



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH pH LARUTAN PENYERAP
PADA PENYISIHAN AMONIA DARI AIR LIMBAH
MELALUI GABUNGAN PROSES MEMBRAN,
REAKTOR HIBRIDA OZON PLASMA, DAN OZONATOR**

SKRIPSI

**SESWILA DEFLIN
0906604451**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH pH LARUTAN PENYERAP
PADA PENYISIHAN AMONIA DARI AIR LIMBAH
MELALUI GABUNGAN PROSES MEMBRAN,
REAKTOR HIBRIDA OZON PLASMA, DAN OZONATOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SESWILA DEFLIN
0906604451**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Seswila Deflin

NPM : 0906604451

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 Juni 2012

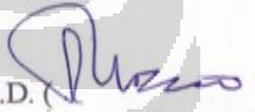
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Seswila Deflin
NPM : 0906604451
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh pH Larutan Penyerap pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Gabungan Proses Membran, Reaktor Hibrida Ozon plasma, dan Ozonator

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterimasebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelarSarjana pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UniversitasIndonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Ir. Yuliusman, M.Eng. ()

: Dr. Ing. Donni Adinata, S.T., M.Eng.Sc. ()

: Dr. Ir. Setiadi, M.Eng. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah swt. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi tepat pada waktunya dengan judul “Pengaruh pH Larutan Penyerap pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Gabungan Proses Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma, dan Ozonator”. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia.
2. Ir. Yuliusman, M.Sc. selaku koordinator skripsi Teknik Kimia FTUI.
3. Dr. Ir. Setiadi, M.Eng selaku pembimbing akademik penulis.
4. Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga, serta memberikan bimbingan dan arahan selama proses penelitian dan penyusunan makalah skripsi ini.
5. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA. yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan untuk perancangan alat RHOP.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia yang telah memberikan ilmu serta bantuan dalam penyusunan makalah seminar.
7. Mama, papa, ayah, ibu, Yogi, Nesa, Elga, bang Irzan, dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan.
8. Sahabatku Christine dan Wiwi yang telah banyak membantu dan memberikan solusi.
9. Teman-teman ekstensi Teknik Kimia 2009.
10. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dan membantu proses penyusunan makalah skripsi ini.

Depok, 28 Juni 2012

Seswila Deflin

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Seswila Deflin
NPM : 0906604451
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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:

Pengaruh pH Larutan Penyerap pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Gabungan Proses Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma, dan Ozonator 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 mempublikasikan 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 : 28 Juni 2012

Yang menyatakan



(Seswila Deflin)

ABSTRAK

Nama : Seswila Deflin
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh pH Larutan Penyerap pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Gabungan Proses Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma, dan Ozonator

Air limbah yang mengandung amonia dengan konsentrasi tinggi dapat membahayakan kehidupan akuatik dan menurunkan kualitas air. Pengolahan limbah amonia telah dilakukan dengan berbagai metode konvensional, namun metode tersebut kurang efektif dan membutuhkan biaya yang mahal. Oleh karena itu diperlukan teknologi alternatif untuk meningkatkan efisiensi penyisihan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas gabungan proses antara membran serat berongga dengan reaktor hibrida ozon plasma dan ozonator pada penyisihan amonia. Variabel yang diamati adalah pengaruh pH larutan penyerap terhadap efisiensi penyisihan dan koefisien perpindahan massa keseluruhan (K_{ov}). pH tersebut divariasikan dengan nilai 2,0 1,0 dan 0,7, dan data konsentrasi amonia diambil setiap 20 menit selama sirkulasi 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor hibrida ozon plasma dengan tambahan ozonator dapat meningkatkan efisiensi penyisihan amonia. %R dan K_{ov} meningkat dengan menurunnya pH larutan penyerap. %R tertinggi diperoleh pada pH larutan penyerap 0,7 dengan nilai 59% dan K_{ov} $1,13 \times 10^{-5}$ m/s.

Kata Kunci: amonia, efisiensi penyisihan, koefisien perpindahan massa, membran serat berongga, reaktor hibrida ozon plasma.

ABSTRACT

Name : Seswila Deflin
Study Programme : Chemical Engineering
Title : Influence of pH Absorbent Solution on Ammonia Removal from Wastewater through The Combination between Membrane Process with Hybrid Reactor Ozone Plasma and Ozonator

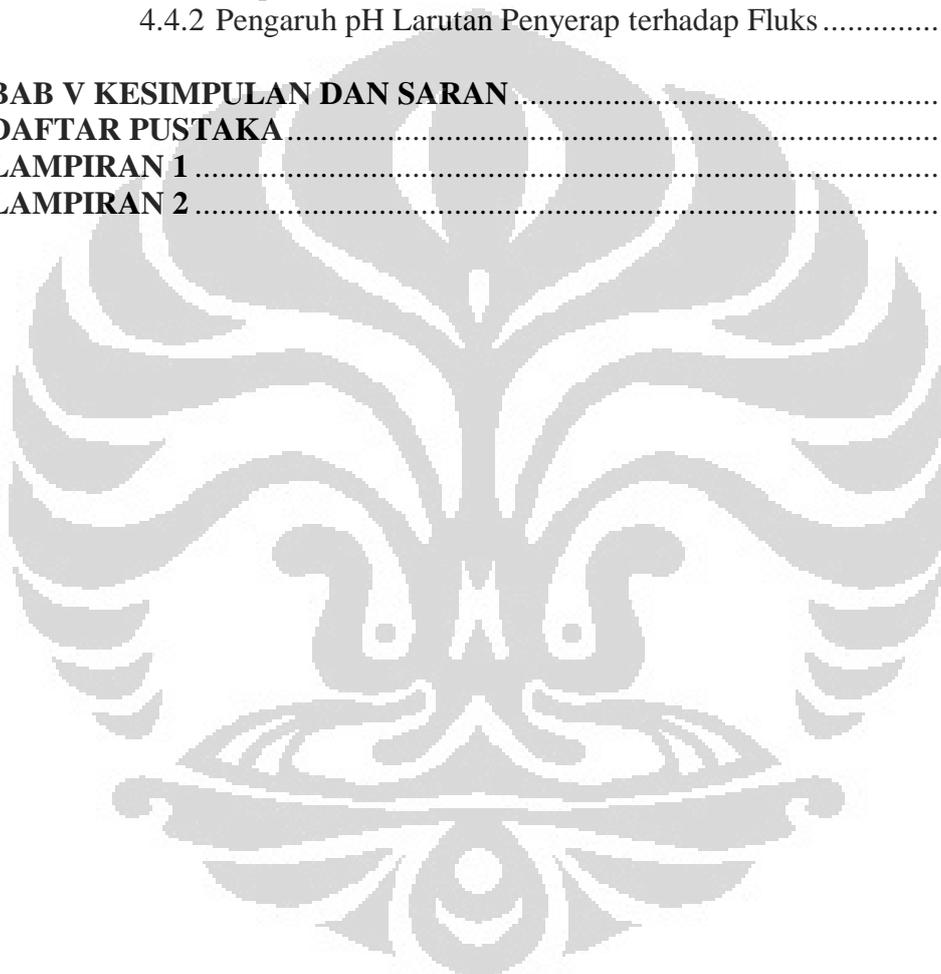
High concentration of ammonia in wastewater can cause problems especially on aquatic life and may seriously damage the quality of water. Ammonia is often removed by conventional methods. In some conditions, conventional methods are inefficient and very costly. There is a continuing need for an alternative separation technique for more efficient removal of ammonia. The aim of this study is to investigate the effectivity combination process between hollow fiber membrane with hybrid reactor ozone plasma and ozonator to remove ammonia from wastewater. Influence of pH absorbent solution on removal efficiency (%R) and overall mass transfer coefficient (K_{ov}) were investigated. The pH values are adjusted to 2.0, 1.0, and 0.7, and the samples were taken every 20 minutes for 2 hours circulation. Then, the experiment result obtained show that hybrid reactor ozone plasma and ozonator can improve ammonia removal efficiency. %R ammonia and K_{ov} increase with decreasing pH absorbent solution. The highest removal efficiency 59% and K_{ov} $1,13 \times 10^{-5}$ m/s was achieved.

