena merupakan sumber kehidupan yang utama, seluruh aktivitas kehidupan baik untuk manusia, hewan dan tumbuhan selalu melibatkan air didalamnya. Selain itu air dibutuhkan untuk kelangsungan proses industri, kegiatan perikanan, pertanian dan peternakan. Secara alami sumber air merupakan kekayaan alam yang dapat diperbaharui dan yang mempunyai daya regenerasi mengikuti suatu daur ulang yang disebut daur hidrologi (Suryani, 1987). Ketersediaan air di muka bumi cukup banyak yaitu 1,4 triliun kilometer kubik (330 juta mil³), dimana air menutupi hampir 71% permukaan bumi (Widyowati, 2008).

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-). Hal ini menyebabkan air di alam tidak pernah murni akan tetapi selalu mengandung berbagai zat terlarut maupun zat tidak terlarut serta mengandung mikroorganisme atau jasad renik. Apabila kandungan berbagai zat maupun mikroorganisme yang terdapat di dalam air melebihi ambang batas yang diperbolehkan, kualitas air akan terganggu, sehingga tidak bisa digunakan untuk berbagai keperluan. Air yang terganggu kualitasnya ini dikatakan sebagai air yang tercemar.

Bila penurunan kualitas air ini tidak diminimalkan maka akan terjadi pencemaran air. Peraturan pemerintah RI No. 82 tahun 2001 menyebutkan: "Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya". Salah satu bahan pencemar air adalah amonia, sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001, mengenai pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemar air,

kriteria mutu air berdasarkan kelas, kandungan amonia yang diperbolehkan terkandung dalam air kelas I adalah sebesar (0,5mg/L), kelas II, III, dan IV tidak diperbolehkan mengandung amonia.

2.2 Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 . Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Dalam larutan biasanya terdapat dalam bentuk larutan amonium hidroksida yang merupakan senyawa yang dapat merusak kesehatan. Amonia memiliki sifat-sifat seperti yang tertera pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Sifat-Sifat amonia

Sifat Fisika Amonia	Nilai
Massa jenis dan fase	0,6942 g/L, gas
Kelarutan dalam air	89,9 g/100 ml pada 0°C
Titik lebur	-77,73 °C (195,42 K)
Temperatur autosolutan	651°C
Titik didih	-33,34 °C (239,81 K)
Keasaman (PKa)	9,25
Kebasaan (PKb)	4,75

Sumber: National Institute of Standar and Technology, 2008 (telah diolah kembali)

Amonia dalam air mudah terdekomposisi menjadi ion amonium dengan persamaan sebagai berikut:



- Dibawah pH 7, semua amonia akan larut dalam ion amonium
- Diatas pH 7, semua amonia akan berada dalam keadaan gas terlarut
- Diantara pH 7-12, baik ion amonium maupun gas amonia berada dalam sistem sama, persentase gas terlarut akan naik seiring dengan bertambahnya pH dan suhu. Dimana suhu dan pH merupakan salah satu faktor penting dalam penghilangan amonia.

Amonia yang terlarut dalam lingkungan perairan merupakan masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004). Berdasarkan

Peraturan Menteri Kesehatan RI No.416/MENKES/PER/IX/1990 konsentrasi amonia yang diperbolehkan berada dalam air bersih adalah sebesar 1,5 mg/L.

Berikut adalah bahaya amonia terhadap kesehatan berdasarkan Material Safety Data Sheet (MSDS):

1. Berbahaya terhadap pernafasan, sangat merusak sel-sel saluran pernafasan atas. Gejala yang mungkin terjadi seperti rasa terbakar, batuk, radang tenggorokan, sesak nafas, sakit kepala, mual, dan muntah-muntah.
2. Berbahaya jika tertelan dapat menyebabkan luka bakar di dalam mulut, tenggorokan, dan perut yang bisa menyebabkan kematian. Serta dapat menyebabkan sakit tengorokan, muntah, diare.
3. Kontak dengan kulit dapat menyebabkan rasa sakit, kemerahan, iritasi parah atau luka bakar karena merupakan larutan basa yang korosif.
4. Kontak dengan mata dapat menyebabkan penglihatan kabur, kemerahan, rasa sakit, jaringan luka bakar parah dan kerusakan mata.
5. Kontak dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan bahkan kematian, amonia masih digolongkan sebagai bahan beracun jika terhirup.

Beberapa contoh kadar maksimum dari limbah amonia yang diperbolehkan, dibedakan sesuai dengan kegiatan industri, seperti Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2. Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat (On-Shore)

Jenis Air Limbah	Parameter	Kadar Maksimum
Air terproduksi	Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	0,5 mg/L
	Amonia (sebagai NH ₃ -N)	5 mg/L
	Temperatur	40 °C
	pH	6-9
	TDS	4000 mg/L

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.4, 2007. (telah diolah kembali).

Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi

Jenis Air Limbah	Parameter	Kadar Maksimum
Air terproduksi	Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	1 mg/L
	Amonia (sebagai NH ₃ -N)	10 mg/L
	Temperature	40 °C
	pH	6-9

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.4, 2007. (telah diolah kembali).

Tabel 2.4. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi

Parameter	Kadar Maksimum
Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	0,5 mg/L
Amonia (sebagai NH ₃ -N)	8 mg/L
Temperatur	45 °C
pH	6-9

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.4, 2007. (telah diolah kembali).

Tabel 2.5. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Bagi Kegiatan Industri Pupuk

Parameter	Pupuk Urea	Pupuk Nitrogen lain	Pupuk Amoniak
	Kadar maksimum (kg/ton)	Kadar maksimum (kg/ton)	Kadar maksimum (kg/ton)
Amonia (sebagai NH ₃ -N)	0,75	1,5	0,3
Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	1,5	3	0,15
pH	6-10	6-10	6-10

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.122, 2004. (telah diolah kembali)

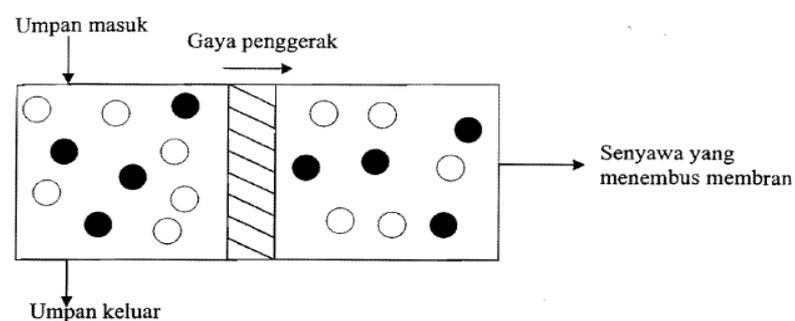
Pemilihan metode identifikasi amonia didasarkan pada perkiraan kadar amonia dalam sampel. Bila pada sampel diperkirakan terkandung lebih dari 50 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ maka digunakan titrasi dengan standar asam sulfat, bila kadar amonia berkisar antara 0,06 sampai 50 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$, konsentrasinya dapat ditentukan dengan menggunakan metode Nessler; sedangkan penentuan kadar amonia di atas 50 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ dengan metode Nessler akan membutuhkan pengenceran terlebih dahulu.

Garam amonia dan ammonium dapat segera terdeteksi, setiap menit dengan penambahan larutan Nessler yang memberikan warna kuning mencolok dalam keberadaan garam amonia dan ammonium yang paling sedikit sekalipun. Intensitas warna berbanding lurus dengan konsentrasi NH_3 yang terdapat dalam sampel, yang kemudian ditentukan secara spektrofotometris (Alaerts, 1984).

2.3 Membran

Membran merupakan sebuah material yang berupa lapisan tipis yang dapat memisahkan dua fasa zat dan bertindak sebagai rintangan selektif dalam perpindahan zat saat suatu daya penggerak diberikan melewati membran tersebut (Mallevalle, 1996).

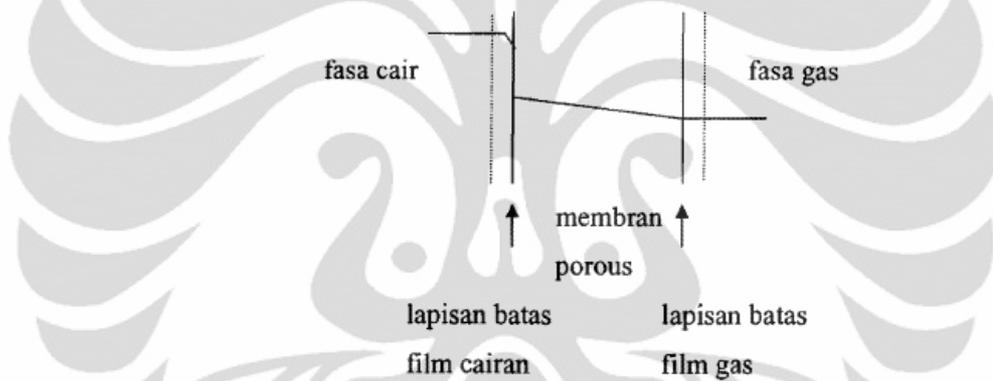
Membran memiliki kemampuan untuk memindahkan satu komponen karena adanya perbedaan sifat fisika dan/atau kimia diantara membran dan komponen permeate dimana laju permeasi pada membran sebanding dengan gaya penggerak (*driving force*). Gaya penggerak adalah gaya yang bekerja pada molekul atau partikel didalam membran. Gaya penggerak dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, dan temperatur antara larutan pada bagian luar membran dengan larutan yang berada di bagian dalam membran.



Gambar 2.1. Skema Perpindahan Melalui Membran (Sunarti, 2004)

Besar laju perpindahan komponen-komponen yang akan dipisahkan sebanding dengan besarnya gaya penggerak yang ada, permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Ketebalan suatu membran juga sangat mempengaruhi tingkat permeabilitas membran. Semakin tebal membran maka tahanan terhadap perpindahan massanya akan semakin besar, sehingga laju permeasi yang diperoleh rendah.

Pada fasa cair konsentrasi amonia terlarut akan mengalami penurunan yang cukup signifikan karena adanya tahanan pada cairan. Pada membran dan fasa gas penurunan konsentrasi amonia jauh lebih kecil karena pada membran terdapat dua tahanan yaitu tahanan gas yang berada di mulut pori membran dan tahanan membran itu sendiri sedangkan pada fasa gas terdapat tahanan pada gas.



Gambar 2.2. Profil Konsentrasi Amonia Terlarut Melewati Membran Hidrofobik (Mulder, 1997)

Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan seperti, (Mallevalle, 1996):

1. Pemisahan dapat dilakukan pada temperatur ruang tanpa adanya perubahan fasa, sehingga membrikan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan dengan destilasi.
2. Pemisahan dapat berlangsung tanpa adanya akumulasi produk didalam membran.
3. Pemisahan tidak memerlukan penambahan aditif kimia, seperti pada destilasi azeotrop atau pada pemurnian air dengan endapan.
4. Material membran bervariasi, sehingga mudah diadaptasikan pemakaiannya.

5. Proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hibrid processing*).

2.3.1 Klasifikasi membran

Berdasarkan teknik pemisahannya, membran dibedakan menjadi (Agustina, 2009):

2.3.1.1 Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran *micron* atau *submicron*. Bentuknya lazim berupa cartridge, gunanya untuk menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron. Kandungan padatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm. *Filtrasi cartridge* merupakan filtrasi mutlak, partikel padat akan tertahan. Bahan *cartridge* beraneka : *katun, wool, rayon, selulosa, fiberglass, poly propilen, akrilik, nilon, asbes, ester-ester selulosa, polimer hidrokarbon terfluorinasi*.

2.3.1.2 Osmosis balik

Membran RO dibuat dari berbagai bahan seperti *selulosa aasetat (CA), poliamida (PA), poliamida aromatis, polieteramida, polieteramina, polieterurea, polifelilene oksida, polifenilen bibenzimidazol*, dsb. Membran komposit film tipis terbuat dari berbagai bahan polimer untuk substratnya ditambah polimer lapisan fungsional di atasnya (I.G Wenten, 2002).

2.3.1.3 Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi adalah teknik proses pemisahan (menggunakan) membran untuk menghilangkan berbagai zat terlarut dengan berat molekul tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari air larutan (I.G Wenten, 2002). Ukuran dan bentuk molekul terlarut merupakan faktor penting.

Selain tiga jenis membran diatas, membran juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan penyusun, struktur, dan prinsip pemisahan (Mallevalle, 1996).

2.3.1.4 Berdasar bahan penyusun

Berdasarkan bahan penyusun, membran dibedakan menjadi (Mallevalle,1996):

- a. Membran biologi, yaitu membran yang terbentuk secara alami. Terutama mengandung lipida dan protein. Membran ini banyak digunakan dalam industri farmasi.
- b. Membran sintetik, yaitu membran yang terbuat dari bahan organik (polimer) dan anorganik (keramik, gelas, atau logam)

2.3.1.5 Berdasar struktur

Berdasarkan bahan struktur, membran dibedakan menjadi (Mallevalle,1996):

- a. Membran simetrik

Membran simetrik merupakan membran yang memiliki struktur yang homogen. Ketebalan membran ini berkisar antara 10-200 μm . Selektivitas membran ini tinggi tetapi juga laju permeabilitasnya rendah. Struktur membran ini terdiri dari film homogen, pori silender dan struktur spons.

- b. Membran asimetrik

Struktur dari lapisan atas sampai lapisan bawah tidak sama. Membran ini tersusun dari lapisan film yang sangat tipis dengan ketebalan 0,1-1 μm pada bagian atas dan pada bagian bawah memiliki ketebalan 100-200 μm . Lapisan bagian atas berfungsi untuk meningkatkan selektivitas membran. Membran ini banyak digunakan untuk pemisahan gas, ultrafiltrasi, dan osmosis balik.

2.3.1.6 Berdasar prinsip pemisahan

Berdasarkan prinsip pemisahan, membran dibedakan menjadi (Mallevalle,1996):

- a. Membran berpori

Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan ukuran partikel. Selektifitas yang tinggi dapat diperoleh jika ukuran partikel zat terlarut lebih besar dari

ukuran pori membran. Ukuran pori berdasarkan IUPAC terbagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- Makropori, ukuran pori lebih besar dari 50 nm
- Mesopori, ukuran pori antara 2-50 nm
- Mikropori, ukuran pori lebih kecil dari 2 nm

Mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dan nanofiltrasi termasuk kedalam kategori ini.

b. Membran tak berpori

Jenis membran ini mampu melakukan pemisahan dari kedua sisinya. Proses pemisahan dipengaruhi oleh perbedaan solubilitas dan difusivitas. Banyak digunakan untuk pemisahan gas. Osmosis balik termasuk dalam kategori ini.

c. Membran *carrier*

Perpindahan massa yang terjadi ditentukan oleh suatu molekul pembawa. Molekul pembawa ini diletakkan di bagian dalam pori dari membran berpori. Permeabilitas suatu komponen sangat tergantung pada spesivitas molekul pembawa. Dengan adanya molekul pembawa akan diperoleh selektifitas yang sangat tinggi.

2.3.2 Membran polipropilen

Polipropilena atau polipropena merupakan polimer termoplastik yang terbentuk dari monomer C_3H_6 . Digunakan pada banyak keperluan baik dalam industri maupun kemasan makanan. Polipropilena ini digunakan baik sebagai plastik maupun serat. Bahan ini merupakan bahan yang relatif murah, mudah dibentuk, ketahanan rendah dengan tampilan luar yang baik. Permukaan material ini seperti lilin dan mudah digores. Kekakuan dan kekuatan biasanya ditingkatkan dengan menggunakan bahan penguat dari gelas, kapur atau talc.

Sifat-sifat dari polipropilena yaitu (Prastiono, 2010) :

- Bersifat ringan dan memiliki densitas yang rendah

Tabel 2.6. Karakteristik Jenis Polimer

Polymer	Polymer Melt Index	Density (gr/ml)
LDPE (Low Density Polyethylene)	0,2 – 20	0,92 – 0,93
HDPE (High Density Polyethylene)	0,2 – 25	0,95 – 0,96
Polypropylene	2 – 50	0,91 – 0,93

Sumber : Prastiono, 2010

- Mempunyai softening point yang lebih tinggi dan tahan terhadap suhu tinggi karena titik lelehnya sekitar 165-170°C
- Memiliki sifat dielektrik yang baik
- Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi.
- Tahan terhadap suasana basa dan asam, pelarut organik tetapi kurang tahan terhadap pelarut aromatik, alifatik dan yang mengandung klor juga terhadap sinar UV
- Tidak beracun
- Tidak berwarna
- Mudah diproduksi dan merupakan material yang ekonomis

Polipropilen merupakan salah satu dari banyak vinyl polimer. Contoh lain dari vinyl polimer adalah polietilen, polivinil klorida, dan sebagainya. Sebagian besar vinyl polymer dibentuk melalui polimerisasi radikal bebas akan tetapi pada polipropilen, polimerisasi yang dilakukan ialah polimerisasi Ziegler-natta. Hal ini dikarenakan pada polimerisasi radikal bebas jenis polimer yang terbentuk ialah polipropilen ataktik, sedangkan dengan polimerisasi Ziegler-natta akan menghasilkan polipropilen isotaktik (Moore, 1996) Sebagian besar polimer komersial dipasarkan 90-95% merupakan polimer isotaktik.