Keywords : ammonia, hollow fiber membrane, hybrid reactor ozone plasma, mass transfer coefficient, removal efficiency.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Membran Kontaktor.....	5
2.1.1 Modul Serat Berongga	7
2.1.2 Membran Polivinil Klorida	9
2.2 Ozon.....	10
2.3 Teknologi Plasma	12
2.4 Air Panas Ciater.....	17
2.5 Amonia.....	18
2.6 Penelitian yang Sudah Dilakukan.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Studi Literatur.....	24
3.2 Set Up Peralatan	25
3.2.1 Alat-alat yang Digunakan	25
3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan	33
3.3 Uji Perpindahan Massa	33
3.3.1 Proses Membran	33
3.3.2 Proses Ozonasi	34
3.3.3 Proses Reaktor Hibrida Ozon Plasma.....	35
3.3.4 Proses Gabungan Membran dan Reaktor Hibrida Ozon Plasma.....	35
3.3.5 Proses Gabungan Membran dan Ozonator	36
3.3.6 Proses Gabungan Reaktor Hibrida Ozon Plasma dan Ozonator	37
3.3.7 Proses Gabungan Membran, RHOP, dan Ozonator	37
3.4 Pengolahan dan Analisis Data	38
3.4.1 Persen Penyisihan Amonia (%R)	38

3.4.2 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa	38
3.4.3 Menghitung Nilai Fluks	42
3.5 Penulisan Laporan	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pendahuluan	43
4.2 Penyisihan Amonia Terlarut dalam Air Limbah Sintetis	43
4.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya.....	49
4.4 Studi Perpindahan Massa	50
4.4.1 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap Perpindahan Massa	50
4.4.2 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap Fluks	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN 1	59
LAMPIRAN 2	64



DAFTAR GAMBAR

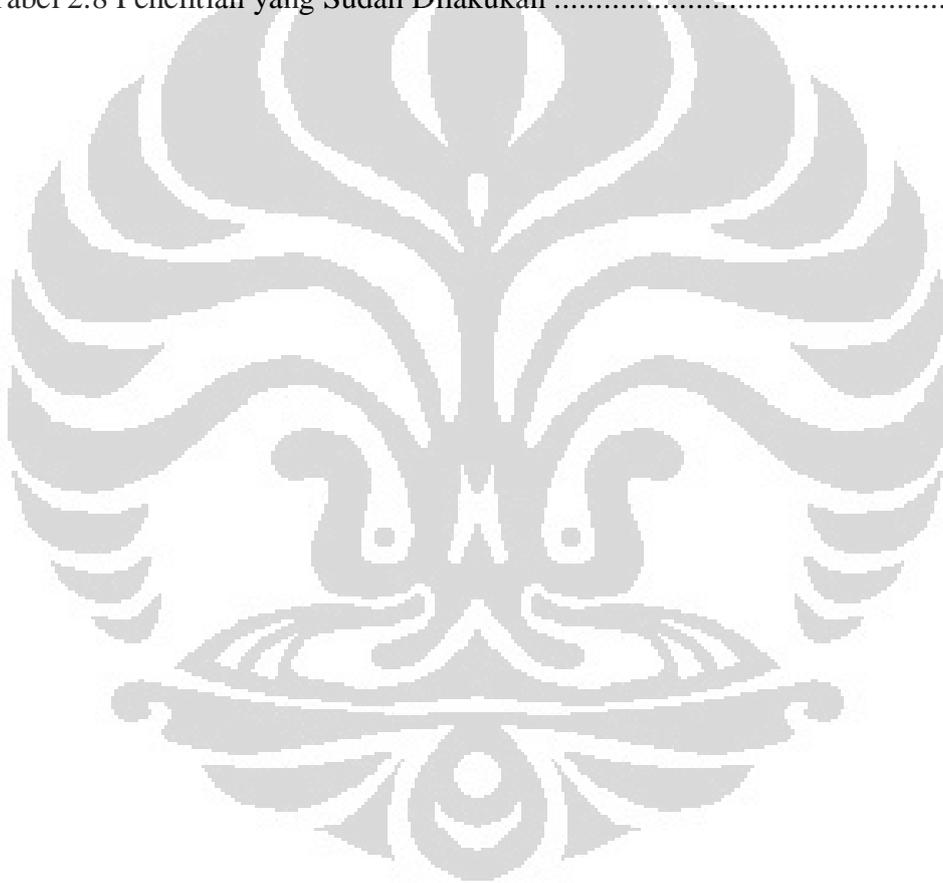
Gambar 2.1	<i>Interface</i> Fasa Non Polar/Fasa Gas dan Fasa Polar pada Membran Hidrofobik.....	6
Gambar 2.2	<i>Interface</i> antara Fasa Non Polar/Gas dan Fasa Polar pada Membran Hidrofilik.....	6
Gambar 2.3	Membran Serat Berongga.....	8
Gambar 2.4	Foto SEM Membran Serat Berongga PVC	9
Gambar 2.5	Perbandingan Fase Padat, Cair, Gas, dan Plasma.....	13
Gambar 2.6	Transisi Perubahan Fasa	13
Gambar 2.7	Pengaruh pH pada Distribusi Amonia dan Amonium dalam Air.....	20
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	24
Gambar 3.2	Membran Serat Berongga.....	25
Gambar 3.3	Pompa Pristaltik dan Pompa Air	26
Gambar 3.4	Media Elektrik	27
Gambar 3.5	Injektor-Mixer	27
Gambar 3.6	Tangki Penampung dan Pompa	28
Gambar 3.7	Regulator Tegangan dan NST	28
Gambar 3.8	Flowmeter Gas dan Flowmeter Liquida.....	29
Gambar 3.9	Amperemeter dan Voltmeter	30
Gambar 3.10	Elektroda Tegangan Tinggi dan Elektroda Kasa.....	30
Gambar 3.11	Nipple, Elbow, Mur dan Baut, serta Selang	31
Gambar 3.12	Ozonator.....	32
Gambar 3.13	Amonia Meter.....	32
Gambar 3.14	Skema Peralatan Proses Membran.....	34
Gambar 3.15	Skema Peralatan Proses Ozonasi.....	34
Gambar 3.16	Skema Peralatan Proses Reaktor Hibrida Ozon Plasma	35
Gambar 3.17	Skema Peralatan Proses Gabungan Membran dan Reaktor Hibrida Ozon Plasma	36
Gambar 3.18	Skema Peralatan Proses Gabungan Membran dan Ozonasi	36
Gambar 3.19	Skema Peralatan Proses Gabungan Ozonasi dan Reaktor Hibrida Ozon Plasma	37
Gambar 3.20	Skema Peralatan Proses Gabungan Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma, dan Ozonator	38
Gambar 3.21	Skema Peralatan Proses Membran untuk Penurunan Rumus Koefisien Perpindahan Massa	39
Gambar 4.1	Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap %R pada Proses Membran Selama Sirkulasi 2 Jam	45
Gambar 4.2	Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap %R pada Proses Gabungan Membran, RHOP, dan Ozonator Selama Sirkulasi 2 Jam	46
Gambar 4.3	Nilai %R pada Berbagai Macam Proses Selama Selang Waktu 2 Jam	48
Gambar 4.4	Perbandingan Penurunan Konsentrasi Hasil Penelitian Sekarang dengan Penelitian Sebelumnya.....	49

Gambar 4.5	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Membran Selama Sirkulasi 2 Jam	51
Gambar 4.6	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Membran	52
Gambar 4.7	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator Selama Sirkulasi 2 Jam	52
Gambar 4.8	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	53
Gambar 4.9	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Nilai Fluks rata-rata pada Proses Membran	54
Gambar 4.10	Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Nilai Fluks rata-rata pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Ozon.....	10
Tabel 2.2 Potensial Oksidasi beberapa Spesies Radikal	15
Tabel 2.3 Kandungan Air Panas Ciater.....	18
Tabel 2.4 Sifat-sifat Fisik Amonia.....	19
Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi	21
Tabel 2.6 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat (on-shore).....	22
Tabel 2.7 Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi.....	22
Tabel 2.8 Penelitian yang Sudah Dilakukan	23