Polipropilen ataktik merupakan polimer yang lemah karena polimer yang terbentuk merupakan bentuk amorf dengan susunan rantai yang tidak beraturan. Lain halnya dengan polipropilen isotaktik dimana memiliki susunan rantai yang teratur, yaitu semua cabang metil terdapat pada sisi cabang yang sama. Polipropilen isotaktik akan memiliki karakteristik yang kuat karena memiliki bentuk kristal. Dengan kata lain perbedaan susunan rantai pada polipropilen akan mempengaruhi karakteristik dari polipropilen itu sendiri. (Effendi, 2009)

Penggunaan polipropilen sebagai membran pada penelitian ini didasarkan pada sifat dari polipropilen itu sendiri yaitu hidrofobik, sehingga air tidak dapat membasahi membran secara spontan. Selain itu, polipropilen memiliki kristalinitas yang tinggi (dalam konfigurasi isotaktik) yang membuat polipropilen memiliki stabilitas kimia yang baik. Karena dengan terdapatnya kristalit-kristalit pada matriks polimer, polipropilen menjadi cukup sulit untuk melarutkan zat (*insoluble*) dan bahan reaksi kimia agak sulit masuk ke dalamnya.

2.3.3 Kontaktor membran

Kontaktor membran sangat efektif untuk memisahkan atau menambahkan gas dalam air. Dengan desain kontaktor yang baik maka koefisien perpindahan massa dapat bertambah dan juga dapat menurunkan *pressure drop*.

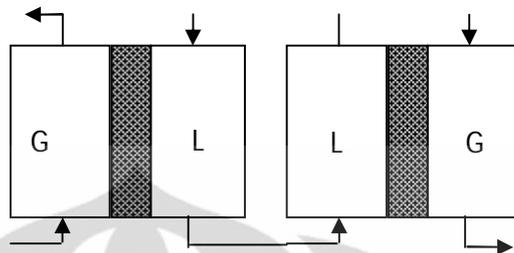
Fungsi utama membran dalam kontaktor adalah (Effendi, 2009):

1. Agar permukaan kontak antar fluida tetap berada di mulut pori membran dengan kombinasi efek tegangan permukaan dan perbedaan tekanan fasa.
2. Memperbesar luas permukaan kontak dengan membran yang sama sehingga perpindahan massanya menjadi besar.

Proses pemisahan ditentukan dari koefisien distribusi dari komponen dalam dua fasa dan membran hanya sebagai alat penghubung. Secara umum membran tidak meningkatkan perpindahan massa tetapi meningkatkan luas area per volume. Sebagai contoh *packed and tray coloumn* memiliki luas area per volume sekitar 30 sampai 300 m²/m³, tetapi dengan kontaktor membran, luas area per volumenya dapat mencapai 33.000 m²/m³ (Chandra, 2009).

Kontaktor membran dibedakan menjadi kontaktor fasa gas-cair, dan kontaktor fasa cair-cair. Terdapat perbedaan pada kedua kontaktor membran tersebut adalah pada kontaktor G-L fasa yang terlibat yaitu gas atau uap dan fasa lainnya adalah cairan. Pada kontaktor L-L semua fasa adalah cairan. Kontaktor membran gas cair dapat mengatur proses gas atau uap yang akan dipindahkan dan fasa cair ke fasa gas (Mulder, 2000).

Kontaktor membran gas-cair dapat mengatur proses gas atau uap yang akan dipindahkan dari fasa cair ke fasa gas. Berikut adalah skema kontaktor membran G-L dan L-G yang dapat dilihat pada berikut ini.



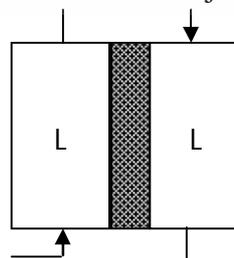
Gambar 2.3. Skema kontaktor membran G-L dan L-G (Mulder,2000)

Kontaktor membran cair-cair dicirikan dengan pemisahan aliran dua campuran dengan menggunakan membran berpori (*porous membrane*) ataupun membran tidak berpori (*non porous membrane*). Membran polipropilena merupakan membran yang memiliki pori yang bersifat hidrofobik. Jika membran hidrofobik berpori digunakan maka membrannya akan terbasahi sedangkan porinya akan terisi dengan senyawa yang akan dipisahkan dan pemisahan ini akan terjadi pada antarmuka membran (Mulder, 2000)

Perpindahan massa antar fasa pada kontaktor membran didorong oleh adanya perbedaan konsentrasi komponen antar fasa dan penurunan tekanan yang diperlukan untuk menahan interfasa antar fluida yang sangat kecil. Pada proses kontak antar fluida melalui membran, langkah-langkah yang terjadi adalah

1. Perpindahan massa komponen dari fluida umpan ke membran.
2. Difusi massa tersebut melewati membran.
3. Perpindahan massa dari membran ke fluida lainnya.

Proses kontak membran cair-cair di jelaskan pada Gambar 2.4.berikut ini.

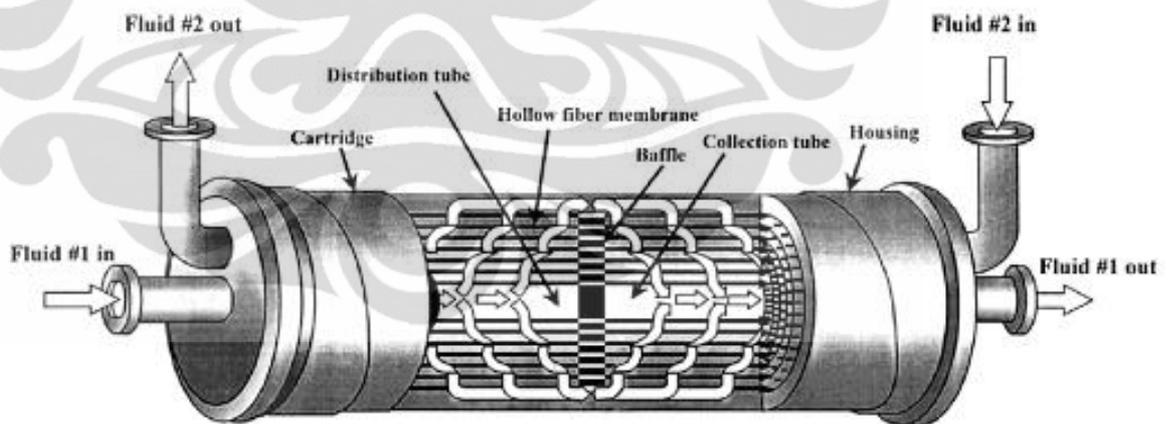


Gambar 2.4. Skema kontaktor membran cair-cair (Mulder,2000)

2.3.3.1 Kontakor membran serat berongga

Kontaktor membran serat berongga merupakan teknologi proses membran yang relatif baru. Kontakor membran serat berongga menggunakan membran serat berongga sebagai pemisah antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya.

Modul membran serat berongga mirip dengan modul kapiler tetapi berbeda dimensi. Struktur serat di dalam modul yang asimetrik memiliki diameter dalam sekitar 42 mikron (0,0016 inci) dan diameter luar sekitar 85 mikron (0,0033 inci). Jutaan serat ini dibentuk menjadi bundel dan dilipat setengah dengan konfigurasi kerapatan pengepakan yang tertinggi hingga mencapai $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Chandra, 2009). Distribusi air umpan berupa tabung plastik perforasi (*perforated plastic tube*) dimasukkan ke dalam pusatnya untuk memperluas panjang keseluruhan dari benda. Kemudian bundel dibungkus dan kedua sisi ditutup sehingga membentuk lembaran. Modul membran serat berongga mempunyai diameter 10-20 cm yang terdapat dalam *shell* silinder dengan panjang kurang lebih 137 cm dan diameter 15-30 cm. Keseluruhan dari penggabungan ini disebut permeator. Gambar kontakor membran serat berongga dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 2.5. Membran Serat Berongga (Gabelman dan Hwang, 1999)

2.3.3.2 Kelebihan dan kekurangan membran serat berongga

Kelebihan yang lain dari kontakor membran serat berongga sebagai kontakor gas-cair dan separasi adalah (Gabelman dan Hwang, 1999):

1. Luas permukaan yang ada tidak berpengaruh pada laju alir yang tinggi maupun rendah, karena kedua aliran tidak tergantung satu sama lainnya.

2. Tidak terjadi pembentukan emulsi (*foaming*) karena tidak ada dispersi fluida fluida.
 3. Tidak seperti kontaktor konvensional, tidak diperlukan perbedaan densitas antara fluida.
 4. Laju alir fasa gas dan fasa cair dapat dikontrol secara terpisah dikarenakan sistem kontak tidak dispersif
 5. Desain modularnya membolehkan pengaplikasian plan membran dalam lingkup kapasitas yang sangat luas.
 6. Luas permukaan kontak yang lebih banyak daripada konvensional.
 7. Tidak terjadi pemborosan pelarut (efisien dan efektif dalam pemanfaatan pelarut).
 8. Tidak seperti pada kolom fasa terdispersi dengan pengadukan mekanik, kontaktor membran tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga memudahkan dalam perawatan dan pemeliharaan.
 9. Penskalaan hasil lebih linier dengan kontaktor membran daripada peralatan konvensional.
Selain memiliki kelebihan, kontaktor membran juga memiliki kekurangan, yaitu (Gabelman dan Hwang, 1999):
1. Adanya membran menambah resistansi/tahanan lain pada perpindahan massa yaitu resistansi membran itu sendiri.
 2. Efisiensinya berkurang karena adanya aliran *by-pass* dan *shell* (*shell-side by passing*), ada sebagian fluida dalam *shell* yang tidak kontak dengan membran sehingga aliran akan lebih baik jika diturbuliskan.
 3. Pada membran dapat terjadi *fouling* walaupun tidak sebesar pada kontaktor yang menggunakan gradien tekanan sebagai *driving force*-nya.
 4. Polarisasi konsentrasi (penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran) juga mempengaruhi kekotoran pada membran. Kekotoran ini dipengaruhi oleh tipe pemisahan dan tipe membran yang digunakan.
 5. Membran memiliki umur yang tertentu sehingga biaya periodik pergantian membran juga perlu diperhitungkan.

6. Pemakaian perekat (seperti epoksi) untuk menahan 'buntelan' *fiber* pada *tube* kemungkinan mudah rusak oleh pelarut organik.
7. Beroperasi pada rentang temperatur yang tidak terlalu tinggi karena dapat menyebabkan rusaknya membran khususnya untuk membran polimer.

2.3.3.3 Aplikasi kontaktor membran serat berongga

Kontaktor membran serat berlubang telah diverifikasikan oleh beberapa peneliti dalam rentang aplikasi yang luas seperti dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Aplikasi membran serat berongga

Aplikasi	Aliran Fluida	Bahan Membran	Laju Pengontrol Proses	Aplikasi di Industri
Oksigenasi Air	Selongsong: Air Lumen: Gas/Udara	Porimikrohidrofobik	Lapisan cairan	Pengolahan air limbah
Absorpsi Gas	Selongsong: Air/larutan encer Lumen: Gas	Porimikrohidrofobik	Lapisan cairan	Pemisahan gas alam dari gas alam
Bioreaktor membran untuk pengolahan limbah	Selongsong: Air/desikan cair Lumen: Gas/Udara	Porimikrohidrofobik/ membran berat	Lapisan cairan	Dunia kedokteran

Sumber: Effendi, 2009 (telah diolah kembali)

2.3.4 Fouling Membran

Kerugian utama dari proses membran adalah terjadinya *fouling* atau *biofouling* membran akibat penumpukan deposit dari senyawa organik, anorganik, juga mikroorganisme baik pada permukaan dalam maupun luar dari pori membran. *Fouling* ini lebih lanjut dapat menurunkan fluks permeat dan menurunkan efisiensi ekonomi dari plant pengolahan air minum.

Beberapa hal yang umum dilakukan untuk mengurangi *fouling* dari membran diantaranya melakukan pencucian balik/*backwashing* membran secara periodik, pembersihan membran dengan bahan kimia, dan melakukan pretreatment pada membran (Schlichter, 2003).

2.4 Desorpsi dan Absorpsi

Proses *stripping* adalah proses desorpsi dimana terjadi perpindahan massa atau lebih spesies dari fasa cair menuju fasa gas. Faktor yang mempengaruhi proses desorpsi adalah difusitas dan kelarutan dari spesies yang akan berpindah ke dalam fasa gas (Effendi, 2009).

Menurut teori *two-fil*, molekul berpindah di bagian bulk masing-masing fasa secara konveksi, dan perbedaan konsentrasi antara keduanya diabaikan kecuali pada sekitar *interphase* antar fasa. Pada bagian lain dari *interphase*, perpindahan molekul tersebut hilang dan terdapat lapisan tipis yang menyebabkan perpindahan molekul terjadi secara molekuler. Lapisan tipis tersebut akan lebih tebal dari *sublayer* laminar, karena memiliki tahanan yang sama dengan tahanan seluruh layer (Effendi, 2009).

Arah perpindahan massa tersebut dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi dan kesetimbangannya, sehingga laju perpindahan molekul dikontrol oleh laju difusi melalui dua lapisan *film* (gas dan cairan), dimana hanya pada lapisan batas *film* tersebut memiliki tahanan.

Peralatan yang biasa digunakan dalam proses desorpsi, antara lain kolom desorpsi (*packed and plate tower*) dengan vakum dan atau *sweep* gas, membran kontaktor dan lain-lain. Prinsip kerjanya adalah meningkatkan kontak antara gas dan cairan dimana keefektifan bergantung pada jumlah gas dan cairan yang saling kontak (Effendi, 2009).

Persitiwa absorpsi adalah salah satu peristiwa perpindahan massa yang besar peranannya dalam proses industri (setelah destilasi). Peristiwa absorpsi ini dikontrol oleh laju difusi dan kontak antara 2 fasa. Prinsip absorpsi adalah dengan memanfaatkan besarnya difusivitas molekul-molekul gas pada larutan tertentu. Dengan demikian bahan yang memiliki koefisien partisi hukum Henry's (tekanan uap/kelarutan) rendah sangat disukai dalam proses absorpsi. Absorpsi dapat pula ditingkatkan dengan cara memperluas permukaan kontak.

Absorpsi dapat terjadi baik secara fisika maupun kimia, dimana absorpsi melibatkan reaksi-reaksi kimia, sebagai contoh absorpsi fisika selain sistem amonia-udara-air adalah sistem aseton-udara-air, dan absorpsi yang melibatkan

reaksi kimia adalah NO_x-udara-air, dimana NO_x bereaksi dengan air membentuk senyawa ionik RNO₃ (Effendi, 2009).

Terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih solvent, yaitu:

1. Kelarutan gas harus tinggi sehingga meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas solvent yang diperlukan.
2. Volatilitas, pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak solvent yang terbuang.
3. Korosifitas material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat solvent.
4. Harga, penggunaan solvent yang mahal dan tidak mudah terrekover akan meningkatkan biaya operasi menara absorber.
5. Ketersediaan pelarut di dalam negeri akan sangat mempengaruhi stabilitas harga pelarut dan biaya operasional secara keseluruhan.
6. Viskositas pelarut yang rendah amat disukai karena akan terjadi laju absorpsi yang tinggi.

2.5 Air Ciater

Pada penelitian ini solvent yang digunakan sebagai pelarut adalah air alam Ciater, yang diambil dari Desa Ciater, Kab. Subang, Jawa Barat, berlokasi kurang lebih 32 km di utara Bandung.

Menurut klasifikasi, air panas Ciater masuk dalam kategori "*Calcium Magnesium Chloride Sulfate Thermomineral Hypertherma*" dengan kandungan aluminium yang cukup tinggi (38,5%) serta pH yang sangat asam (2,45). Air panas yang berasal dari mata air ini memiliki temperatur sekitar 43-46 °C. Sedangkan air yang terletak pada kolam pemandian, jangkauan temperaturnya mencapai 37-42 derajat Celsius (Shao, 2008).

Beberapa pertimbangan yang mendukung pemilihan absorben ini adalah kandungan sulfat yang terkandung di dalam air Ciater mampu menggantikan fungsi asam sulfat yang telah digunakan sebagai larutan penyerap pada penelitian-

penelitian sebelumnya. Sumber air alami memiliki banyak keunggulan, selain ramah lingkungan, sumber tak terbatas, dan juga lebih murah.

Kemampuan dari air Ciater sebagai absorben amonia dapat dibandingkan dengan asam sulfat pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Berikut ini adalah Tabel analisis kimia dari air Ciater yang dilakukan di Laboratorium Analisis dan Kalibrasi Balai Besar Industri Argo di Bogor:

Tabel 2.8. Komposisi Ion Air Ciater

Parameter	Kandungan (mg/L)	Metode Uji/Teknik
Kesadahan Ca	30,8	SNI.06-6989-12-2004
Kesadahan Mg	28,9	SNI.06-6989-12-2004
Nitrat (NO ₃ ⁻)	2,46	SNI.01-3554-2006, butir 2,8
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	291	SNI.06-6989-20-2004
Klorida (Cl ⁻)	9,03	SNI.06-6989-19-2004
Flourida (F ⁻)	2,83	SNI.06-6989-29-2005
Sianida (CN ⁻)	0,002	SNI.01-3554-2006
Hidrogen Sulfida	<0,002	APHA 4500 D- 2005
Fosfat	0,07	APHA 4500 PO4 2005
Besi (Fe)	12,9	SNI.06-6989-4-2004
Mangan (Mn)	1,71	SNI.06-6989-5-2004
Natrium (Na)	30,54	AAS

Sumber : Beauty, 2010

Berdasar pada analisa laboratorium di Laboratorium Analisis dan Kalibrasi Balai Besar Industri Argo, Bogor, air Ciater yang digunakan masih mengandung sekitar 50 ppm amonia (Beauty, 2010). Hal ini berarti terdapat kehidupan di dalam air Ciater, karena makhluk hidup mengeluarkan sekresi berupa amonia. Mengingat suhu air Ciater yang juga mendukung untuk bakteri termofilik yang mampu hidup hingga suhu 50 °C. Maka dari itu, diperlukan suatu *pre-treatment* untuk mengurangi kadar amonia tersebut, dengan cara dipanaskan terlebih dahulu

hingga mendidih, dengan maksud untuk menguapkan gas amonia yang terkandung didalam air Ciater tersebut.

2.6 Ozon

Ozon adalah suatu bentuk alotropik dari oksigen O_3 yang merupakan pengoksidasi kuat, digunakan secara luas untuk memperbaiki rasa dan warna dengan menghilangkan senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam air.

Proses oksidasi dengan menggunakan ozon ini diperkirakan melibatkan 2 jalan proses oksidasi yaitu oksidasi oleh ozon itu sendiri dan oksidasi oleh radikal hidroksi. Terbentuknya radikal hidroksi ini akibat dari serangkaian reaksi tranformasi dari ozon, dimana radikal hidroksi ini merupakan pengoksidasi sangat kuat dan lebih kuat dari pada ozon (Urs von Gunten, 2002).

Ada beberapa kelemahan dari ozon itu sendiri yaitu mempunyai kelarutan dan kestabilan dalam air yang lemah, biaya produksi ozon yang mahal dan ozon merupakan pengoksidasi yang selektif dimana ozon bereaksi sangat lambat dengan senyawa organik seperti senyawa aromatik, pada beberapa kasus ozon tidak dapat mengoksidasikan secara sempurna beberapa senyawa organik seperti keton, aldehyd dan asam karboksilat menjadi karbon dioksida (Li-Bing Chu et.al., 2007).

Saat ini, di Indonesia ozon sebagai senyawa oksidator dalam industri masih sangat terbatas dan umumnya hanya digunakan sebagai senyawa desinfeksi maupun sterilisasi pada industri pengolahan air minum. Alasan keterbatasan penggunaan ozon ini secara umum adalah besarnya biaya investasi kepraktisan instalasinya.

2.6.1 Kegunaan Ozon

Ozonasi digunakan untuk pemumian air minum dengan berbagai tujuan, termasuk hal-hal berikut (Langlais, 1991):

1. Desinfeksi dan pengontrolan alga
2. Oksidasi dari mikropolutan organik
 - Rasa dan bau
 - Polutan fenol

- Senyawa-senyawa organik terhalogenasi dan pestisida

3. Oksidasi dari makropolutan organik

- Penghilangan warna
- Meningkatkan biodegradabilitas dari senyawa organik
- Penghancuran *Irihalomethane formation potential*, *total organic halide formation potential* (TOXFP), dan klor

4. Sebagai *coagulant aid*

Proses perlakuan awal ini bertujuan untuk mengurangi beban filtrasi, mengurangi *fouling factor* dan meningkatkan kualitas produk. Karena sifat ozon yang sangat reaktif maka ozon dapat menggantikan fungsi perlakuan awal untuk membunuh virus, bakteri, dan mikroorganisme.

2.6.2 Sifat Fisika Ozon

Ozon merupakan gas memiliki bau seperti pedas (*pugent*), tajam (*acrid*), tidak enak seperti bahan pemutih klor dan sangat beracun.

Tabel 2.9. Sifat Fisika Ozon

Sifat Fisika	Nilai
Berat molekul	48 g/mol
Titik didih	-111,9 ± 0,3 °C
Titik leleh	-192,5 ± 0,4 °C
Kalor laten penguapan pada 111.9 °C	14,9 kJ/kg
Densitas cairan pada -183°C	1574 kg/m ³
Densitas uap pada 0°C dan 1 atm	2,154 g/mL
Kelarutan dalam air pada 20°C	12,07 mg/L
Tekanan uap pada -183°C	11 kPa
Volum spesifik uap pada 0°C dan 1 atm	0,464 m ³ /kg
Temperature kritis	-12,1°C
Tekanan kritis	5532,3 kPa

Sumber: Metcalf and Eddy, 1991

2.6.3 Sifat Kimia Ozon

Ozon berbentuk gas pada suhu dan tekanan normal, kelarutan oksigen dalam air tergantung pada temperatur dan tekanan parsial ozon dalam fase gas disamping adanya pH cairan. sebagai senyawa tak stabil yang mudah terurai kembali menjadi oksigen, laju reaksi dekomposisi bertambah besar sebanding dengan kenaikan suhu dan pH.

Dari segi fenomena perpindahan massa yang juga menjadi kendala dalam proses pengolahan secara kimiawi, dalam hal ini yang dianggap paling menentukan adalah proses perpindahan dan transportasi oksidator ke dalam fasa cairan sedemikian rupa sehingga kelarutan oksidator semakin besar. Secara teoritis, kelarutan yang besar maka akan meningkatkan proses oksidasi.

Tabel 2.10. Sifat Kimia Ozon

Temperatur (°C)	Kelarutan Ozon (mg/L)	Kelarutan Oksigen (mg/L)
0	20	6,9
2	10	6,6
20	8,92	4,3
28	1,5	3,7

Sumber : Hikmawan, 2009

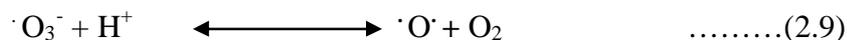
Kondisi pH dalam air sangat penting sekali karena ion hidroksida akan mendekomposisikan ozon menjadi beberapa reaksi seperti dibawah ini (Hikmawan, 2009):



Pada $\text{pH} \leq 8$



Pada $\text{pH} > 8$



Pembentukan OH radikal ini merupakan pengoksidasi yang sangat kuat, lebih kuat dari O₃, selain itu OH radikal ini bukan merupakan pengoksidasi selektif akan tetapi OH radikal dapat mengoksidasi hampir semua senyawa kimia. Sehingga senyawa apapun dapat dioksidasikan oleh OH radikal bebas.

2.6.4 Toksifitas Ozon

Berdasarkan *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), paparan maksimum untuk manusia terhadap ozon dalam periode delapan jam yaitu 0,10 ppm dan pada selama 15 menit dengan dosis sebesar 0,30 ppm. Dampak akibat ozon yang terhirup yaitu menyerang paru-paru, menyebabkan edema atau pembengkakan paru-paru bahkan sampai inflamasi saluran pernapasan. Dengan paparan yang lebih lama lagi, ozon dapat melewati alveolus dan dapat mempengaruhi sel-sel darah dan serum protein, bahkan dapat memberikan efek pada mata dan sistem saraf.

2.6.5 Injeksi Ozon kedalam air

Kontak antara ozon dan air ditandai dengan adanya gelembung pada larutan cair tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi perpindahan massa ozon ke dalam larutan cair, yaitu (Raachma, 2005):

- Daya kelarutan ozon pada cairan tertentu
- Konsentrasi ozon dalam gas
- Jenis masukan umpan : udara atau oksigen
- Metode kontak yang digunakan
- Waktu kontak
- Ukuran gelembung gas
- Tekanan dan temperatur operasi.

2.7 State Of The Art

Amonia yang terlarut dalam perairan merupakan salah satu masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses penghilangan limbah amonia yaitu melalui proses separasi. Telah dikembangkan beberapa metode pemisahan amonia yang

terkandung dalam air, dan terdapat beberapa penelitian yang terkait dengan pemisahan tersebut.

Michael J. Semmens pada tahun 1990 melakukan penelitian untuk memisahkan amonia terlarut dari air dengan menggunakan membran serat berongga, pada penelitian tersebut digunakan asam sulfat sebagai larutan penyerap. Penentuan konsentrasi akhir amonia digunakan elektroda ion selektif. Dari penelitian diketahui membran serat berongga dapat memiliki area per volume lebih besar 20 kali, dan tidak terdapat *flooding* ataupun *loading* dalam membran serat berongga. membran serat berongga dapat beroperasi dalam laju alir yang kecil yang tidak mungkin dilaksanakan dalam konvensional *packed tower*. Diwaktu yang sama terkadang transfer masa di membran serat berongga lebih rendah dibandingkan dengan *packed tower* konvensional, ada dua alasan mengenai hal tersebut, pertama terjadi aliran laminar pada lumen tanpa terjadi aliran turbulen dimana aliran turbulen memperbesar transfer massa, dan kedua tahanan pada membran serat berongga cukup besar.

Tahun 2005, Xiaoyao Tan et al melakukan penelitian dalam pemisahan kandungan amonia terlarut dari air, dengan menggunakan membran serat berongga PVDF (*polyvinilidene fluoride*). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa reaksi membran dengan ethanol berguna dalam meningkatkan *hydrophobility* dan efektifitas permukaan porositas. Dalam pemindahan amonia menggunakan PVDF modul membran serabut berlobang, meningkatnya pH dapat meningkatkan perpindahan amonia, tetapi hanya sampai pH 10, setelah yang ini tidak memberikan pengaruh. Pemisahan amonia meningkat dengan meningkatkan laju umpan, tetapi hanya sampai $0,59 \text{ m/s}$ atau $Re > 0,32$ dan jika kecepatan ditingkatkan tidak akan memberikan pengaruh, ini mengindikasikan bahwa efek tahanan lebih dominan.

M.S. EL-Bourawi et al, 2007 melakukan penelitian dengan menggunakan destilasi membran vakum untuk menghilangkan amonia, konsentrasi dan perbedaan suhu merupakan gaya gerak komponen yang berpindah. Dari data penelitian diketahui bahwa walaupun daya larut amonia cukup tinggi, amonia dalam larutan mempunyai bentuk yang tidak stabil sehingga dapat menyebabkan pemidahan amonia menjadi sulit. Penambahan NaOH kepada larutan umpan akan

meningkatkan pH larutan, sehingga akan meningkatkan amonia yang terbentuk dan efisiensi akan meningkat, kecepatan dan tekanan juga akan mempengaruhi efisiensi pemindahan.

Penelitian dengan menggunakan serat berongga dan absorber asam sulfat juga telah dilakukan oleh Dodi Chandra pada tahun 2009. Efektivitas pemisahan amonia terlarut dalam air dapat dilihat dari koefisien perpindahan massa dan hidrodinamika air. Pada penelitian ini, semakin tinggi laju alir atau kecepatan linier pelarut dan kenaikan jumlah serat membran akan meningkatkan koefisien perpindahan massa. Dan pada studi hidrodinamika, kenaikan laju alir atau kecepatan linier akan meningkatkan penurunan tekanan didalam modul akibat friksi dan peningkatan jumlah serat juga menyebabkan kenaikan penurunan tekanan di dalam modul.

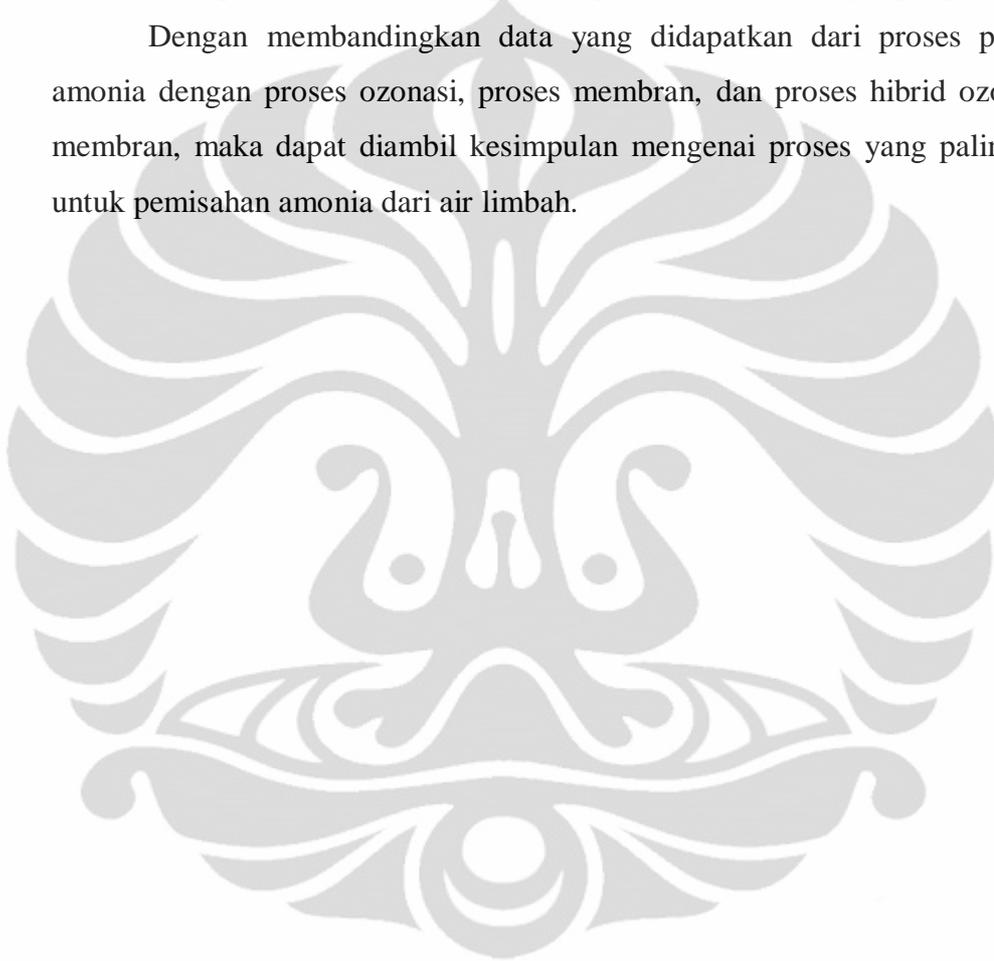
Teguh Hikmawan, tahun 2009 melakukan penelitian pengolahan air yang mengandung tembaga, timbal, dan amonia dengan proses ozonasi gelembung mikro dan filtrasi membran, membran yang digunakan adalah membran keramik. Pada penelitian ini penyisihan untuk senyawa amonia (tanpa campuran kedua logam lainnya) dengan proses tersebut didapat kesimpulan bahwa persentase penyisihan amonia sangat kecil dibandingkan pemisahan kedua logam lainnya, yaitu sekitar 17,07%. Hal ini dikarenakan sifat amonia yang kurang reaktif terhadap ozon, sehingga masih banyak sekali jumlah amonia yang tersisa, dan proses oksida lanjut terhadap senyawa amonia kurang efektif digunakan pada senyawa amonia.

Diana Beauty, tahun 2010 melakukan penelitian pemisahan amonia dari limbah cair dengan menggunakan membran serat berongga dan absorben pelarut bahan alam yaitu Air Ciater. Pada penelitian ini, didapat kesimpulan, dengan membandingkan pelarut asam sulfat dan pelarut bahan alam, yang memiliki nilai pemisahan yang terbaik adalah dengan pelarut bahan alam, yaitu sekitar 35%. Hal ini dimungkinkan karena masih terkadungnya ion-ion negatif yang dapat mengurangi tahanan perpindahan massa pada fasa larutan penyerap. Dan didapatkan pH absorben optimum untuk pemisahan amonia yaitu pada pH 0,7.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pemisahan amonia dengan proses *hibrid* membran serat berongga dan ozonasi dengan air Ciater sebagai pelarut.

Penelitian yang dilakukan adalah pemisahan amonia dengan cara ozonasi, pemisahan amonia dengan proses hibrid membran dan ozonasi pada kondisi operasi serta variabel yang sama seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Diana Beauty. Variabel tetap yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi limbah sintetik amonia yaitu 200 ppm. Sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini adalah pH dari pelarut bahan alam yang digunakan.

Dengan membandingkan data yang didapatkan dari proses pemisahan amonia dengan proses ozonasi, proses membran, dan proses hibrid ozonasi dan membran, maka dapat diambil kesimpulan mengenai proses yang paling efektif untuk pemisahan amonia dari air limbah.