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I DATA PENGAMATAN	59
1.1 Data Penyisihan Amonia.....	59
1.1.1 Proses Membran	59
1.1.2 Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	60
1.1.3 Proses Gabungan Membran-Ozonator.....	61
1.1.4 Proses Gabungan Membran-RHOP	61
1.1.5 Proses Ozonator.....	62
1.1.6 Proses RHOP.....	62
1.1.7 Proses RHOP-Ozonator	63
LAMPIRAN 2 PENGOLAHAN DATA PERPINDAHAN MASSA	64
2.1 Perhitungan %R.....	64
2.1.1 Proses Membran	64
2.1.2 Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	65
2.1.3 Proses Gabungan Membran-Ozonator.....	66
2.1.4 Proses Gabungan Membran-RHOP	66
2.1.5 Proses Ozonator.....	66
2.1.6 Proses RHOP	67
2.1.7 Proses RHOP-Ozonator	67
2.2 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa	67
2.2.1 Proses Membran	67
2.2.2 Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	68
2.2.3 Proses Gabungan Membran-Ozonator.....	69
2.2.4 Proses Gabungan Membran-RHOP	70
2.3 Perhitungan Nilai Fluks	70
2.3.1 Proses Membran	70
2.3.2 Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator	71
2.4 Uji Produktivitas Ozon	72
2.4.1 Ozonator + RHOP	72
2.4.2 RHOP	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bidang industri merupakan salah satu sumber pendapatan negara yang penting. Kemajuan di bidang industri selain memberikan manfaat bagi perkembangan ekonomi juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh limbah yang dihasilkan. Limbah mengandung bahan pencemar yang sifatnya sangat berbahaya dan beracun, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Sugiharto 1987).

Pada berbagai limbah industri, terutama pabrik pupuk, industri gasifikasi batu bara, penyamakan kulit, dan tekstil, amonia ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi (Hasanoğlu 2010). Apabila sejumlah besar amonia dengan konsentrasi tinggi masuk ke dalam lingkungan perairan dapat membahayakan kehidupan akuatik dan mendorong terjadinya eutrofikasi. Selain itu juga dapat menimbulkan korosi pada logam tertentu, bahkan dapat menyebabkan keracunan yang berakibat kerusakan pada paru-paru dan kematian. Kelangkaan sumber daya air di masa mendatang dan kepunahan ekosistem perairan dapat terjadi apabila tidak ada kepedulian terhadap permasalahan tersebut. Alam memiliki kemampuan dalam menetralsir pencemaran yang terjadi apabila dalam jumlah yang kecil, akan tetapi apabila dalam jumlah yang cukup besar akan menimbulkan dampak negatif terhadap alam karena dapat mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan lingkungan sehingga limbah tersebut dikatakan telah mencemari lingkungan. Hal ini dapat dicegah dengan mengolah limbah yang dihasilkan oleh industri sebelum dibuang ke badan air agar memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 18 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun pasal 8 ayat 1, amonia tergolong ke dalam limbah B3 karena bersifat korosif. Untuk menjamin terpeliharanya sumber daya air dari pembuangan limbah industri, maka pemerintah mengeluarkan keputusan KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku

mutu limbah cair bagi kegiatan industri, dalam keputusan tersebut kadar maksimum amonia yang diperbolehkan dibuang ke badan air adalah 5 ppm. Agar memenuhi syarat tersebut maka limbah tersebut harus diolah agar zat-zat beracun yang terkandung di dalamnya bisa diturunkan konsentrasinya sehingga memenuhi baku mutu dan aman jika dibuang ke perairan. Hingga saat ini, telah dilakukan berbagai cara untuk mengolah limbah yang mengandung amonia, di antaranya adalah dengan *pack tower aeration*, pengolahan secara biologi atau adsorpsi ion amonium pada permukaan zeolit (Kartohardjono 2012). Akan tetapi, cara-cara tersebut kurang efektif dan membutuhkan biaya yang besar baik untuk investasi maupun biaya operasi.

Salah satu teknologi alternatif yang mempunyai banyak keunggulan yang tidak dimiliki oleh metode-metode pemisahan lainnya adalah teknologi membran. Keunggulan teknologi tersebut yaitu tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energinya sangat minimum. Dasar pemisahan amonia dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga adalah berdasarkan perbedaan konsentrasi amonia di dalam selongsong dan serat membran. Selain keunggulan-keunggulan yang telah disebutkan di atas, teknologi membran ini juga sederhana, praktis, dan mudah dilakukan (Hidayat 2007).

Dalam penelitian ini, digunakan membran serat berongga sebagai kontaktor cair-cair yang digabung dengan reaktor hibrida ozon plasma dan ozonator. Plasma dapat didefinisikan sebagai gas yang terionisasi, terdiri dari partikel neutron, ion positif, ion negatif dan elektron yang merespon secara kuat medan magnetik. Plasma juga dapat dikatakan sebagai atom yang kehilangan elektron karena beberapa atau semua elektron di orbit atom terluar telah terpisah dari atom atau molekul. Hasilnya adalah sebuah koleksi ion dan elektron yang tidak lagi terikat satu sama lain. Partikel-partikel ini terionisasi (bermuatan) sehingga terbentuklah plasma. Untuk bahasa mudahnya, plasma merupakan zat keempat selain benda padat, cair, dan gas (Rohman 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah seberapa efektif penyisihan amonia terlarut dalam air limbah melalui proses gabungan kontaktor membran serat berongga dan reaktor hibrida ozon plasma yang dibantu dengan ozonator dengan menggunakan larutan penyerap bahan alam yang berasal dari sumber air panas. Selain itu dalam penelitian ini juga dibahas bagaimana pengaruh pH larutan penyerap terhadap penyisihan amonia terlarut dalam air limbah.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas proses gabungan kontaktor membran serat berongga dan reaktor hibrida ozon plasma yang dibantu dengan ozonator untuk menyisihkan amonia terlarut dari air limbah. Variabel yang akan diamati pada penelitian ini adalah pengaruh pH larutan penyerap terhadap efisiensi penyisihan amonia dan koefisien perpindahan massa.

1.4 Batasan Masalah

Yang menjadi batasan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Air limbah yang digunakan sebagai umpan adalah air limbah sintetik.
2. Reaktor yang digunakan adalah reaktor hibrida ozon plasma hasil rancangan Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA.
3. Kontaktor membran yang digunakan adalah membran serat berongga dari polimer polivinil klorida yang bersifat hidrofobik.
4. Proses penyisihan dilakukan dengan menggunakan larutan penyerap bahan alam yang berasal dari sumber air panas Ciater.
5. Variabel proses yang divariasikan adalah pH larutan penyerap bahan alam.
6. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah panjang serat membran, jumlah serat membran, dan diameter kontaktor, laju alir limbah, dan suhu limbah.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori tentang membran kontaktor, modulus serat berongga, membran polivinil klorida. Selain itu juga berisikan tentang teknologi plasma dan aplikasinya, ozon, sifat-sifat amonia dan metode pengukuran kadar amonium, air panas ciater dan peneletian-penelitian sebelumnya.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Menampilkan prosedur penelitian yang akan dilakukan, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, skema rangkaian 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 DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari analisis dan pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

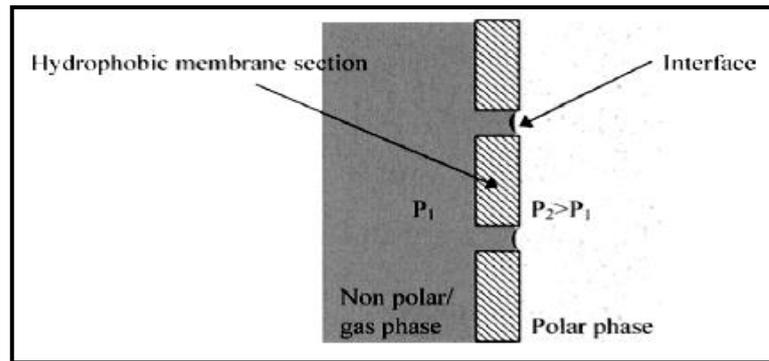
2.1 Membran Kontaktor

Istilah membran kontaktor digunakan untuk mengidentifikasi sistem membran yang digunakan untuk menjaga kontak antara dua fasa. Kontaktor membran tidak menawarkan selektivitas untuk spesies tertentu, tetapi hanya bertindak sebagai penghalang antara fasa yang terlibat, dengan memungkinkan kontak di antara mereka. Dua fasa terpisah oleh membran, dimana tidak ada pencampuran dari mereka dan tidak ada fenomena dispersi. Spesies ditransfer dari satu fasa ke fasa lain hanya dengan difusi saja. Membran yang digunakan biasanya mikroporous dan simetris, baik hidrofobik maupun hidrofilik (Drioli et al. 2006).

Secara umum, membran tidak meningkatkan transfer massa melainkan meningkatkan luas area per volume seperti dapat ditemukan dalam serat berongga dan modulus kapiler, oleh karena itu proses ini menjadi lebih menarik daripada kontaktor fasa terdispersi konvensional. Sebagai contoh *packed and tray column* memiliki luas area per volume sekitar 30-300 m²/m³, tetapi dengan kontaktor membran, luas area per volumenya dapat mencapai 1600-6600 m²/m³.

Kontaktor membran dapat dibagi menjadi dua macam yaitu gas-liquid membran kontaktor (G-L) dan liquid-liquid membran kontaktor (L-L). Pada kontaktor membran G-L satu fasa adalah gas atau uap dan fasa lainnya adalah cairan sedangkan pada kontaktor L-L kedua fasanya adalah cairan. Kontaktor G-L dapat membagi proses dimana gas atau uap yang dipindahkan dari fasa gas ke fasa cair dan uap atau gas yang dipindahkan dari fasa cair ke fasa gas (Mulder 2000).

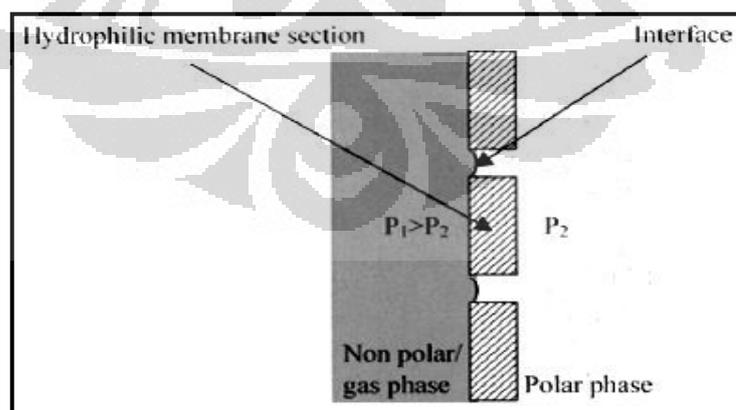
Jika bahan hidrofobik, membran dapat dibasahi oleh fasa non polar (misalnya organik non polar) atau diisi oleh gas, sedangkan fasa cair/fasa polar tidak bisa menembus ke dalam pori-pori. *Interface* antara fasa nonpolar dan fasa polar pada membran hidrofobik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Interface* Fasa Non Polar/Fasa Gas dan Fasa Polar pada Membran Hidrofobik (Drioli et al. 2006)

Hidrofobisitas membran juga dapat bervariasi karena interaksi dengan fasa yang terlibat yang menyebabkan perubahan dalam struktur dan morfologi membran. Aspek terakhir ini dapat diminimalkan dengan menggunakan membran komposit dengan lapisan tipis tidak berpori yang ditempelkan pada permukaan mikropori untuk mencegah penetrasi fase cair/polar.

Jika bahan hidrofilik yang digunakan, fase cair/polar membasahi pori-pori membran sedangkan fasa non polar/gas tertahan di mulut pori. Dalam konfigurasi ini *interface* didirikan di mulut pori-pori di sisi fasa non polar/gas dan dispersi sebagai tetesan antara fasa-fasa dihindari dengan bekerja pada tekanan fasa non polar/gas yang sama atau lebih tinggi dari tekanan fase pembasahan. Gambar 2.2 memperlihatkan *interface* fasa nonpolar dan fasa polar pada membran hidrofilik.



Gambar 2.2 *Interface* Fasa Non Polar/Gas dan Fasa Polar pada Membran Hidrofilik (Drioli et al. 2006)

Kontaktor membran cair-cair (L-L) dicirikan dengan adanya dua aliran liquid yang dipisahkan oleh membran berpori (*porous membrane*) ataupun membran tidak berpori (*non porous membrane*). Membran polipropilena merupakan membran yang memiliki pori yang bersifat hidrofobik. Kontaktor membran L-L dapat digunakan sebagai alternatif untuk proses ekstraksi konvensional sebagai contoh untuk penyisihan logam berat, senyawa organik volatil, dan fenol (Mulder 2000).

Aspek-aspek positif kontaktor membran adalah sebagai berikut:

- Daerah interfasial yang tinggi pada volume yang kecil.
- Tidak ada dispersi antara fasa-fasa.
- Tidak perlu bekerja dengan cairan yang berbeda densitas.
- Tidak ada *flooding*, *loading*, dan *foaming*.
- Laju alir operasi dengan rentang yang luas.
- Temperatur operasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan proses distilasi.
- Campuran azeotropik dapat lebih mudah dipisahkan daripada dalam unit konvensional.
- Reaksi dan pemisahan berlangsung serentak.
- Fleksibel, mudah dalam scale-up, kontrol dan otomatisasi.

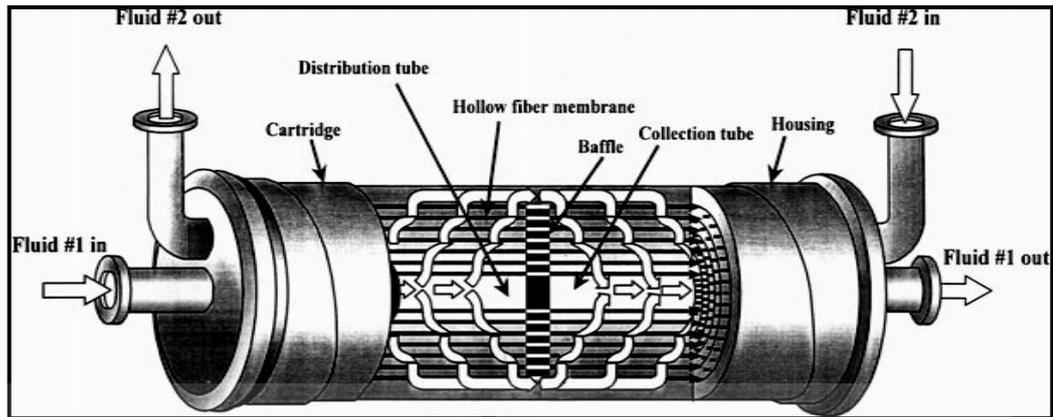
Sedangkan aspek-aspek negatif membran kontaktor adalah seperti di bawah ini:

- Umur hidup membran terbatas.
- Adanya *fouling* membran sehingga diperlukan pretreatment.

(Drioli and Giorno 2009).

2.1.1 Modul Serat Berongga

Serat berongga telah digunakan sejak tahun 1960-an dalam berbagai macam aplikasi seperti reverse osmosis, ultrafiltrasi, pemisahan gas membran, organ buatan, dan tujuan medis lainnya (Khulbe 2008). Dalam penelitian ini digunakan membran serat berongga dengan tipe aliran *counter current*. Modul membran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Membran Serat Berongga (Gabelman and Hwang 1999)

Perbedaan antara modul kapiler dan modul serat berongga adalah dalam masalah dimensi, sedangkan konsep modulnya sama. Modul serat berongga berkonfigurasi dengan densitas *packing* yang paling tinggi, yang dapat mencapai nilai $30.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Modul ini digunakan jika aliran umpan relatif bersih, seperti dalam pemisahan gas dan pervaporasi. Selain itu juga digunakan dalam desalinasi air laut, dan aliran umpan yang relatif bersih lainnya (Mulder 2000).