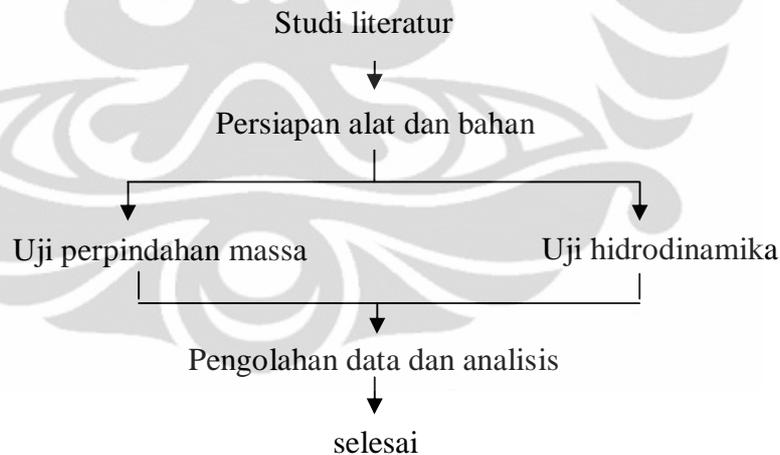


BAB 3 METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah memisahkan amonia yang terkandung dalam air dengan cara sistem hibrid (gabungan) membran serat berongga dengan fasa cair absorben bahan alam, dan proses ozonasi. Dalam studi ini akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serat berongga dan sifat hidrodinamika air dari proses penyisihan amonia terlarut tersebut. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Lantai 2 Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

3.1 Prosedur Penelitian

Secara garis besar penelitian akan dilakukan menjadi lima bagian yaitu studi literatur, persiapan alat dan bahan, uji perpindahan massa, uji hidrodinamika, serta pengolahan data dan analisa. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, bisa dilihat pada Gambar 3.1, dengan penjabaran dibawah ini.



Gambar 3.1. Skema Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Pada studi literatur dilakukan dengan mencari teori serta referensi dari buku, jurnal maupun artikel terutama mengenai kontaktor membran serat berongga dan ozonasi, sifat-sifat amonia, dan bahaya yang dapat ditimbulkan,

serta cara-cara pengolahan amonia secara konvensional. Penjelasan lebih lengkap terdapat pada Bab II.

3.1.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada persiapan alat, yang digunakan adalah kontaktor membran serat berongga, ozonator dan juga amonia meter. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelarut bahan alam sebagai absorben dan limbah amonia sintetis dengan konsentrasi amonia sebesar 200 ppm.

3.1.3 Uji Perpindahan Massa dan Hidrodinamika Air

Pada penelitian ini dilakukan variasi pH absorben (pelarut bahan alam), yaitu diatur pada pH 2, 1, dan 0,7. Data perubahan konsentrasi amonia pada berbagai variasi pH tersebut digunakan untuk mengetahui koefisien perpindahan massa. Data perubahan tekanan pelarut sebelum dan sesudah melewati kontaktor digunakan untuk studi hidrodinamika yaitu faktor friksi.

3.1.4 Analisa Data dan Penulisan Laporan

Langkah selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa dan studi hidrodinamika seperti bilangan Reynolds dan faktor friksi.

3.2 Deskripsi Penelitian

Dalam deskripsi penelitian dijabarkan mengenai peralatan dan bahan yang digunakan.

3.2.1 Persiapan Alat yang Digunakan

Pada penelitian ini peralatan utama yang digunakan adalah kontaktor membrane serat berongga, dan ozonator.

1. Membran Serat Berongga

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran serat berongga dengan material polipropilen, dengan ukuran modul:

- diameter selongsong : 1,6 cm

- diameter serat : 0,2 cm
- panjang membran : 47 cm,
- jumlah serat : 22 serat.

2. Ozonator

Spesifikasi:

- Satu CD-Chamber
- Panjang: 43 cm
- Diameter selongsong : 4,53 cm
- Tebal : 0,47 cm
- Kondisi optimum :
 - o Laju alir : 600 L/jam
 - o Kapasitas daya : 13,92 Watt
 - o 0,2 % O₂ terkonversi menjadi ozon, laju alir 0,3 g/jam
 - o Konsumsi energi sebesar 0,046 kWh

3.2.2 Persiapan Bahan yang Digunakan

1. Larutan Amonia 200 ppm

Pada penelitian ini amonia sebagai limbah sintetik yang akan digunakan dibuat dari ammonium sulfat pure analysis. Amonia sebagai gas NH₃ yang digunakan pada penelitian ini memiliki konsentrasi 200 ppm dalam 5 liter air yang dibuat dengan cara sebagai berikut:

1. Ditimbang dengan teliti 3,88 gram ammonium sulfat
2. Dimasukkan ke dalam wadah labu ukur 1 L dan dilarutkan hingga tepat tanda tera aquadest (kemudian dilanjutkan dengan pengenceran 4 liter air Aquadest)
3. Diaduk hingga homogen

2. Pelarut bahan alam

Pada penelitian ini larutan penyerap yang digunakan adalah pelarut bahan alam yang sama dengan penelitian sebelumnya, dan telah dikarakterisasi untuk mengetahui kandungan ion apa saja yang terkandung didalamnya, dan diketahui bahwa pelarut bahan alam mengandung amonia dalam jumlah kecil, sekitar 50 ppm. Maka dilakukan pemanasan terlebih

dahulu untuk menguapkan amonia tersebut, sehingga pelarut bahan alam dapat digunakan secara lebih efektif sebagai absorben.

Pelarut bahan alam yang telah dipanaskan sebelum digunakan, didinginkan terlebih dahulu, dan kemudian ditambahkan asam sulfat pekat (96%) hingga mencapai pH tertentu sesuai dengan variasi pH yang diinginkan. Dalam proses pemisahan, pelarut bahan alam dibiarkan mengalir dengan sendirinya tanpa bantuan pompa dan diatur pembukaan *valve* sehingga laju pelarut bahan alam sekitar 0,01 lpm. Dalam sekali running, volume pelarut bahan alam yang diperlukan sekitar 2 liter.

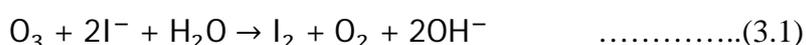
Kontaminan logam pada sumber pelarut bahan alam berjumlah sangat kecil sehingga dapat diasumsikan tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada proses perpindahan massa maupun reaksi kesetimbangan amonia pada modul membran serat berongga. Wadah pelarut bahan alam tertutup rapat sehingga komposisi dan karakteristik dari pelarut bahan alam tidak berubah secara signifikan. Konsentrasi ion logam yang sangat kecil tersebut tidak akan mampu menyebabkan pengendapan pada dasar wadah karena tidak memenuhi syarat pengendapan, yaitu konsentrasi harus melebihi kelarutan (Diana, 2010).

3.3 Prosedur Penelitian

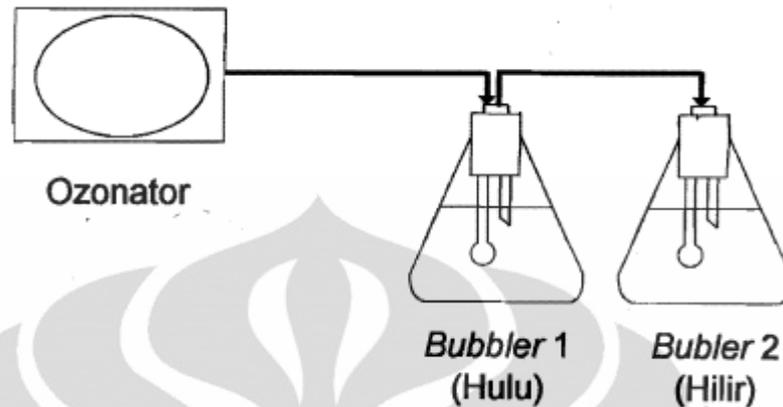
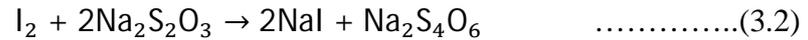
Pada prosedur penelitian, dilakukan uji produktivitas ozonator, uji perpindahan massa, dan hidrodinamika.

3.3.1 Uji Produktivitas Ozonator

Uji produktivitas ozonator ini menggunakan metode iodometri. Metode iodometri ini berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI. Penggunaan metode iodometri dilakukan untuk menentukan kadar ozon dalam bentuk gas, dimana ion iodida akan teroksidasi menjadi iodium. oleh ozon dalam larutan buffer kalium iodida. pH larutan tersebut menjadi 2 dengan dengan pelarut bahan alam dan pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat. Reaksi ozonasi kalium iodida adalah sebagai berikut (Day dan Underwood, 1991):



Pembebasan iodium (I_2) dititrasi dengan natrium tiosulfat:



Gambar 3.2. Skema Uji Produktifitas Ozonator

3.3.1.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Ozonator
2. Buret 50 mL dan statip
3. Botol aqudest
4. Stopwatch
5. Piala gelas 500 mL
6. Erlenmeyer 500 mL dan 1000 mL
7. Gelas ukur 10 mL dan 50 mL
8. Labu takar 250 mL dan 1000 mL

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Larutan kalium iodida 2%
2. Larutan natrium thiosulfat 0,005N
3. Pelarut bahan alam 2N
4. Aquadest
5. Indikator amilum 1 %

3.3.1.2 Prosedur Percobaan:

1. Disiapkan 2 buah erlenmeyer 500 mL dan *gas washing bubbler (bubbler)* yang terdiri dari hulu dan hilir. Ditambahkan 200 mL KI 2% ke dalam

masing-masing erlenmeyer tersebut. Tutup dengan *gas washing bubbler* (*bubbler*) dan disambungkan dengan selang ke bagian ozonator.

2. Dinyalakan ozonator dan stopwatch, kemudian diamati sampai larutan mangasilkan warna kuning baik di hulu maupun hilir.
3. Apabila sudah terbentuk warna kuning, selanjutnya mematikan ozonator dan stopwatch. Catat waktu yang dibutuhkan sampai terjadinya perubahan warna menjadi kuning.
4. Kemudian larutan tersebut ditambahkan dengan H_2SO_4 2N dan dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,005 N. Penitaran dilakukan sampai warna larutan kuning menjadi sedikit kuning muda. Kemudian ditambahkan dengan indikator amilum sehingga larutan menjadi warna biru, lanjutkan penitaran sampai larutan tidak berwarna. Penitaran dilakukan untuk sampel hulu dan hilir.
5. Dicatat volume titrasi yang diperoleh kemudian lakukan perhitungan.

Gambar 3.6 merupakan skema alat percobaan produktivitas ozonator.

3.3.2 Uji Perpindahan Massa dan Hidrodinamika

Dalam penelitian ini eksperimen yang dilakukan seperti pada Gambar 3.3, 3.4, dan Gambar 3.5. Akan diambil data perbedaan tekanan air yang masuk ke dalam kontaktor membran dan tekanan air yang keluar dari kontaktor membran dengan manometer untuk setiap laju sirkulasi. Untuk menentukan jumlah amonia terlarut digunakan alat amonia meter.

Studi perpindahan massa dilakukan dengan menghitung nilai koefisien perpindahan massa dan fluks massa dengan menggunakan data perubahan konsentrasi amonia terlarut. Sedangkan studi hidrodinamika dilakukan dengan menghitung nilai bilangan tidak berdimensi seperti bilangan Reynold (Re). Nilai friksi (f) dengan menggunakan data perbedaan tekanan air sebelum dan setelah melewati membran.

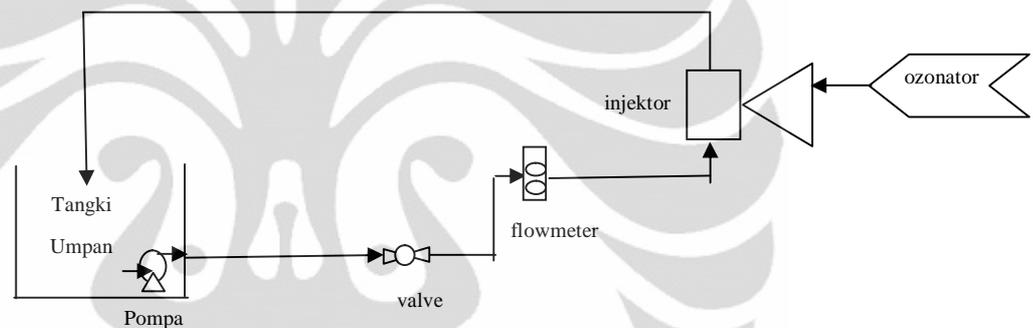
Data perubahan konsentrasi amonia terlarut pada air akan dibuat korelasi perpindahan massa sebagai fungsi karakteristik aliran cairan yang terjadi di dalam kontaktor membran serat berlubang. Data penurunan tekanan yang terjadi akan dibuat korelasinya dengan kecepatan aliran dan juga karakteristik alirannya.

Faktor friksi aliran di dalam kontaktor juga dapat dihitung dari penurunan tekanan tersebut sehingga faktor ini dapat dikorelasikan dengan karakteristik aliran.

3.3.2.1 Uji Perpindahan Massa

Pada uji perpindahan massa terdiri dari tiga proses, yaitu proses penyisihan amonia dengan ozonasi, proses penyisihan amonia dengan membran, dan proses penyisihan amonia dengan proses hibrid membran dan ozonasi.

3.3.2.1.1 Proses Penyisihan Amonia dengan Ozonasi

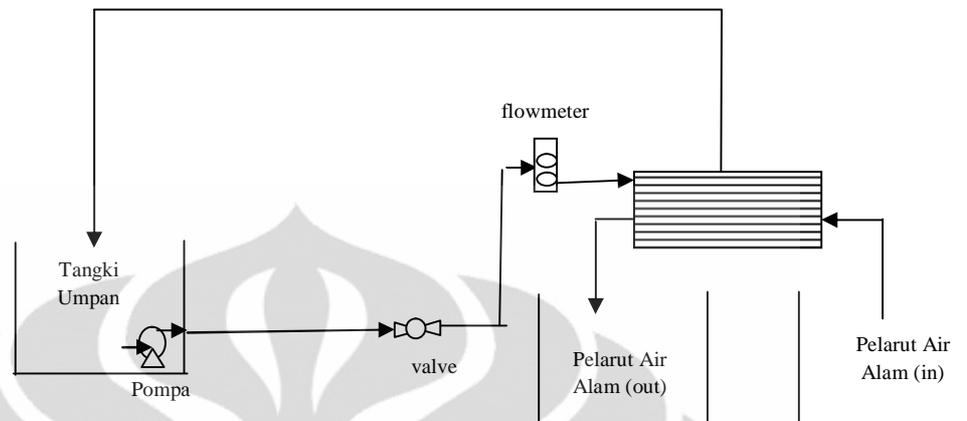


Gambar 3.3. Skema Peralatan Proses Ozonasi

Amonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian memiliki konsentrasi inlet 200 ppm, dan pH dijaga pada 11. Kemudian amonia ini dipompakan melewati injektor, untuk dikontakkan dengan ozon dari ozonator yang kemudian akan kembali kedalam bak penampung, dan terjadi berulang.

Larutan amonia yang telah mengalami siklus dan berada pada bak penampung, akan diukur konsentrasinya dengan menggunakan amonia meter setiap selang waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam.

3.3.2.1.2 Proses Penyisihan Amonia dengan Membran



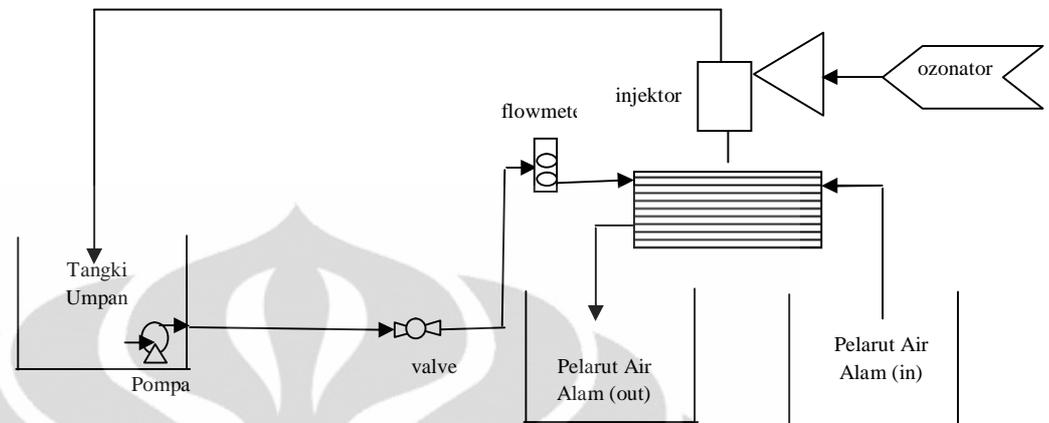
Gambar 3.4. Skema Peralatan Proses Membran

Prosedur yang dilakukan pada penyisihan amonia dengan cara membran sama dengan proses penyisihan amonia dengan ozonator saja, namun pada proses ini, limbah hanya dilewatkan pada membran serat berongga.

Amonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian adalah amonia pure analisis dengan konsentrasi inlet 200 ppm dengan pH dijaga pada pH 11. Kemudian amonia ini dipompakan ke dalam shell (selongsong Acrylic) yang laju alirnya diatur menggunakan *valve* menjadi 5 lpm yang dapat dibaca pada alat flowmeter. Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan penyerap pelarut bahan alam dengan pH 1, kedalam *tube* (membran polipropilen).

Larutan amonia yang telah keluar dari selongsong akan kembali kedalam bak penampung dan akan dialirkan lagi kedalam selongsong membran serat berongga, dan terjadi berulang. Larutan amonia yang telah mengalami siklus dan berada pada bak penampung, akan diukur konsentrasinya dengan menggunakan amonia meter setiap selang waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam. Proses ini dilakukan dengan variasi pH pelarut bahan alam yaitu 2, 1, dan 0,7.