Biasanya, modul serat berongga terdiri dari 50-3000 serat dengan diameter serat biasanya 0,2-3 mm (kecuali yang digunakan pada reverse osmosis, yang mungkin setipis 0,04 mm). Panjang serat sekitar 18-120 cm (Cui 2010).

Modul serat berongga memiliki karakteristik yang berbeda dari modul tubular, diantaranya yaitu:

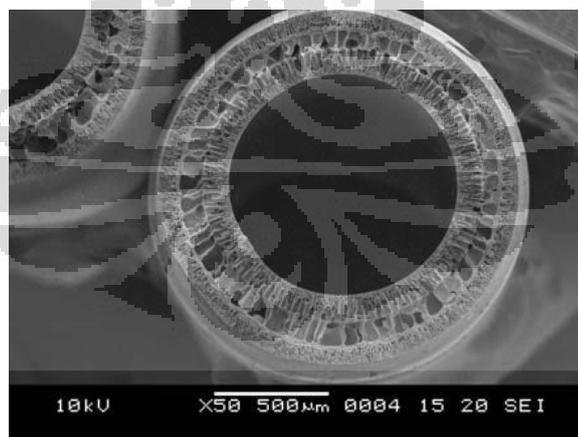
- Modul serat berongga direkomendasikan untuk beroperasi dengan bilangan Reynolds pada rentang 500-3000, kebanyakan berjalan pada wilayah aliran laminar, level tekanan rendah dengan nilai maksimum 2,5 bar.
- Karena kombinasi aliran silang (*counter current*) dengan laju alir yang rendah dan penurunan tekanan rendah, modul serat berongga adalah salah satu modul yang lebih ekonomis dalam hal konsumsi energi.
- Modul serat berongga memiliki rasio area permukaan terhadap volume yang paling tinggi dibandingkan dengan tiga konfigurasi modul lainnya yaitu modul tubular, modul lembaran datar, dan modul spiral.

- Kelemahan modul serat berongga adalah serat tipis mereka rentan untuk disumbat oleh umpan dengan partikel besar, jika mereka beroperasi dalam mode inside-out. Oleh karena itu pretreatment untuk mengurangi ukuran partikel menjadi 100 μm biasanya diperlukan untuk modul ini (Cui 2010).

2.1.2 Membran Polivinil Klorida

Polivinil klorida ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) biasa disingkat menjadi PVC adalah polimer termoplastik dimana pada suhu tinggi akan meleleh tetapi akan mengeras kembali jika didinginkan. Jika ditinjau dari segi kestabilan, senyawa ini sangat stabil karena berbentuk polimer sehingga fasanya berbentuk padatan yang keras sehingga hampir tidak berpengaruh (tidak bereaksi) terhadap kehadiran oksidator kuat. Dari segi keamanan, senyawa ini hampir tidak berbahaya dan mengganggu lingkungan karena tidak berpotensi mencemari udara, air maupun tanah (Irawan 2010).

PVC merupakan bahan membran yang terkemuka karena kekakuannya, biaya yang rendah, sifat fisik dan kimia serta sifat mekaniknya yang sangat baik (Xu and Xu 2002). Struktur membran serat berongga PVC dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.4 Foto SEM Membran Serat Berongga PVC (Guo 2009)

PVC dipilih sebagai bahan serat membran karena memiliki struktur asimetris ganda, yang berarti bahwa serat berongga memiliki permukaan bagian dalam dan luar. Struktur asimetris ganda ini memberikan sebuah stabilitas

mekanik yang lebih tinggi pada serat dibandingkan dengan membran serat berongga anisotropik konvensional. Keunggulan selanjutnya adalah tidak ada resiko penyumbatan pori membran ketika dilakukan *backwashing* dengan tekanan yang lebih tinggi dari sisi permeat (Guo 2009). Selain itu PVC juga tahan terhadap asam, basa, dan hampir semua bahan kimia anorganik. Meskipun PVC larut dalam hidrokarbon aromatik, keton, dan eter siklik, PVC sulit untuk larut dalam pelarut organik lainnya (Vinyl and Ecvm 2012).

2.2 Ozon

Ozon atau trioksigen, merupakan suatu molekul triatomik yang terdiri dari tiga atom oksigen. Ozon berwujud gas biru pucat dan sedikit larut dalam air. Ozon dapat terdeteksi pada konsentrasi 0,01-0,05 ppm karena memiliki bau. Senyawa ozon bukan merupakan senyawa yang stabil karena sangat mudah dan dengan cepat terdekomposisi kembali menjadi oksigen setelah terbentuk di dalam generator ozon. Tabel berikut adalah beberapa sifat fisik dari ozon:

Tabel 2.1 Sifat Fisik Ozon

Parameter	Nilai
Tampilan	Gas biru pucat
Massa Molar	48 g/mol
Densitas	0,002144 g/cm ³
Titik Leleh	-192 °C (81 K)
Titik Didih	-112 °C (161 K)
Kelarutan dalam Air	1,05 g/dm ³ (pada 0 °C)

Ozon pada lapisan atmosfer bawah merupakan suatu polutan udara dengan efek yang berbahaya terhadap sistem pernafasan dan akan membakar tumbuhan yang sensitif, sedangkan yang berada di lapisan atmosfer atas memiliki peran sebagai pencegah kerusakan yang terjadi di permukaan bumi akibat radiasi elektromagnetik. Oleh karena toksisitasnya, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) telah menetapkan batas paparan maksimum untuk manusia terhadap ozon, yaitu sebanyak 0,06 ppm dalam periode delapan jam, lima hari seminggu dan untuk dosis maksimum 0,3 ppm dalam 15 menit. Efek racun

dari ozon terutama dikarenakan reaktivitasnya yang tinggi dan potensial oksidasinya sebesar 2,07 eV. Dampak dari ozon yang terhirup yaitu menyerang paru-paru, menyebabkan edema atau pembengkakan paru-paru bahkan sampai inflamasi saluran pernafasan. 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.

Dibalik dampak buruknya, toksisitas ozon dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi untuk proses-proses seperti penghilangan warna (*decoloration*), penghilangan bau (*deodorization*), dan penguraian senyawa organik (*degradation*) dikarenakan kemampuan oksidasinya yang tinggi.

Ozon terbentuk dari molekul-molekul oksigen yang berada dalam paparan medan listrik (di atas 10.000 volt). Ozon ini jauh lebih reaktif dan selektif melakukan reaksi oksidasi dibandingkan dengan molekul oksigen asalnya (Bismo S. 2010). Ozon dapat bereaksi secara langsung maupun tidak langsung dalam air. Reaksi tidak langsung oleh ozon akan menghasilkan radikal hidroksil yang dapat bereaksi dengan mikropolutan organik maupun anorganik. Di dalam larutan, ozon terdekomposisi melalui suatu mekanisme inisiasi yang kompleks, yang akan bereaksi dengan ion hidroksil dan diikuti oleh pembentukan spesi radikal pengoksidasi, misal HO, HO₂ dan HO₃ (Rodriguez, A. Et al, 2009). Tanpa adanya radiasi UV atau katalis padat, inisiasi terjadi melalui reaksi antara ozon dan ion hidroksida yang menghasilkan radikal hidroperoksida (HO₂[•]) dan ion radikal superoksida (O₂^{•-}):

Inisiasi :



Tahap propagasi melibatkan pembentukan ion radikal ozonida (O₃^{•-}), spesi radikal HO₃[•] dan HO₄[•] dan beberapa reaksi hidrogen peroksida, sebagai produk antara dari rantai reaksi degradasi. Reaksi propagasi adalah sebagai berikut:



Dan reaksi terminasinya adalah sebagai berikut :



Dalam suasana asam, ozon akan langsung bereaksi dengan amonia membentuk nitrat mengikuti reaksi di bawah ini:



Dimana laju oksidasi amonia menjadi nitrat sangat lambat yaitu $5 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ (Tanaka J. and Matsumura M. 2003). Sedangkan dalam suasana basa, ozon akan membentuk radikal HO^{\bullet} yang kemudian bereaksi dengan amonia menghasilkan hidroksil amina mengikuti persamaan berikut ini:

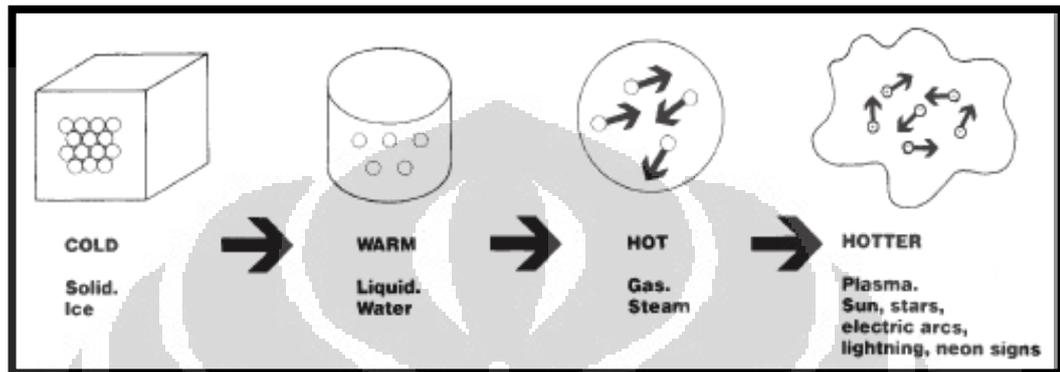


(Huang L. 2008)

2.3 Teknologi Plasma

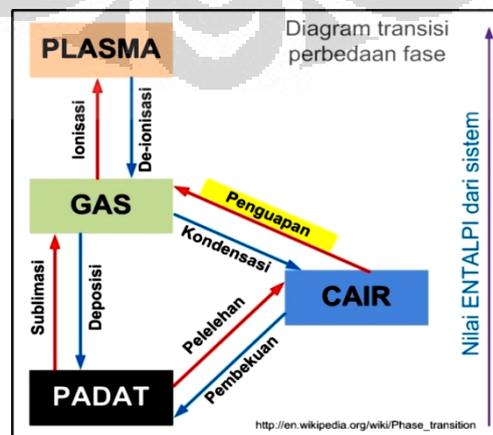
Teknologi yang kemudian diperkenalkan untuk mengatasi limbah cair setelah teknologi ozon adalah teknologi plasma. Sebenarnya ozon itu sendiri dapat dibuat dengan menggunakan teknologi plasma. Jadi, secara tidak langsung teknologi ozon adalah pemanfaatan dari teknologi plasma itu sendiri.

Plasma didefinisikan sebagai jenis materi keempat (setelah padatan, cair, dan gas) berbentuk lebih menyerupai gas yang berada dalam keadaan terionisasi dan memiliki *lifetime* yang relatif singkat dibandingkan dengan gas asalnya (Bismo S. 2010). Untuk lebih jelasnya perbedaan antara plasma dengan ketiga jenis zat lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perbandingan Fase Padat, Cair, Gas, dan Plasma (Eliezer S. and Eliezer Y. 2001)

Plasma dapat juga dikatakan sebagai atom atau molekul yang kehilangan elektron karena beberapa elektron di orbit terluarnya telah terpisah dari atom (molekul) asalnya, yang berarti juga sekumpulan ion dan elektron yang tidak lagi terikat satu sama lain. Proses penyisihan elektron dari atom dan atau molekul tersebut membutuhkan suatu tingkat energi tertentu, baik dalam bentuk panas, listrik ataupun cahaya. Partikel-partikel yang terionisasi (bermuatan) tersebut kemudian spontan berubah menjadi plasma (Bismo S. 2010). Transisi perubahan fasa terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Transisi Perubahan Fasa (Rohman 2009)

Teknologi plasma memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu plasma merupakan teknologi yang ramah lingkungan, murah dan mudah, dapat mengurangi bau dan warna, dan dapat digunakan berkali-kali. Terdapat beberapa aplikasi plasma yang telah dikenal luas diantaranya teknologi plasma dalam AC, teknologi plasma pada TV, teknologi plasma pada pengolahan sampah, dan teknologi plasma sebagai *cleaning technology*.

Aplikasi teknologi plasma sebagai *cleaning technology* merupakan salah satu aplikasi yang erat kaitannya dengan Teknik Kimia. Sebagai mana yang telah diketahui, efek negatif dari perkembangan industri adalah munculnya polusi yang menyebabkan kerusakan alam. Di sinilah teknologi plasma dapat berperan sebagai salah satu teknologi untuk membersihkan limbah yang dihasilkan oleh suatu industri (Rohman 2009).

Seperti halnya plasma di udara, plasma dapat juga dibuat dalam air. Proses pembuatannya sendiri hampir sama, hanya saja pembuatan plasma dalam air memerlukan energi sedikit lebih besar dibandingkan pembuatan plasma di udara. Plasma dalam air dapat menyebabkan timbulnya berbagai proses reaksi fisika dan kimia, seperti sinar ultraviolet, *shockwave*, spesies aktif (OH, O, H, H₂O₂), dan proses panas. Spesies aktif yang dihasilkan merupakan beberapa oksidan kuat yang dapat mengoksidasi berbagai senyawa organik sekaligus juga membunuh bakteri dalam limbah cair tersebut. Panas yang dihasilkan oleh plasma ini pun berperan dalam berbagai proses oksidasi.

Baik teknologi ozon maupun teknologi plasma dalam air memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan cara konvensional, mikrobiologi maupun membran filtrasi. Diantaranya proses penguraian senyawa organik berlangsung sangat cepat, pembuatan peralatan dan perawatan yang mudah, serta spesies aktif yang dihasilkan dapat menguraikan hampir seluruh senyawa organik.

Proses oksidasi oleh radikal hidroksil merupakan proses yang utama selama pengolahan dengan menggunakan plasma. Radikal hidroksil ini merupakan hasil dekomposisi ozon dalam air pada suasana basa. Pembentukan ozon dalam teknologi plasma diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut:

Disosiasi:



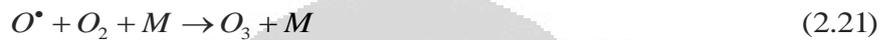
Peningkatan disosiatif:



Ionisasi disosiatif:



Kemudian radikal oksigen bereaksi dengan oksigen menghasilkan ozon:



Dengan M adalah *active side* (Warsito A. 2009).

Potensial oksidasi dari beberapa spesies radikal dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Potensial Oksidasi Beberapa Spesies Radikal (Rodríguez A. 2008)

Oksidan	Potensial (volt)
Fluorida (F ₂)	3,06
Radikal hidroksil (HO [•])	2,80
Atom oksigen	2,42
Ozon (O ₃)	2,07
Hidrogen peroksida (H ₂ O ₂)	1,78
HO ₂ [•]	1,70
Klorida (Cl ₂)	1,36
Oksigen	1,23

Plasma memiliki karakteristik yang berbeda dari gas biasa yang tidak terionisasi. Berikut beberapa karakteristik dan aplikasi plasma dalam kehidupan sehari-hari :

- Energi tinggi dan suhu tinggi (gas atau elektron). Plasma dengan suhu 10-100x10⁶ °C akan menghasilkan reaksi fusi nuklir. Plasma ini diharapkan dapat menjadi sumber energi yang dapat digunakan pada abad 21. Pada daerah suhu yang lebih rendah, plasma dapat digunakan dalam pengolahan mekanis seperti pengelasan plasma, pemotongan, electrical discharge machining, plasma spraying, dan sebagainya.
- Aktivasi kimia sangat tinggi. Plasma sangat mudah menghasilkan radikal ketika gas dimasukkan ke dalamnya, yang mendorong reaksi kimia agar lebih mudah terjadi.