3.3.2.1.3 Proses Penyisihan Amonia dengan Membran dan Ozonasi



Gambar 3.5. Skema Peralatan Proses Hibrid Membran dan Ozonasi

Prosedur yang dilakukan pada penyisihan amonia dengan cara membran dan ozonator sama dengan proses penyisihan amonia dengan ozonator atau dengan membran saja, namun pada proses ini, digabungkan antara proses ozon dan membran.

Amonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian adalah amonia pure analisis dengan konsentrasi inlet 200 ppm dengan pH dijaga pada pH 11. Kemudian amonia ini dipompakan ke dalam shell (selongsong Acrylic) yang laju alirnya diatur menggunakan *valve* menjadi 5 lpm yang dapat dibaca pada alat flow meter. Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan penyerap pelarut bahan alam dengan pH tertentu sesuai dengan variasi yang telah ditentukan kedalam *tube* (membran polipropilen). Membran polipropilen bersifat hidrofobik dan mempunyai pori, sehingga dengan adanya perbedaan konsentrasi gas amonia pada membran dan selongsong akan menyebabkan gas amonia dalam selongsong bergerak menuju pori-pori membran kemudian akan melewati pori-pori dan masuk ke bagian dalam serat membran yang kemudian diserap oleh larutan pelarut bahan alam.

Larutan amonia yang telah keluar dari selongsong akan di injeksikan ozon dari ozonator, yang kemudian akan kembali kedalam bak penampung dan akan dialirkan lagi kedalam selongsong membran serat berongga, dan terjadi berulang. Larutan amonia yang telah mengalami siklus dan berada pada bak penampung, akan diukur konsentrasinya dengan menggunakan amonia meter setiap selang

waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam. Proses ini dilakukan dengan variasi pH pelarut bahan alam yaitu 2, 1, dan 0,7.

Disamping itu juga dilakukan pengukuran perbedaan tekanan fluida dengan menggunakan alat manometer digital pada aliran masuk dan keluar selongsong. Pengambilan data konsentrasi dan perbedaan tekanan ini dilakukan untuk setiap variasi laju alir 3,4,dan 5 lpm.

3.3.2.1.4 Menghitung koefisien perpindahan massa

Perpindahan amonia melewati tiap satuan serat membran dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_L \left(-\frac{dC_L}{dz} \right) = K \cdot a \cdot (C_L - C^*) \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Tekanan amonia pada fasa gas sama dengan tekanan amonia pada serat sehingga konsentrasi amonia pada fasa interface (C^*) cenderung konstan, sangat kecil dan dapat diabaikan. Pada laju alir gas yang sangat kecil di dalam serat penurunan tekanan sepanjang serat dapat diabaikan dan diasumsikan tekanan konstan.

Jika pengaruh konsentrasi amonia terlarut (C_L) konstan maka batas kondisi $C_L=C_1$ pada $Z=0$ dan $C_L=C_2$ pada $Z=L$ diaplikasikan, dan integrasi persamaan akan menghasilkan persamaan berikut ini:

$$\int_{C_L=C_1 \rightarrow \text{pada } z=0}^{C_L=C_2 \rightarrow \text{pada } z=L} -\frac{dC_L}{(C_L-C^*)} = \int_{z=0}^{z=L} \frac{K a}{v_L} dz \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

$$[-\ln(C_1 - C^*)]_{C_1}^{C_2} = \frac{KaL}{v_L} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\ln \left(\frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*} \right) = \frac{KaL}{v_L} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\ln \left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*} \right) = -\frac{KaL}{v_L} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*} \right) = \exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

$$C_2 - C^* = (C_1 - C^*) \times \exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

$$C_2 = C^* + (C_1 - C^*) \times \exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

Luas permukaan spesifik (a) telah diketahui nilainya dalam modul serat berlubang dan siap dihitung dari jumlah dan ukuran serat serta dimensi modul. Apabila reservoir air dicampur dengan baik maka neraca massa pada reservoir adalah:

$$V \left(-\frac{dC_1}{dt} \right) = QC_1 - QC_2 \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

Substitusi C2 dari persamaan diatas dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut:

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{Q}{V} \left[C^* + (C_1 - C^*) \exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - (C_1) \right] \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{Q}{V} \left[(C_1 - C^*) \exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - (C_1 - C^*) \right] \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\frac{dC_1}{(C_1 - C^*)} = \frac{Q}{V} \left[\exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - 1 \right] \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

Integrasi pada batas kondisi $t=0, C_1=0$ dan $t=t, C_1=C$ memberikan hubungan konsentrasi terhadap waktu.

$$\int_{C_1=C_0 \rightarrow \text{pada } t=0}^{C_1=C \rightarrow \text{pada } t=t} \frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[\exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - 1 \right] dt \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

$$\ln \left(\frac{C - C^*}{C_0 - C^*} \right) = \frac{Q}{V} \left[\exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - 1 \right] t \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

Dari persamaan ini koefisien perpindahan massa overall (K) dapat dicari dengan memplotkan $\ln \left[\frac{C - C^*}{C_0 - C^*} \right]$ vs t kemudian slope garis dapat dihitung, dengan demikian nilai K dapat diketahui dengan persamaan:

$$\text{slope} = \frac{Q}{V} \left[\exp \left(-\frac{KaL}{v_L} \right) - 1 \right] \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

$$K = \frac{-v_L}{aL} \left[\ln \left(\frac{V(\text{slope})}{Q} \right) + 1 \right] \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Dua asumsi yang diterapkan dalam dua persamaan diatas adalah:

- a. Waktu respon perhitungan amonia cukup cepat untuk mengatasi laju perubahan amonia secara akurat
- b. Asumsi umpan yang masuk ke dalam modul konstan harus realistis dengan konsentrasi amonia dalam reservoir yang berubah secara perlahan-lahan jika

dibandingkan dengan perubahan dengan perubahan konsentrasi di dalam modul

Kedua asumsi diatas dapat dipakai jika reservoir air dengan volume besar digunakan pada desain eksperimen, dengan $\frac{1}{K} = \frac{1}{KiL}$

Untuk menghitung fluks yang dihasilkan di setiap laju alir digunakan persamaan:

$$\partial = \frac{\Delta CV}{Am t} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

3.3.2.2 Uji Hidrodinamika

Studi ini mempelajari karakteristik atau hubungan antara bilangan reynold dengan faktor friksi (f) atau dengan *pressure drop* (ΔP). Perpindahan momentum dapat dijelaskan menggunakan faktor friksi, yang didefinisikan secara berbeda untuk koefisien perpindahan massa. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F = A_w \cdot (0.5\rho v^2) f \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana F merupakan gaya friksi, A_w adalah luas permukaan yang terbasahi serta ρ adalah densitas fluida dan f adalah faktor friksi.

3.3.2.2.1 Menghitung Faktor Friksi Modul

Nilai friksi modul diperoleh dengan menghitung nilai friksi pada setiap laju alir yang dilakukan. Hubungan penurunan tekanan dengan nilai faktor friksi:

$$f = \frac{de\Delta P}{4L_f(1/2)\rho v^2} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

3.3.2.2.2 Menghitung Faktor Friksi Literatur

Nilai friksi literatur diperoleh dari literatur pada laju alir yang digunakan pada penelitian.

$$\text{aliran laminar} : \quad f = \frac{16}{Re} \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

$$\text{aliran turbulen} : \quad f = \frac{0,0792}{Re^{1/4}} \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

3.3.2.2.3 Menghitung Nilai Friksi Rasio

Nilai friksi rasio ini diperoleh dari perbandingan antara nilai friksi modul dengan nilai friksi literatur.

$$\text{friksi rasio} = \frac{\text{friksi modul}}{\text{friksi literatur}} \quad \dots\dots\dots(3.25)$$



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

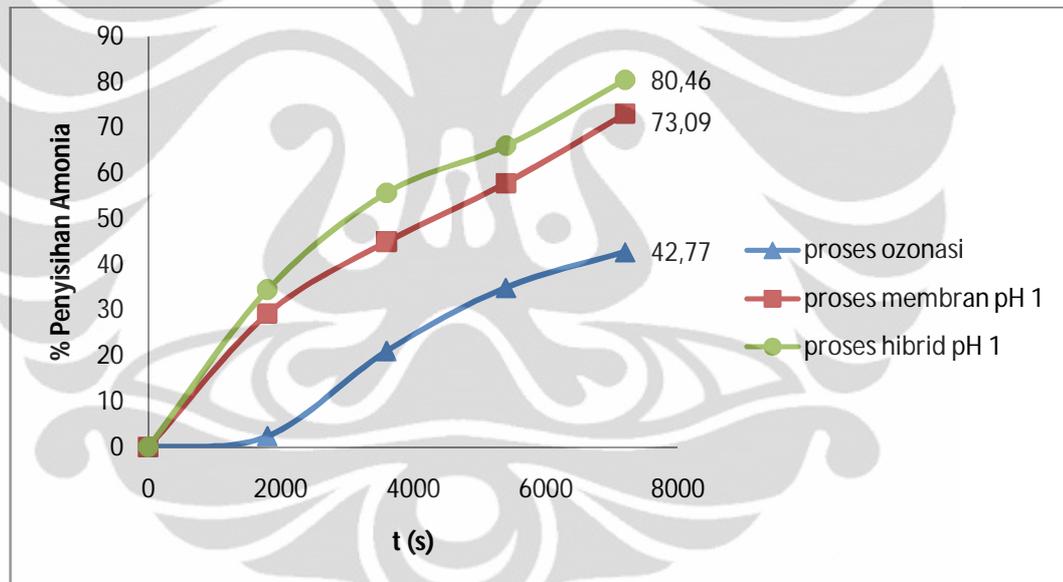
Pada penelitian ini dilakukan 3 pengujian, yaitu penyisihan amonia dengan menggunakan ozonator, penyisihan amonia dengan menggunakan membran, dan penyisihan amonia dengan menggunakan gabungan antara ozonator dan membran. Untuk mengetahui keefektivitasan penyisihan amonia terlarut dengan menggunakan ketiga proses tersebut diketahui dengan perbandingan % penyisihan NH_3 . Selain itu dapat diketahui juga perbandingan nilai koefisien perpindahan massa antara penyisihan amonia proses tunggal membran dengan proses hibrid membran dan ozonator. Dan pada penyisihan amonia dengan proses hibrid sendiri, dilakukan variasi terhadap pH pelarut bahan alam, yaitu pada pH 2, 1, dan 0,7 sehingga dapat diketahui tingkat keefektivitasan yang terbaik dari masing-masing variasi. Dari keseluruhan proses penyisihan dapat dibandingkan tingkat keefektivitasan yang terbaik antara masing-masing proses penyisihan, dan merupakan bagian dari studi perpindahan massa. Sedangkan studi hidrodinamika dapat ditinjau dari pengaruh aliran terhadap efektifitas kinerja membran dengan cara melihat faktor friksi yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Faktor friksi ini berhubungan langsung dengan bilangan Reynolds yang menunjukkan jenis aliran yang terjadi.

Modul serat berongga yang digunakan bersifat hidrofobik, tidak terbasahi baik oleh amonia maupun larutan asam. Amonia berdifusi melewati pori pada membran, sehingga konsentrasi amonia berkurang seiring dengan berjalannya waktu. Sampel dari amonia diukur dengan menggunakan amonia meter bermerk Palintest UK, pengambilan sampel dilakukan setiap 30 menit selama waktu sirkulasi 2 jam. Perubahan konsentrasi ini digunakan untuk mengukur perpindahan massa keseluruhan, k_{ov} , sebagai sarana pengkajian perpindahan massa.

4.1 Penyisihan Amonia Terlarut dalam Limbah Sintetis

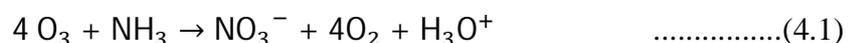
Percent (%) Penyisihan menunjukkan keefektivitasan atau kemampuan dari absorben dalam mengabsorpsi amonia, semakin tinggi nilai % penyisihan, semakin baik pula performa dari suatu absorben. Penyisihan amonia terlarut dalam limbah sintetis dapat dilihat dari % perubahan konsentrasi amonia selama perubahan waktu didalam wadah limbah amonia. Keefektifan yang ditinjau pada penelitian ini adalah pengaruh jenis proses penyisihan amonia yang dilakukan pada laju limbah yang sama, pengaruh variasi pH absorben terhadap proses penyisihan hibrid dengan laju limbah yang sama yaitu 5 lpm.

Berikut adalah grafik penyisihan amonia dengan membandingkan proses yang dilakukan, yaitu dengan proses ozonasi, proses membran dengan pH absorben 1, dan proses hibrid dengan pH absorben 1.



Gambar 4.1. Variasi % penyisihan amonia pada masing-masing proses terhadap waktu

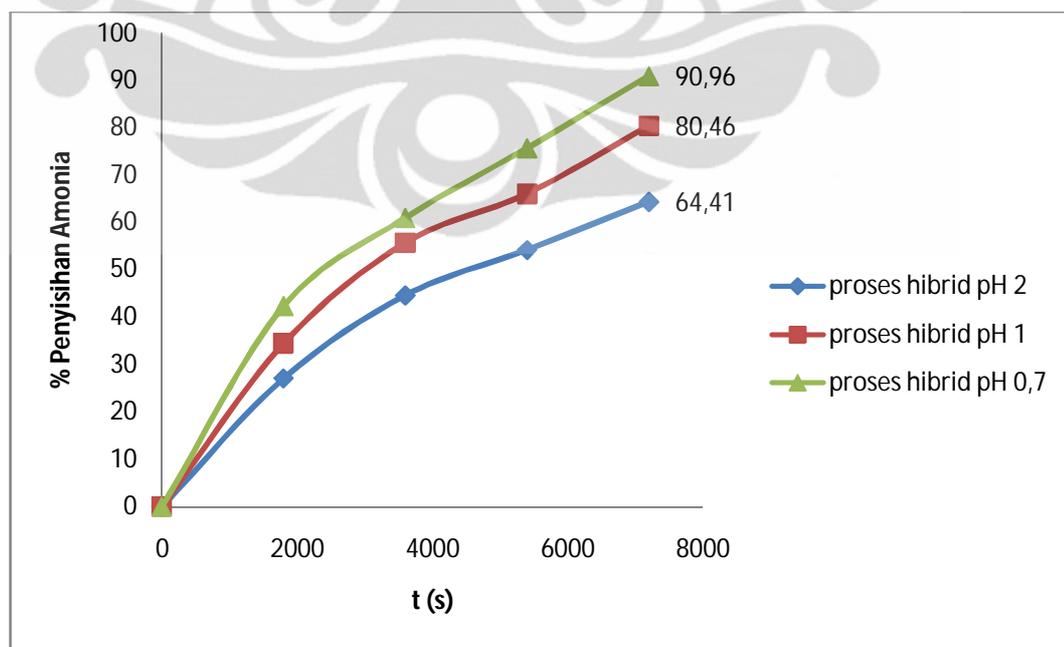
Dari Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa dalam penyisihan amonia dengan proses ozonasi memiliki % penyisihan terkecil dibandingkan dengan proses membran dan proses hibrid, hal ini dikarenakan amonia dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar $20 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ dengan $t_{1/2} = 96$ jam (pada pH 7; konsentrasi ozon 1 mg/L). Berikut merupakan reaksi antara amonia dengan ozon :



Sedangkan oksidasi amonia proses oksidasi amonia oleh OH radikal dapat berlangsung lebih cepat yaitu $9,7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ (Rahmawati, 2010). Dengan $t_{1/2}$ yang cukup lama tersebut, mengakibatkan tidak maksimalnya oksidasi amonia oleh ozon, dan amonia lebih reaktif terhadap OH radikal. Namun, akibat konstanta laju oksidasi OH radikal dengan NH_3 relatif kecil jika dibandingkan konstanta laju oksidasi OH radikal dengan senyawa organik maupun anorganik lainnya, sehingga penyisihan amonia lebih kecil jika dibandingkan penyisihan senyawa lainnya (seperti : nitrat, sianida maupun besi) dengan oksidasi OH radikal.

Sesuai dengan Gambar 4.1 proses hibrid memiliki nilai % penyisihan amonia yang lebih baik diantara proses tunggal baik dengan ozonasi atau dengan membran saja. Hal ini dikarenakan, dengan digabungkannya proses ozonasi dengan membran, dapat membantu beban penyisihan amonia yang dilakukan oleh membran, karena setidaknya ada sebagian amonia yang telah terurai dengan bantuan ozon yang dihasilkan oleh ozonator. Dengan adanya ozon, membantu kesetimbangan antara amonia dengan amonium bergeser kearah amonia.

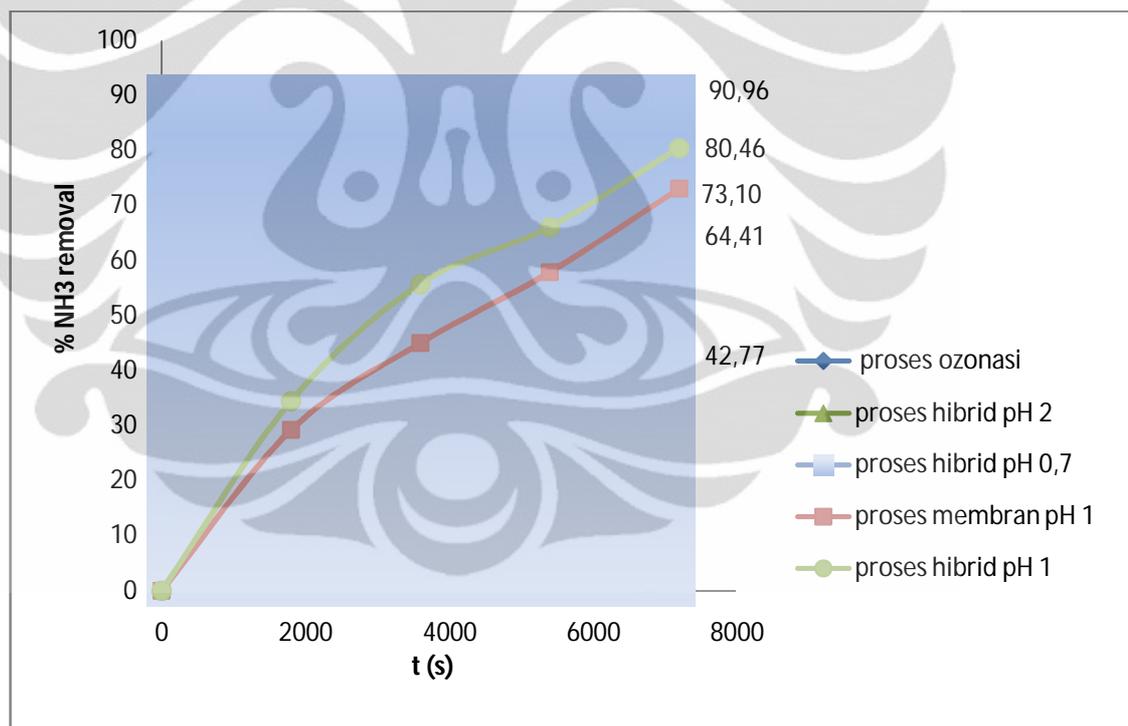
Pada penyisihan amonia, pH absorben juga menjadi salah satu faktor penting untuk meningkatkan % penyisihan amonia, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2, mengenai pengaruh pH absorben terhadap % penyisihan amonia yang dilakukan pada proses hibrid dan laju air limbah yang sama yaitu 5 lpm.



Gambar 4.2. Variasi % penyisihan amonia pada berbagai pH absorben terhadap waktu

Dari Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa pengaruh pH absorben terhadap nilai efisiensi penyisihan amonia memberikan perbedaan yang cukup signifikan pada masing-masing proses penyisihan. Semakin rendah pH absorben, maka akan semakin tinggi penyisihannya, berdasar pengolahan data pada Lampiran 2, efisiensi penyisihan tertinggi pada penelitian ini adalah pada variasi pH absorben 0,7 dengan laju alir 5 lpm, yakni sekitar 91%. Berdasar pada literatur (Xie, 2009) diperoleh bahwa pada kondisi dan temperatur yang baik, sekitar 75 °C, performa penyisihan amonia dapat mencapai efisiensi 97%.

Terdapat banyak faktor yang menjadi penyebab relatif kurang maksimalnya % penyisihan yang diperoleh pada penelitian ini, di antaranya adalah pH feed amonia yang kurang stabil terjaga pada pH yang sama (pH 11), dan juga pH absorben yang berubah seiring waktu proses penyisihan berlangsung.



Gambar 4.3. Hubungan % Penyisihan amonia terhadap waktu

Dengan membandingkan nilai % penyisihan secara keseluruhan, dapat dilihat pada Gambar 4.3, bahwa proses penyisihan amonia yang memiliki nilai penyisihan terbesar adalah dengan proses hibrid membran dan ozonasi dengan pH absorben 0,7 dengan nilai % penyisihan sebesar 91%. Hal ini dikarenakan dari

proses penyisihan yang menggabungkan antara ozonator dan membran, sehingga penyisihan pun lebih sempurna, dan juga pengaruh keasaman absorben yang turut mempengaruhi perpindahan massa pada penyisihan amonia dari limbah sintetis.

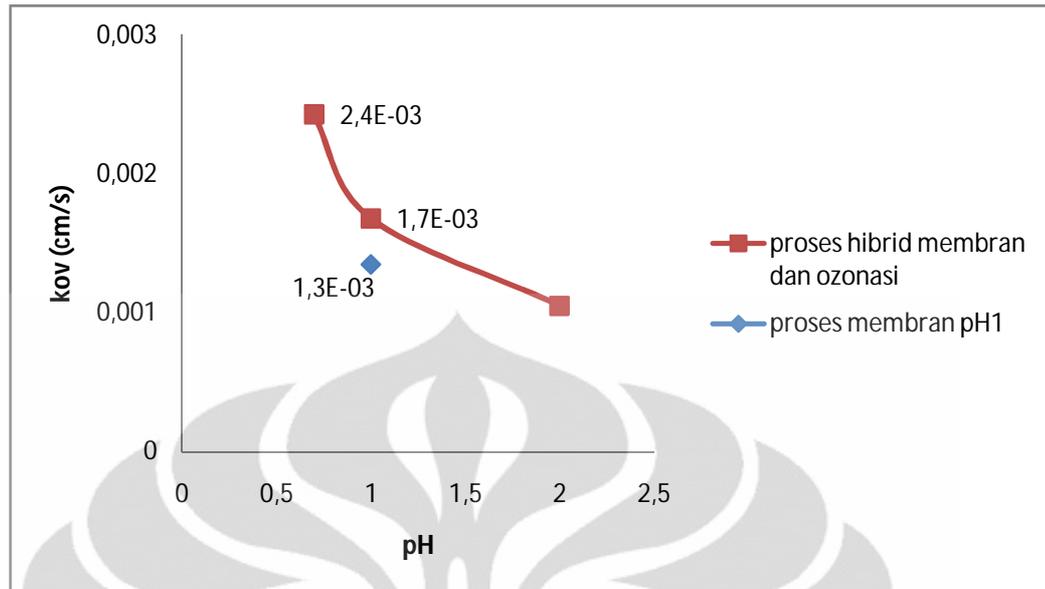
4.2 Studi Perpindahan Massa

Pada studi perpindahan massa dapat dipelajari pengaruh pH absorben terhadap perpindahan massa, perbandingan proses penyisihan amonia antara proses membran dengan proses hibrid membran dan ozonasi terhadap perpindahan massa, dan juga pengaruh pH terhadap fluks yang terjadi pada proses penyisihan.

4.2.1 Pengaruh pH Absorben Terhadap Perpindahan Massa

Pelarut bahan alam divariasikan keasamannya menjadi pH 2, 1, dan 0,7 diperoleh dengan cara menambahkan asam sulfat pekat 96 % (v/v), dengan data dapat dilihat pada Lampiran 1. Pengaruh variasi pH dapat terlihat dari nilai koefisien perpindahan massa yang diperoleh. Nilai koefisien perpindahan massa diperoleh dengan cara mengalikan *slope* grafik konsentrasi amonia terhadap waktu dengan volume limbah umpan, kemudian dibagi dengan luas permukaan membran. Untuk perhitungan dan grafik yang lebih lengkap terdapat pada Lampiran 2.

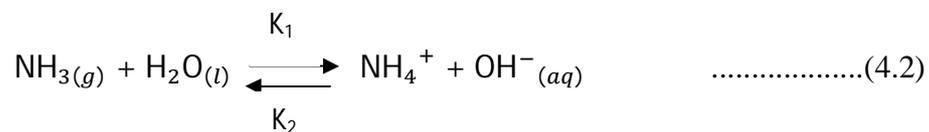
Namun metode diferensiasi mutlak seperti cara diatas, tak dapat dielakkan akan membawa kepada kesalahan eksperimental yang cukup besar (Semmens, 1990). Untuk mengetahui pengaruh pH terhadap nilai koefisien perpindahan massa, digunakan data proses penyisihan amonia dengan menggunakan proses hibrid dengan laju limbah yang sama, namun variasi pH yang berbeda, seperti pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4. Hubungan pH terhadap Koefisien Perpindahan Massa

Dari Gambar 4.4 diatas, dapat dilihat bahwa semakin rendah pH absorben, semakin besar koefisien perpindahan massa. Hal ini dikarenakan, semakin rendah pH absorben berarti semakin banyak kandungan ion sulfat dalam absorben sehingga absorben semakin bersifat asam, dan dilain sisi, limbah amonia dijaga pada pH 11 atau basa, maka gas amonia tersebut dapat diabsorpsi oleh absorben. Sehingga semakin asam suatu absorben, semakin optimal pula absorpsi yang terjadi.

Proses penyisihan amonia ini terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi molekul amonia yang berada pada *shell* dengan konsentrasi molekul amonia pada *lumen* atau serat membran. Perbedaan konsentrasi ini akan mendorong molekul amonia untuk berdifusi melalui permukaan membran ke dalam pelarut bahan alam yang berada di dalamnya. Berikut adalah reaksi kesetimbangan amonia dalam air:



Pada reaksi diatas, nilai K_1 sebesar $1,8 \times 10^{-5}$, sedangkan nilai K_2 sebesar $5,6 \times 10^{-10}$. Dengan kata lain, reaksi pembentukan ion amonium dan hidroksida 32.142,86 kali lebih besar daripada reaksi pembentukan amonia dan air. Maka sesuai dengan hukum Le Chatelier, untuk mendapatkan lebih banyak hasil produk

di ruas kiri, konsentrasi reaktan di sebelah kanan perlu ditingkatkan. Salah satu caranya dalam kasus ini adalah menambahkan basa, yakni NaOH (Natrium Hidroksida) pekat hingga tercapai pH 11. Peningkatan pH larutan akan menggeser arah kesetimbangan ke kiri sehingga konsentrasi gas amonia terlarut yang hendak diabsorpsi oleh air panas alam akan semakin tinggi.

Dengan membandingkan nilai koefisien perpindahan massa antara penyisihan amonia dengan proses membran dan proses hibrid, dapat diketahui proses hibrid lebih efektif digunakan untuk penyisihan amonia dari limbah sintetis, dapat dilihat pada Gambar 4.5, pengaruh proses penyisihan terhadap penyisihan amonia.

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa penyisihan amonia dengan menggunakan pelarut bahan alam pH 1, menggunakan proses hibrid membran dan ozonasi memiliki nilai koefisien perpindahan massa yang lebih besar dibandingkan dengan penyisihan amonia dengan cara proses membran saja, hal ini dikarenakan dengan proses hibrid beban penyisihan amonia yang dilakukan oleh membran sudah dibantu oleh ozon dalam memecah amonia yang terkandung didalam air limbah, sehingga didalam air limbah kandungan amonia sudah banyak yang berbentuk gas dan memudahkan penyisihan didalam membran.

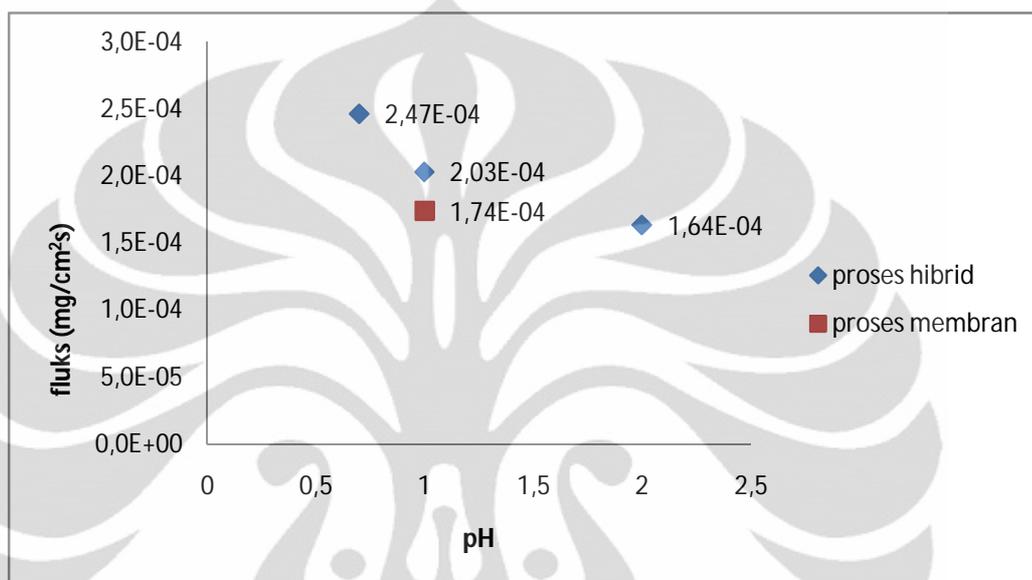
Selain itu, dengan adanya ozon, maka akan mudah terbentuk OH radikal yang mampu mengoksidasi amonia, dan juga mudah membentuk OH^- sehingga seperti pada persamaan (4.2) kesetimbangan akan bergeser kekiri, kearah amonia. Dan dengan bertambahnya kandungan amonia pada limbah, menyebabkan meningkatnya perbedaan konsentrasi amonia pada limbah dan absorben, sehingga proses difusi lebih mudah terjadi.

4.2.2 Pengaruh pH Absorben Terhadap Fluks

Fluks adalah banyaknya jumlah amonia terpisahkan per luas area membran per satuan waktu. Pada penelitian ini, dilihat pengaruh perbedaan pH absorben terhadap besarnya fluks yang diperoleh. Dalam perhitungan fluks, beberapa faktor yang mempengaruhi adalah luas permukaan membran, selisih waktu yang digunakan, perbedaan konsentrasi yang diperoleh, dan laju limbah. Dan dikarenakan semua faktor diatas sama setiap variasi pH absorben, maka satu-

satunya faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai fluks adalah perbedaan konsentrasi yang diperoleh. Semakin besar perbedaan konsentrasi yang diperoleh dari waktu ke waktu terhadap konsentrasi awal amonia pada limbah, maka akan semakin tinggi fluks yang terjadi.

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang menunjukkan pengaruh pH absorben terhadap fluks.



Gambar 4.5. Pengaruh pH Absorben terhadap Fluks

Gambar 4.5 menunjukkan nilai rata-rata fluks yang diperoleh pada masing-masing pH pelarut bahan alam, berdasarkan hasil pengolahan data yang diambil setiap 30 menit, dengan memberikan nilai maksimum dan minimumnya. Terlihat bahwa semakin rendah pH pelarut bahan alam, semakin tinggi pula nilai fluks yang dihasilkan, dimana pH 0,7 menunjukkan nilai fluks tertinggi dibandingkan dengan pH 1 dan 2. Maka dapat dikatakan bahwa pH optimum perpindahan massa amonia melalui kontaktor membran serat berongga dengan pelarut bahan alam berdasarkan percobaan yang telah dilakukan adalah 0,7.

4.3 Studi Hidrodinamika

Proses absorpsi amonia oleh pelarut bahan alam di dalam modul tidak lepas dari berbagai pengaruh dinamika fluida. Faktor-faktor yang mempengaruhi seperti penurunan tekanan di dalam modul serta friksi atau gesekan yang ditimbulkan akibat gerak fluida terhadap dinding modul atau pun dinding serat. Pergerakan

dari fluida mencerminkan profil aliran fluida tersebut yang ditunjukkan bilangan Reynolds.