- Menghantarkan arus listrik. Arus listrik bisa dihantarkan melalui plasma dikarenakan banyak partikel-partikel bermuatan listrik yang terdapat dalam plasma, seperti ion dan elektron. Dengan menggunakan fitur ini, parameter plasma dapat dikontrol dan plasma dapat dipanaskan hingga suhu tinggi.
- Radiasi elektromagnetik dan emisi cahaya. Banyak jenis gelombang elektromagnetik kuat dipancarkan dari plasma karena temperatur ionisasi yang tinggi. Hal ini dapat digunakan sebagai sumber cahaya, sebuah layar elektronik, dan analisis optik.

Plasma terbentuk karena adanya ionisasi fluida yang ada di sekitar elektroda dan adanya perbedaan tegangan yang sangat tinggi antara kedua elektroda. Mekanisme pembentukannya adalah sebagai berikut:

- Atom netral atau molekul dalam media pada perbedaan tegangan yang sangat tinggi akan terionisasi menghasilkan ion positif dan elektron bebas.
- Elektroda akan memisahkan dan mencegah penggabungan ion positif dan elektron serta menggerakkan elektron menuju elektroda positif.
- Elektron yang berkumpul pada elektroda akan bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi dan energi yang sangat besar dan menumbuk atom netral sehingga terjadi proses ionisasi, disosiasi, dan eksitasi.

Elektron dan partikel atom dengan energi yang tinggi tersebut akan saling bertumbukan dengan cara ionisasi, disosiasi, dan eksitasi yang kemudian menghasilkan elektron bebas yang mendorong terjadinya fenomena loncatan elektron yang disebut dengan *streamer discharge*.

Ionisasi didefinisikan sebagai proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya. Energi yang dibutuhkan untuk melepaskan satu atau lebih elektron dari orbitnya pada sebuah atom atau molekul dapat didefinisikan sebagai energi ionisasi E_i . Besarnya energi ionisasi dinyatakan dalam satuan elektron-volt (eV). Sedangkan disosiasi adalah pemisahan molekul menjadi atom-atom penyusunnya, dan eksitasi adalah peristiwa dimana elektron yang berada di tingkat energi yang lebih rendah berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menyerap energi tumbukannya dengan elektron.

Pada proses eksitasi di atas terjadi suatu loncatan elektron yang sangat cepat dalam situs aktif senyawa dimana elektron-elektron yang meloncat tersebut menempel pada elektroda (e^{-*}). Oksigen mempunyai kulit terluar s dan p dimana kulit s merupakan kulit teraktif yang mengalami proses eksitasi. Proses tersebut berlangsung sangat cepat yang biasa disebut dengan *intermediate*.

2.4 Air Panas Ciater

Larutan penyerap yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari alam yaitu mata air panas di Ciater, Kab. Subang, Jawa Barat. Menurut klasifikasi balneologi (ilmu yang mempelajari khasiat terapi mandi), air panas Ciater termasuk dalam kategori *calcium magnesium chloride sulfate thermomineral hypertherma* dengan kandungan aluminium tinggi yaitu 38,5% serta pH sangat asam yaitu 2,45. Suhu air panas tersebut kalau langsung dari sumbernya (Gunung Tangkuban Perahu) berkisar antara 44°C, tetapi setelah dialirkan ke kolam renang turun menjadi 37-40°C (Priantoro 2010).

Larutan penyerap ini dipilih karena sulfat yang terkandung di dalamnya mampu menggantikan fungsi asam sulfat buatan yang telah digunakan sebagai larutan penyerap pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Asam sulfat bersifat reaktif terhadap amonia yang bersifat basa, sehingga diharapkan amonia yang terpisahkan dari selongsong akan bereaksi dengan asam sulfat yang berada dalam serat membran membentuk amonium sulfat. Di samping itu asam sulfat merupakan asam kuat yang dalam air akan terionisasi sempurna sehingga tidak akan melewati membran dan berpindah ke selongsong yang mengandung amonia. Keunggulan dari pemilihan air panas Ciater selain ramah lingkungan, sumbernya juga tak terbatas, dan juga lebih murah dibandingkan larutan penyerap sintetis.

Hasil analisis kimia dari air Ciater yang dilakukan di Laboratorium Analisis dan Kalibrasi Balai Besar Industri Argo di Bogor dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan Air Panas Ciater (Kartohardjono 2012)

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

Berdasar pada analisa laboratorium di Laboratorium Analisis dan Kalibrasi Balai Besar Industri Argo, Bogor, air Ciater yang digunakan masih mengandung sekitar 50 ppm amonia (Putri 2011), maka dari itu diperlukan suatu *pre-treatment* untuk mengurangi kadar amonia tersebut yaitu dengan cara memanaskannya terlebih dahulu hingga mendidih, dengan maksud untuk menguapkan gas amonia yang terkandung di dalam air Ciater tersebut.

2.5 Amonia

Amonia (NH₃) adalah gas atau cairan tak berwarna yang memiliki bau yang berbeda. Amonia terdapat sebagai amonia "anhidrat", dikirim dan disimpan sebagai cairan di bawah tekanan sedang, atau mungkin didistribusikan dan dilarutkan dalam air (amonium hidroksida atau amonia aqua). Gas amonia sedikit lebih ringan dari udara dan amonia dalam amonium hidroksida sangat mungkin menjadi udara. Kisaran ambang batas bau adalah 5-17 ppm.

Amonia dalam bentuk cairan atau gas dapat menyebabkan iritasi parah dan/atau luka bakar pada mata, hidung, tenggorokan dan kulit. Amonia memiliki ambang batas bau dari 5 -17 ppm (yang lebih rendah dari batas eksposur). Amonia dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan cedera permanen pada mata, kerusakan yang luas pada tenggorokan dan saluran pernapasan bagian atas, dan

dapat mempengaruhi kerja jantung. Gas amonia anhidrat mudah meledak pada konsentrasi 16-25 % volume di udara. Selain itu amonia juga bersifat korosif.

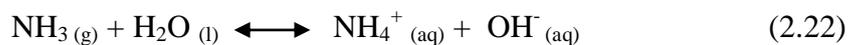
OR-OSHA *Permissible Exposure Limit* (PEL) untuk NH₃ adalah 25 ppm sebagai delapan jam *Time Weighted Average* (TWA). *The American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) merekomendasikan delapan jam TWA 25 ppm untuk mengendalikan potensi bahaya kesehatan. ACGIH juga merekomendasikan *Short Term Exposure Limit* (STEL) 35 ppm selama rata-rata 15 menit.

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) juga telah menetapkan *Recommended Exposure Limit* (REL) 25 ppm sampai hari kerja 10 jam selama seminggu bekerja 40 jam. Mereka juga menyarankan untuk tidak melebihi dari 35 ppm STEL (OR-OSHA 2009). Sifat-sifat fisik amonia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat-sifat Fisik Amonia (Putri 2011)

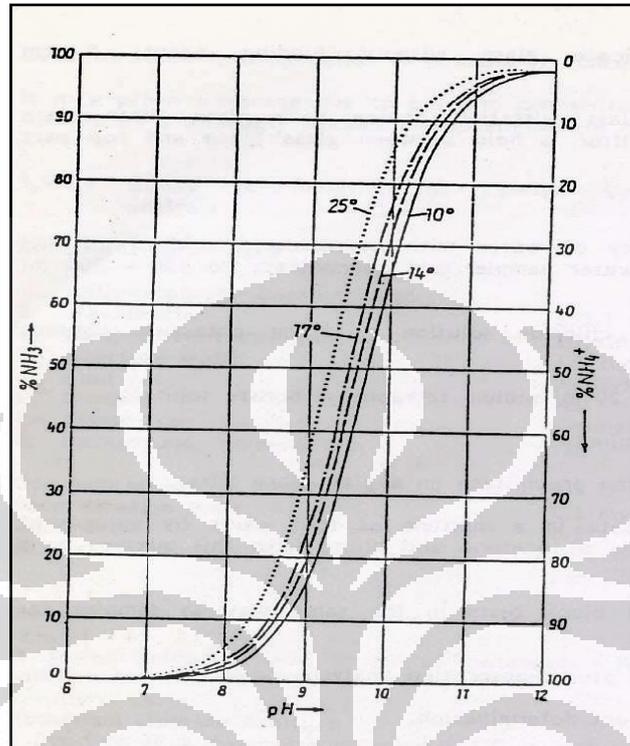
Parameter	Nilai
Titik didih	-33,4 °C
Titik leleh	-77,7 °C
Tekanan uap	400 mmHg (-45,4 °C)
Kelarutan dalam air	31 g/100 g (25 °C)
Berat jenis	0,682 (-33,4 °C)
Berat jenis uap	0,6 (udara = 1)
Suhu kritis	133 °C
Berat molekul	17,03
Keasaman (pKa)	9,25
Kebasaan (pKb)	4,75

Amonia dalam air ada dalam dua bentuk yaitu sebagai amonia bebas dan ion amonium. Pada suhu dan tekanan yang normal, ion NH₄⁺ dan NH₃ membentuk suatu kesetimbangan dengan reaksi sebagai berikut :



(El-Bourawi M.S. 2007).