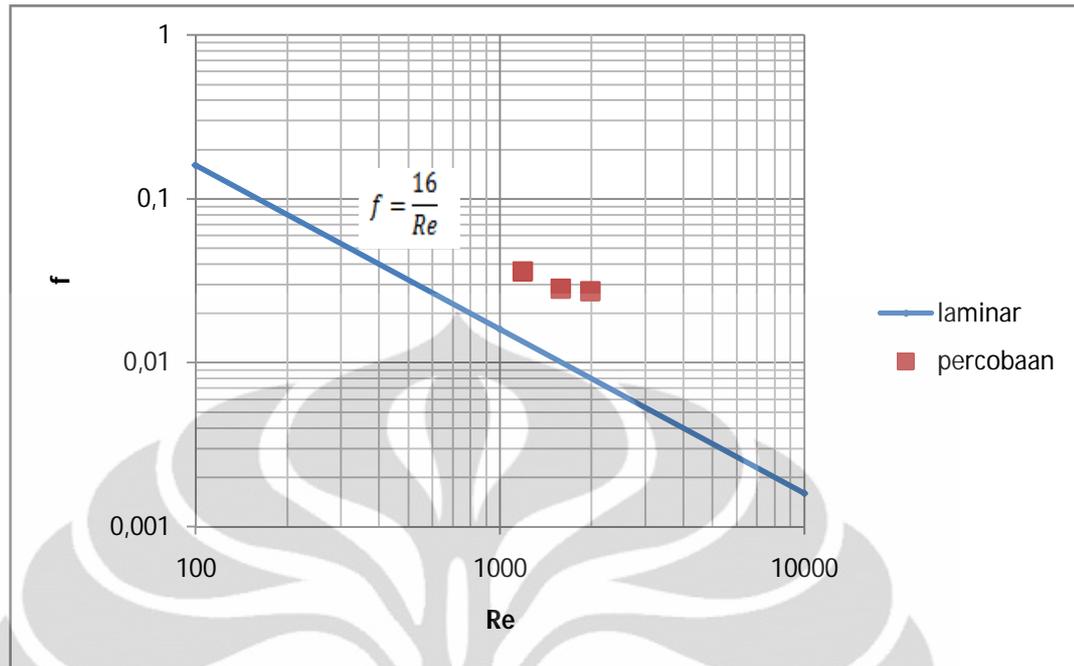
Pada Tabel 13 dan 14, Lampiran 2, semakin tinggi kecepatan sirkulasi, maka bilangan Reynold semakin besar, begitu juga penurunan tekanan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan aliran di dalam modul berarti jenis aliran tersebut makin ke arah turbulen dan kemungkinan terjadi friksi atau gesekan semakin besar sehingga mengakibatkan penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul semakin besar dan semakin tinggi penurunan tekanan yang terjadi maka gaya gesek akan semakin tinggi pula yang disebabkan tingginya kecepatan aliran. Faktor friksi yang terjadi semakin kecil, hal ini disebabkan faktor friksi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran sesuai dengan persamaan:

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2L_f \cdot \rho \cdot v^2} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dari persamaan (4.2) di atas, jelaslah bahwa untuk fluida dengan kecepatan yang tinggi, dan perbedaan penurunan tekanan yang tidak terlalu signifikan, maka gesekan yang ditimbulkan pun akan semakin tinggi yang disebabkan turbulensi fluida dimana friksi dapat dihasilkan dari gerak momentum antar fluida maupun dengan dinding modul. Faktor friksi yang dihasilkan semakin rendah yang disebabkan faktor friksi merupakan besaran yang berbanding terbalik dengan gaya kinetik suatu fluida yang bergerak.

Friksi literatur juga diperhitungkan untuk diperbandingkan dengan besar friksi yang terbentuk pada modul, atau biasa disebut dengan friksi rasio. Friksi literatur itu sendiri hanya dipengaruhi oleh jenis aliran yang terjadi di dalam modul, dapat dilihat pada bilangan Reynold.

Perbandingan antara friksi di dalam modul dengan friksi literatur disebut rasio friksi. Hubungan antara bilangan Reynolds dengan friksi literatur dari masing-masing laju alir dapat dilihat pada Gambar 4.6.

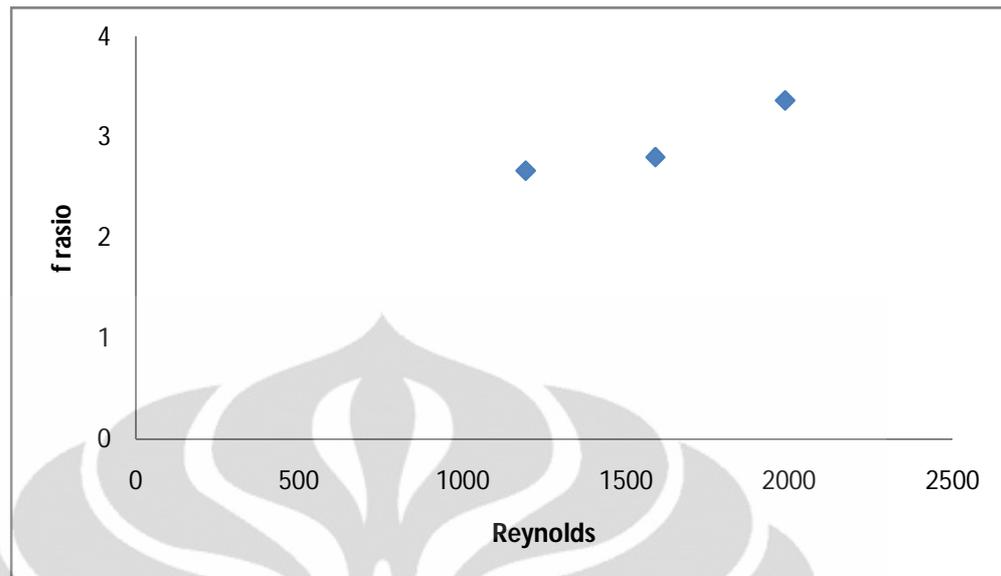


Gambar 4.6. Hubungan Bilangan Reynold dengan Nilai Friksi

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat hubungan faktor friksi terhadap besarnya bilangan Reynold yang bergantung pada kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula bilangan Reynold yang didapat, hal ini dikarenakan berdasar pada rumus:

$$Re = \frac{(d_e \times v)}{\mu_{kinematis}} \dots\dots\dots(4.4)$$

Karena nilai diameter ekivalen dan $\mu_{kinematis}$ konstan pada tiap pengujian, maka yang menjadi faktor utama adalah kecepatan alir. Dan bilangan Reynold berbanding lurus dengan kecepatan alir, semakin besar nilai v maka akan semakin besar pula bilangan Reynold yang didapat. Sedangkan bilangan Reynold dengan nilai faktor friksi berbanding terbalik, karena seperti pada persamaan Hagen-Poiseuille (4.4) untuk jenis aliran laminar, semakin besar bilangan Reynold maka akan semakin kecil nilai friksi yang terjadi.



Gambar 4.7. Hubungan Bilangan Reynold dengan f Rasio

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada aliran fluida yang bersifat turbulen, peningkatan bilangan Reynolds akan cenderung menaikkan rasio friksi. Berdasarkan bilangan Reynold, didapat karakter aliran yang terjadi adalah termasuk aliran laminar. Namun berdasarkan perhitungan nilai friksi, terlihat bahwa aliran yang terjadi selama eksperimen adalah aliran turbulen. Peningkatan rasio friksi pada aliran disebabkan besarnya perubahan faktor friksi pada modul lebih tinggi dibandingkan perubahan nilai friksi yang didapat dari perhitungan literatur yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds saja. Nilai friksi rasio 2 menandakan friksi yang dihasilkan pada eksperimen lebih besar 2 kali dibandingkan friksi literatur, begitu pula dengan nilai selanjutnya.

Pada Gambar 4.6 diketahui bahwa nilai rasio friksi berada pada rentang 2-3, hal ini berarti bahwa friksi yang terjadi selama eksperimen (friksi modul) lebih besar dibandingkan friksi yang seharusnya terjadi (friksi literatur) disebabkan nilai faktor friksi pada eksperimen dipengaruhi oleh banyak faktor seperti tahanan pada membran, geometris membran, keberadaan zat-zat pengotor di dalam modul, sambungan antara pipa dengan *acrylic* dan gesekan dengan permukaan membran.

BAB 5 KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Efektivitas penyisihan amonia dengan proses hibrid tergolong baik, bila dibandingkan dengan proses tunggal seperti dengan proses membran atau ozonasi saja, proses hibrid mampu menyisihkan amonia sebesar 91% pada pH absorben 0,7.
2. Semakin rendah pH absorben, efektivitas penyisihan amonia dari air limbah semakin meningkat. Variasi pH yang memberikan hasil paling optimal adalah pH absorben 0,7.
3. Pada studi hidrodinamika, didapat nilai rasio friksi hingga 3,4 pada laju alir sebesar 5 lpm, menunjukkan nilai friksi eksperimen lebih besar dari nilai friksi literatur.

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah:

1. Pelarut bahan alam baiknya dilakukan *pre-treatment* terlebih dahulu, mengingat adanya kandungan impurities pada pelarut, meskipun tergolong minoritas namun tentunya dapat mempengaruhi reaksi kimia yang berlangsung dalam modul kontaktor.
2. Peningkatan temperatur umpan amonia akan mampu memberikan efektivitas penyisihan amonia yang lebih baik, karena amonia volatil lebih banyak terkandung dalam limbah yang disebabkan sifat endotermis dari proses disosiasi ion amonium.
3. Penyisihan amonia mungkin akan lebih baik dengan menggunakan proses hibrid ozonasi dan membran serta dibantu dengan penggunaan katalis.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Gabelman, H. S. T. (1999). *Hollow Fibre Membrane Contactors*. *Journal of Membrane Science*, 159, 61-160.
- Alaerts, S. S. S. A. G. (1984). *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- B. Langlais, D. A. R., D.R. Brink. (1991). *Ozone in Water Treatment : Application and Engineering*.
- Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. London: Chapman Hall.
- Bird, B. (2002). *Transport Phenomena*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Chandra, D. (2009). *Pemisahan Amonia Terlarut dalam Air Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Asam Sulfat*. Universitas Indonesia, Depok.
- E.P., Moore. (1996). *Polypropyilene Handbook, Polymerization, Characterization, Properties, Processing, Applications*. New York: Hanser Publishers.
- G. Tchobanoglous, F. L. B. (Ed.). (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Greenwood, N. N., Earnshaw A. (1997). *Chemistry of The Elements*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hikmawan, T. (2009). *Proses Pengolahan Air yang Mengandung Tembaga, Timbal, dan Amonia dengan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran*. Universitas Indonesi, Depok.
- J. Mallevalle, P. E. O., M.R. Wiesner. (1996). *Water Treatment Membrane Processes*.
- J.L. Li, B. H. C. (2005). *Review of CO₂ Absorption Using Chemical Solvents in Hollow Fiber Membrane Contactors*. *Separation and Purification Technology*, 41(2), 109-122.

- M., J. Edward. (1950). *Chamber Process Manufacture of Sulfuric Acid* (Vol. 42): Industrial and Engineering Chemistry.
- Martina, V. R. (2005). *Proses Membran Keramik dan Ozonasi untuk Pengolahan Air Minum dari Air Olahan Air Danau UI*. Universitas Indonesia, Depok.
- Peinemann, S. P. N. a. K. V. (2001). *Membrane Technology in The Chemical Industry*: Wiley-VCH.
- Prastiono, I. (2010). *Membran Polipropilen*. Jakarta.
- R. Agustina, S. P., Tri Widiyanto (Ed.). (2009). *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jakarta.
- R.A. Jr. Day , A. L. U. (1991). *Quantitative Analysis*: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Registry, A. f. T. S. a. D. (2004). *Toxicological Profile for Ammonia*.
- Schlichter B. , M. V., Chmiel H. (Ed.). (2003). *Comparative Characterisation of Different Commercial UF Membranes for Drinking Water Production*: J. Water Supply Res. Technology.
- Suryani Mochamad, A. R., Munir. (1987). *Lingkungan: Sumber Daya Alam dan Kependudukan dalam Pembangunan*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Technology, N. I. o. S. a. (2008). *Isothermal Properties of Ammonia*.
- Timoti, H. (2005). *Aplikasi Teknologi Membran pada Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO)*: PT. Nawamanca Adhi Cipta.
- Wenten, I. G. (2002). *Ultrafiltration in Water Treatment and Its Evaluation as Pre-Treatment for Reverse Osmosis System*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

LAMPIRAN 1

DATA PENGAMATAN

1.1 Perhitungan Uji Produktivitas Ozonator

Ozonator yang digunakan, perlu dihitung produktivitasnya agar diketahui besarnya ozon yang dihasilkan oleh ozonator. Pengujian produktivitas ozon dilakukan duplo pada setiap nilai voltase, dan laju udara yang digunakan sekitar 400 L/jam. Berikut adalah data rata-rata dari tiap pengujian:

Tabel 1. Data Pengamatan Uji Produktivitas Ozonator

t (s)	Voltase (V)	mA	V Na-tiosulfat (ml)		Prod.Ozon (g/hr)
			Hulu (fp=8)	Hilir	
151,735	100	80	5,05	1,4	0,1309
95,105	150	125	6,925	0,75	0,2805
81,02	190	180	7,7	0,65	0,3651

Semakin besar voltase yang digunakan, maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan KI untuk berubah warna, hal ini dikarenakan semakin banyak O₂ yang terkonversi menjadi O₃.

Reaksi kimia ozon dengan KI :



Pembebasan iod dengan Na₂S₂O₃.5H₂O :



Dari reaksi kimia diatas, dapat dihitung produktivitas ozon. Contoh perhitungan, pada tegangan listrik 190 V:

$$\begin{aligned}
 \text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= (V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ hulu} + \text{hilir}) \times M \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\
 &= ((7,7 \times 8) + 0,65) \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,3424 \text{ mmol} \\
 \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : 1000 \\
 &= 3,424 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\
 \text{mol O}_3 &= \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\
 &= 0,5 (3,424 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} \\
 &= 1,7119 \cdot 10^{-4} \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{O_3} &= \text{mol } O_3 \times \text{Mr } O_3 \\
 &= 1,7119 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \times 48 \text{ gr/mol} \\
 &= 8,217 \cdot 10^{-3} \text{ gr} \\
 \text{Produktivitas Ozon} &= \frac{W_{O_3} \times 3600 \left(\frac{s}{hr}\right)}{t \text{ (s)}} \\
 &= \frac{8,217 \cdot 10^{-3} \text{ (gr)} \times 3600 \left(\frac{s}{hr}\right)}{81,02 \text{ (s)}} \\
 &= 0,3651 \text{ gr/hr}
 \end{aligned}$$

1.2 Perhitungan Preparasi Air Ciater

Air Ciater dengan volume sebesar 3 liter memiliki pH 2,6. Air Ciater ditambahkan dengan asam sulfat (H_2SO_4) 18 M (96% v/v). Berikut data penambahan H_2SO_4 pada air Ciater:

Tabel 2. Data Penambahan H_2SO_4

pH	Vol. H_2SO_4 (mL)
2	2
1	40
0,7	80

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penyelesaian:

1. Air ciater terdiri dari beberapa kation dan anion dalam larutannya, seperti Aluminium, Calcium, Sulfat, Klor, dan sebagainya.
2. Molaritas atau pH dari air Ciater diperoleh dari observasi menggunakan pH-meter, artinya pH meter sudah mendeteksi total mol asam dalam volume larutan.
3. Reaksi yang terjadi adalah reaksi volumetrik, tidak terjadi penyusutan ataupun ekspansi volume akibat pengaruh *intermolecular forces*.
4. Jika menggunakan pipet tetes yang baik, 1 mL = 20 tetes.

Dibutuhkan cukup banyak asam sulfat pekat dkemungkinan besar disebabkan oleh adanya kehadiran impurities pada air Ciater. Salah satunya adalah aluminium yang memiliki sifat amfoter, yakni dapat bersifat basa dan asam

pada berbagai kondisi (Diana, 2010). Sifat ini mengakibatkan sulitnya larutan mengalami penurunan pH, sehingga membutuhkan asam sulfat dalam jumlah besar untuk melewati kesetimbangan amfoter tersebut.

1.3 Preparasi Larutan Amonium Sulfat

Larutan amonium sulfat dibuat dengan melarutkan ± 4 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dalam 5 L air. Larutan ini memiliki pH ± 6 , untuk mencapai pH basa 11, ditambahkan larutan NaOH 10 M, sekitar 0,5 ml (10-11 tetes). Beberapa asumsi yang digunakan adalah:

1. Volume $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4 gram tidak signifikan terhadap keseluruhan volume
2. Penentuan pH awal sebesar 6 menggunakan pH meter, pH meter dianggap telah mendeteksi seluruh ion H^+ dalam larutan.
3. NaOH yang ditambahkan adalah 100% murni.
4. Reaksi yang berlangsung adalah reaksi volumetrik, tidak terjadi penyusutan ataupun ekspansi volume akibat pengaruh *intermolecular forces*.

1.4 Data Perpindahan Massa

1.4.1 Perpindahan Massa Variasi pH air Ciater 2

Data Pengamatan:

- Laju alir larutan ammonia = 5 L/menit
- pH awal larutan amonia = 6,18
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,44
- pH air Ciater = 2,04
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 4,1063 gram

Tabel 3. Data Pengamatan pada pH air Ciater 2

No.	t(s)	$[\text{NH}_3]_{\text{alat}}$	fp	$[\text{NH}_3]_{\text{hsl}}$
1	0	17,7	10	177
2	1800	12,9	10	129
3	3600	9,8	10	98
4	5400	8,1	10	81
5	7200	6,3	10	63

1.4.2 Perpindahan Massa Variasi pH air Ciater 1

Data Pengamatan:

- Laju alir larutan ammonia = 5 L/menit
- pH awal larutan amonia = 6,25
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,46
- pH air Ciater = 1,02
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 4,1401 gram

Tabel 4. Data Pengamatan pada pH air Ciater 1

No.	t(s)	[NH ₃]alat	fp	[NH ₃]hsl
1	0	17,4	10	174
2	1800	11,4	10	114
3	3600	7,7	10	77
4	5400	5,9	10	59
5	7200	3,4	10	34

1.4.3 Perpindahan Massa Variasi pH air Ciater 0,7

Data Pengamatan:

- Laju alir larutan ammonia = 5 L/menit
- pH awal larutan amonia = 7,41
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,56
- pH air Ciater = 0,71
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 4,1586 gram

Tabel 5. Data Pengamatan pada pH air Ciater 0,7

No.	t(s)	[NH ₃]alat	fp	[NH ₃]hsl
1	0	17,7	10	177
2	1800	10,2	10	102
3	3600	6,9	10	69
4	5400	4,3	10	43
5	7200	1,6	10	16

1.5 Data Perbedaan Tekanan

Untuk membahas studi hidrodinamika, dibutuhkan data perbedaan tekanan dengan menggunakan manometer, dilakukan pada laju alir dengan variasi 3,4, dan 5 lpm. Berikut data perbedaan tekanan rata-rata yang didapat selama 50 menit dengan selang waktu pengambilan data tekanan 5 menit. Hal ini dilakukan karena keadaan pembacaan manometer yang terkadang berubah karena laju alir air kurang stabil.

Tabel 6. Data Pengamatan Perubahan Tekanan rata-rata

LPM	ΔP (psi)	ΔP (kg/ms ²)
3	0,1	1723,6895
4	0,14	2413,1653
5	0,21	3619,7480

LAMPIRAN 2

PENGOLAHAN DATA

2.1 Studi Perpindahan Massa

Pada studi perpindahan massa, dilakukan perhitungan seperti efisiensi, slope perubahan konsentrasi, koefisien perpindahan massa, dan fluks yang terjadi.

2.1.1 Perhitungan % Pemisahan

Efisiensi dari pemisahan amonia dari limbah dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$R\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

dimana:

C_0 = Konsentrasi awal limbah

C_t = Konsentrasi amonia pada saat t

Contoh perhitungan efisiensi pemisahan amonia pada proses ozonasi di waktu 7200 s.

$$R\% = \frac{166 - 95}{166} \times 100\%$$

$$R\% = 42,77108 \%$$

Tabel 6. Data R% pada Proses Pemisahan Amonia dengan Ozonasi

t (s)	[NH ₃]	R%
0	166	0
1800	162	2,4097
3600	131	21,0843
5400	108	34,9398
7200	95	42,7711

Tabel 7. Data R% pada Proses Pemisahan Amonia dengan Membran, pH air Ciater 1

t(s)	[NH ₃]hsl	R %
0	171	0
1800	121	29,2398
3600	94	45,0292
5400	72	57,8947
7200	46	73,0994

Tabel 8. Data R% pada Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 2

No.	t(s)	[NH ₃]	R %
1	0	177	0
2	1800	129	27,1186
3	3600	98	44,6328
4	5400	81	54,2373
5	7200	63	64,4068

Tabel 9. Data R% pada Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 1

No.	t(s)	[NH ₃]	R %
1	0	174	0
2	1800	114	34,4828
3	3600	77	55,7471
4	5400	59	66,0920
5	7200	34	80,4598

Tabel 10. Data R% pada Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 0,7

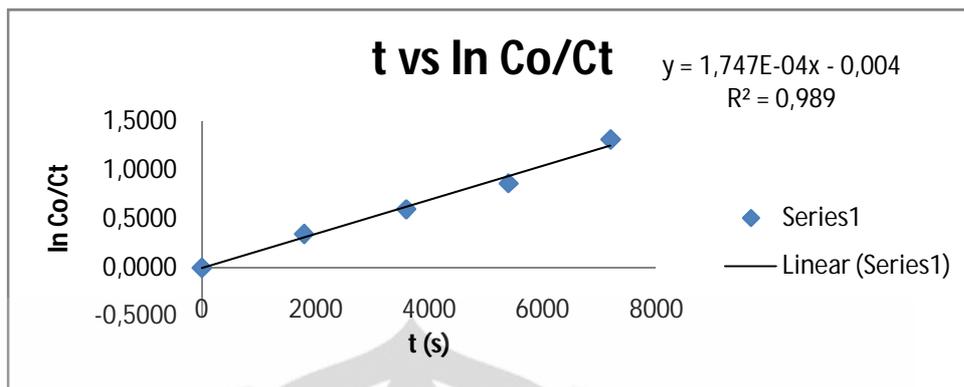
No.	t(s)	[NH ₃]	R %
1	0	177	0
2	1800	102	42,3729
3	3600	69	61,0169
4	5400	43	75,7062
5	7200	16	90,9605

2.1.2 Perhitungan Slope Perubahan Konsentrasi terhadap Waktu

Untuk menghitung koefisien perpindahan massa (k), diperlukan *slope* dari perubahan konsentrasi amonia terhadap waktu. *Slope* ini diperoleh dengan memplot grafik $\ln C_0/C$ terhadap waktu. Berikut adalah tabel data hasil perhitungan $\ln C_0/C$, serta grafik hubungan $\ln C_0/C$ vs t .

Tabel 7. Perhitungan Slope, Proses Pemisahan Amonia dengan Membran, pH air Ciater 1

t(s)	[NH ₃]hsl	$\ln C_0/C_t$
0	171	0
1800	121	0,3459
3600	94	0,5984
5400	72	0,8650
7200	46	1,3130

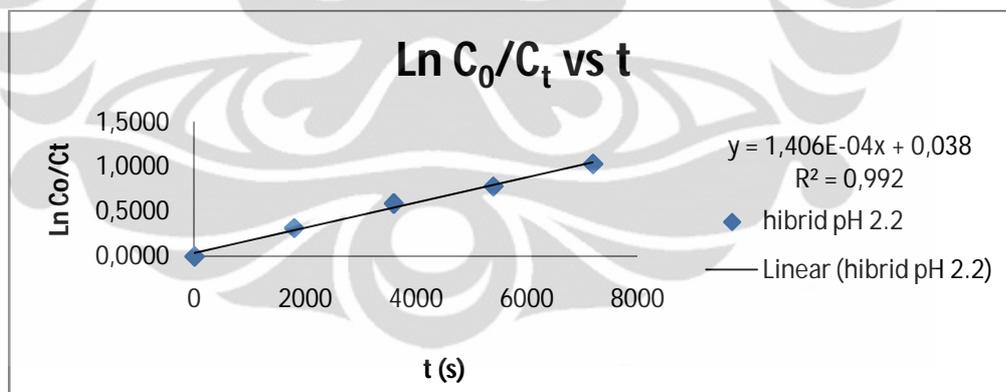


Gambar 1. Variasi $\ln (C_0/C_t)$ terhadap Waktu pada proses membran, pH absorben 1

slope $1,747E-04$

Tabel 8. Perhitungan Slope, Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 2

t(s)	[NH ₃]	ln C ₀ /C _t
0	177	0
1800	129	0,3163
3600	98	0,5912
5400	81	0,7817
7200	63	1,0330

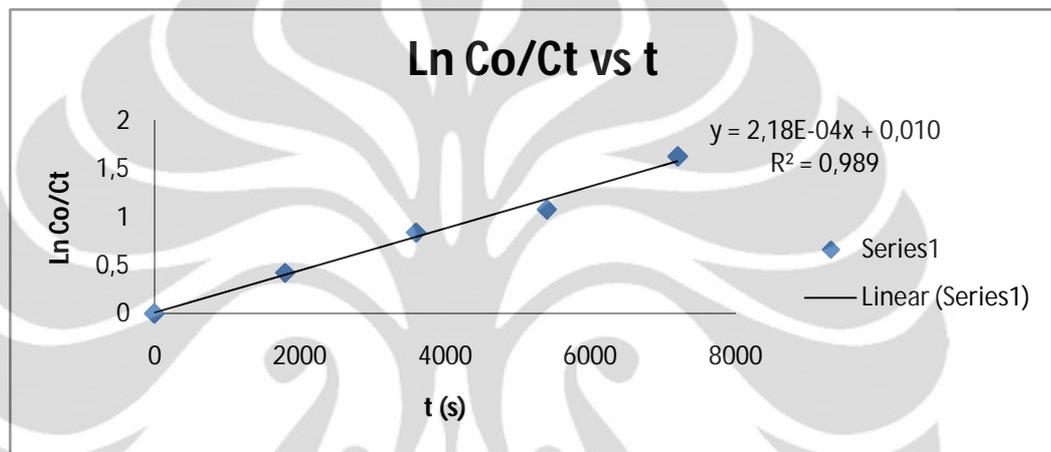


Gambar 2. Variasi $\ln (C_0/C_t)$ terhadap Waktu pada proses hibrid, pH absorben 2

slope $1,406E-04$

Tabel 9. Perhitungan Slope, Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 1

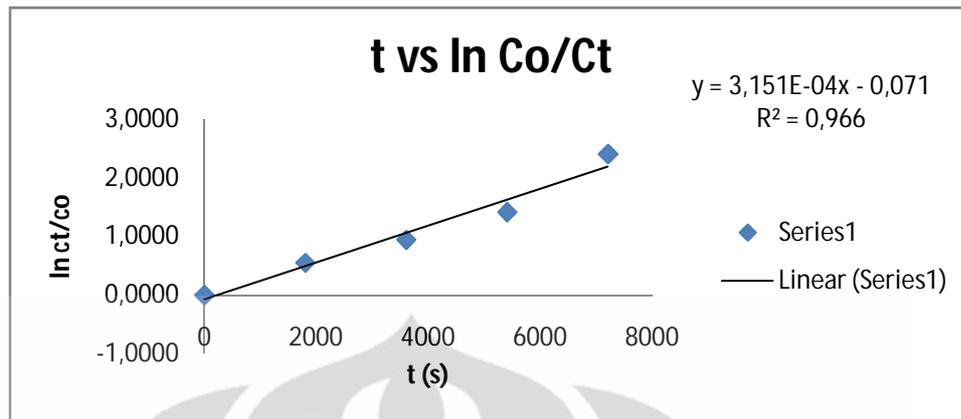
t(s)	[NH ₃]hsl	ln Co/Ct
0	174	0
1800	114	0,4229
3600	77	0,8152
5400	59	1,0815
7200	34	1,6327

Gambar 3. Variasi ln (C₀/C_t) terhadap Waktu pada proses hibrid, pH absorben 1

slope 2,180E-04

Tabel 10. Perhitungan Slope, Proses Pemisahan Amonia dengan Hibrid, pH air Ciater 0,7

t(s)	[NH ₃]hsl	ln Co/Ct
0	177	0
1800	102	0,5512
3600	69	0,9420
5400	43	1,4149
7200	16	2,4036



Gambar 4. Variasi $\ln (C_0/C_t)$ terhadap Waktu pada proses hibrid, pH absorben 1

slope $3,151E-04$

2.1.3 Perhitungan Koefisiensi Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa diperoleh melalui persamaan berikut:

$$kov = \frac{\text{slope} \times V_{\text{umpan}}}{A_m}$$

dimana:

$$A_m = \pi \times n_f \times L_f \times d_f$$

Keterangan:

A_m = luas permukaan membran (cm²)

n_f = jumlah membran (22 fiber)

L_f = panjang membran (47 cm)

d_f = diameter membran (0,2 cm)

Sehingga,

$$\begin{aligned} A_m &= \pi \times 22 \times 47 \times 0,2 \\ &= 694,352 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan koefisien massa pada proses hibrid membran dan ozonasi, pada pH absorben 2.

$$kov = \frac{(1,46 \text{ E} - 06 \text{ /s} \times 5000 \text{ cm}^3)}{694,352 \text{ cm}^2}$$

$$k = 0,0011 \text{ cm/s}$$

Tabel 11. Koefisien Perpindahan Massa tiap Proses Pemisahan Amonia

Proses yang dipilih	kov
Hibrid pH 2 (2)	0,0011
Hibrid pH 1 (3)	0,0017
Hibrid pH 0,7 (2)	0,0024
Membran pH 1	0,0013

2.1.4 Perhitungan Fluks

Fluks dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{fluks} = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{A_m \times t}$$

dimana:

C_0 = konsentrasi awal amonia (ppm atau mg/dm³)

C_t = konsentrasi amonia pada detik ke t (ppm atau mg/dm³)

V = volume limbah amonium sulfat (dm³)

t = lama sirkulasi (s)

A_m = luas permukaan membran (cm²)

Contoh perhitungan fluks, pada proses hibrid variasi pH air Ciater 2, lama sirkulasi 7200 s:

$$\text{fluks} = \frac{(177 - 63) \times 5}{694,352 \times 7200}$$

$$\text{fluks} = 0,00012 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2\text{s}}$$

Pada penelitian ini, dilihat hubungan antara pH dengan fluks yang terjadi, maka perhitungan fluks hanya dilakukan pada proses hibrid membran dan ozonasi saja, yang memiliki variasi pH pada absorben.

Tabel 11. Fluks pada proses hibrid dengan variasi pH absorben

t (s)	Fluks		
	Hibrid, pH 2	Hibrid, pH 1	Hibrid, pH 0,7
0	-	-	-
1800	24,05 E ⁻⁴	2,57 E ⁻⁴	3,21 E ⁻⁴
3600	1,69 E ⁻⁴	2,12 E ⁻⁴	2,31 E ⁻⁴
5400	1,37 E ⁻⁴	1,68 E ⁻⁴	1,91 E ⁻⁴
7200	1,22 E ⁻⁴	1,49 E ⁻⁴	1,72 E ⁻⁴

2.2 Studi Hidrodinamika

Pada studi hidrodinamika, dipelajari mengenai karakter dari aliran yang dapat dilihat dari bilangan Reynold, faktor friksi, dan juga diperhitungkan besarnya friksi rasio selama proses berlangsung.

2.2.1 Perhitungan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynold dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Re = \frac{d_e \times v}{\mu_{\text{kinematis}}}$$

dimana:

d_e = diameter ekivalen (cm)

v = kecepatan aliran (cm/s)

μ = viskositas kinematis (cm^2/s) = $8,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$

$$d_e = \frac{d_p^2 - nd_f^2}{d_p + nd_f}$$

dimana:

d_p = diameter selongsong modul (cm)

d_f = diameter serat fiber (cm)

n = jumlah serat fiber

$$d_e = \frac{1,6^2 - 22(0,2)^2}{1,6 + 22(0,2)}$$

$$d_e = 0,28$$

Sementara kecepatan aliran yang dimaksudkan adalah kecepatan dari aliran yang tidak melewati membran, yakni aliran limbah amonia, yang diperoleh dengan persamaan di bawah ini:

$$v = \frac{Q}{A_{\text{flow}}}$$

dimana:

$$A_{\text{flow}} = \frac{1}{4} \times \pi \times (d_p^2 - nd_f^2)$$

$$A_{\text{flow}} = \frac{1}{4} \times \pi \times (1,6^2 - (22 \times 0,2^2))$$

$$A_{\text{flow}} = 1,3188 \text{ cm}^2$$

Tabel 12. Nilai v dan Re pada variasi laju alir

Laju (lpm)	Q (cm ³ /s)	v (cm/s)	Re
3	50,00	37,91	1192,78
4	66,67	50,55	1590,37
5	83,33	63,19	1987,96

Contoh perhitungan v dan Re pada laju 3 lpm:

1. Menghitung Q

$$Q = \frac{3000 \text{ cm}^3}{60 \text{ s}}$$

$$Q = 50 \text{ cm}^3/\text{s}$$

2. Menghitung v

$$v = \frac{50 \text{ cm}^3 / 60 \text{ s}}{1,3188 \text{ cm}^2}$$

$$v = 37,9133 \text{ cm/s}$$

3. Menghitung Re

$$Re = \frac{0,28 \times 37,9133}{8,9 \cdot 10^{-3}}$$

$$Re = 1192,7765$$

2.2.2 Perhitungan Faktor Friksi

Faktor friksi yang diperhitungkan adalah faktor friksi modul atau percobaan dan faktor friksi literatur.

$$f_{\text{modul}} = \frac{d_e \Delta P}{2 \cdot L_f \cdot \rho \cdot v^2}$$

dimana:

- de = diameter ekivalen
- ΔP = perubahan tekanan
- Lf = panjang membran
- ρ = kerapatan larutan amonia
- v = kecepatan larutan

Tabel 13. Variasi laju terhadap ΔP dan f_{modul}

Laju (lpm)	ΔP kg/ms ²	v (m/s)	f modul
3	1896,0585	0,3791	0,0358
4	2413,1653	0,5055	0,0282
5	3619,7480	0,6319	0,0271

Contoh perhitungan pada 3 lpm:

$$f_{\text{modul}} = \frac{0,0028 \times 1896,0585 \text{ kg/ms}^2}{2,047 \text{ m} \cdot 997 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,3791 \text{ m/s})^2}$$

$$f_{\text{modul}} = 0,0358$$

Untuk menghitung $f_{\text{literatur}}$ dapat menggunakan rumus:

$$f_{\text{literatur}} = \frac{16}{\text{Re}}$$

Tabel 14. Nilai $f_{\text{literatur}}$ pada setiap laju air limbah

Laju (lpm)	Re	f literatur
3	1192,7765	0,0134
4	1590,3687	0,0100
5	1987,9609	0,0080

Contoh perhitungan untuk laju limbah 3 LPM:

$$f_{\text{literatur}} = \frac{16}{1192,7765}$$

$$f_{\text{literatur}} = 0,0134$$

2.2.3 Perhitungan Friksi Rasio

Rasio friksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_{\text{rasio}} = \frac{f_{\text{modul}}}{f_{\text{literatur}}}$$

Tabel 15. Nilai friksi rasio pada tiap laju alir limbah

Laju (lpm)	f modul	f literatur	f ratio
3	0,0358	0,0134	2,6709
4	0,0282	0,0101	2,8044
5	0,0271	0,0080	3,3653

Contoh perhitungan friksi rasio pada laju alir limbah 3 LPM:

$$f_{\text{rasio}} = \frac{0,0358}{0,0134}$$

$$f_{\text{rasio}} = 2,6709$$