Distribusi NH_3 dan NH_4^+ dalam air dipengaruhi oleh pH. Pengaruh pH pada distribusi NH_3 dan NH_4^+ dalam air ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengaruh pH pada Distribusi Amonia dan Amonium dalam Air (Frensenius 1987)

- 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.

Salah satu cara untuk mengukur kadar amonium adalah dengan menggunakan metode Nessler kuantitatif. Pereaksi Nessler (K_2HgI_4) bila bereaksi dengan amonium dalam larutan basa akan membentuk dispersi koloid yang berwarna kuning coklat. Intensitas warna yang akan terjadi berbanding lurus dengan konsentrasi amonium. Warna yang terbentuk diukur secara spektrofotometer pada panjang gelombang 425 nm. Reaksinya adalah:



Kelebihan metode Nessler secara kuantitatif adalah hasil yang diperoleh lebih akurat karena dilakukan dua kali pengerjaan dimana pertama dilakukan penambahan reagen Nessler ke dalam sampel dicampurkan dengan larutan garam maka akan terbentuk warna kuning kecoklatan, dan warna inilah yang diukur dengan spektrometer pada panjang gelombang 425 nm. Setelah itu dapat dihitung dengan deret standar yang telah diketahui kadarnya dan dapat dihitung secara regresi linier. Dan kelemahannya adalah dibutuhkan waktu yang lebih lama daripada metode Nessler secara kualitatif (Simata 2011).

Berdasarkan peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 19 tahun 2010, baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan eksplorasi dan produksi panas bumi, migas, dan pengolahan minyak bumi dapat dilihat pada Tabel 2.5-2.7.

Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi (Kepmen/LH 2010)

No	Jenis Air Limbah	Parameter	Kadar Maksimum
1	Air terproduksi	Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	1 mg/L
		Amonia (sebagai NH ₃ -N)	10 mg/L
		Air Raksa (Hg) Total	0.005 mg/L
		Arsen (As) Total	0.5 mg/L
		Temperatur	45 °C
		pH	6 – 9
2	Air limbah drainase	Minyak dan Lemak	15 mg/L
		Karbon Organik Total	110 mg/L

Tabel 2.6 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat (on-shore) (Kepmen/LH 2010)

No	Jenis Air Limbah	Parameter	Kadar Maksimum
1	Air terproduksi	COD	300 mg/L
		Minyak dan Lemak	25 mg/L
		Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	1 mg/L
		Amonia (sebagai NH ₃ -N)	10 mg/L
		Phenol Total	2 mg/L
		Temperatur	45 °C
		pH	6 – 9
		TDS	4000 mg/L
2	Air limbah drainase	Minyak dan Lemak	15 mg/L
		Karbon Organik Total	110 mg/L

Tabel 2.7 Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi (Kepmen/LH 2010)

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gr/m ³)
BOD 5	80	80
COD	160	160
Minyak dan lemak	20	20
Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S)	0,5	0,5
Amonia (sebagai NH ₃ -N)	8	8
Fenol total	0,8	0,8
Temperatur		45 °C
pH		6 – 9
Debit air limbah maksimum	1000 m ³ per 1000 m ³ bahan baku minyak	

2.6 Penelitian yang Sudah Dilakukan

Beberapa penelitian yang terkait dengan proses penyisihan amonia dapat dilihat pada Tabel 2.8.

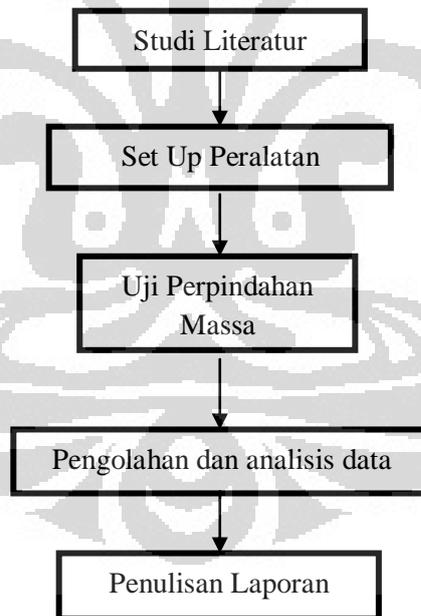
Tabel 2.8 Penelitian yang Sudah Dilakukan

Peneliti dan Tahun	Penelitian
B. Norddahl, V.G. Horn, M. Larsson, J.H. du Preez, dan K. Christensen (2006)	Stripping amonia dengan menggunakan kontaktor membran hidrofobik polipropilena dan asam sulfat (1% w/w) sebagai larutan stripping.
L. Xia, L. Huang, X. Shu, R. Zhang, W. Dong, dan H. Hou (2008)	Penyisihan amonia dari aliran gas dengan <i>dielectric barrier discharge plasmas</i> (DBD). Asam borak (H_3BO_3) sebagai larutan penyerap. Konsentrasi amonia sebelum dan sesudah proses DBD ditentukan dengan metode spektrometrik.
J-Y. Ban, H.I. Kim, S-J. Choung, H. Jeong, dan M. Kang (2008)	Peyisihan amonia pada fasa gasnya menggunakan sistem hibrid <i>dielectric discharge plasma</i> – V-TiO ₂ fotokatalitik. Reaktor yang digunakan bertegangan tinggi 10 kV arus AC. Katalis yang digunakan sebanyak 0,5 gram dan konsentrasi NH ₃ 1000 ppm
S.N Ashrafizadeh dan Z. Khorasani (2010)	Penyisihan amonia dari air limbah menggunakan membran serat berongga polipropilena. Larutan <i>stripping</i> yang digunakan adalah asam sulfat. Parameter yang diukur adalah konsentrasi awal amonia dan asam sulfat, pH amonia, dan kecepatan aliran umpan.
A. Hasanoglu, J. Romero, B. Perez, dan A. Plaza (2010)	Penyisihan amonia dari air limbah melalui kontaktor membran dengan dua modul yang berbeda yaitu membran serat berongga polipropilen hidrofobik (PP) dan membran lembaran datar politetrafluoroetilena (PTFE). Larutan asam sulfat encer digunakan sebagai larutan penyerap.
S. Kartohardjono, M.H Putri, S. Fahmiati, E. Fitriasari, C. Ajeng, dan S. Bismo (2012)	Penyisihan amonia terlarut dalam air limbah dengan kombinasi ozonasi dan absorpsi melalui membran serat berongga polipropilena. Natural Hot Spring Water (NHSW) digunakan sebagai larutan penyerap dengan variasi pH 2, 1, 0.7. Laju sirkulasi air limbah 5 Lpm.
S. Kartohardjono, S. Deflin, dan S. Bismo (2012)	Penyisihan amonia terlarut dalam air limbah dengan kombinasi proses membran, reaktor hibrida ozon plasma, dan ozonator. Larutan penyerap yang digunakan adalah NHSW dengan variasi pH 2, 1, 0.7. Laju sirkulasi air limbah 5 Lpm dan konsentrasi amonia 800 ppm.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini yang dilakukan adalah menyisihkan amonia yang terkandung dalam air limbah dengan menggunakan gabungan proses kontaktor membran serat berongga dan reaktor hibrida ozon plasma yang dibantu dengan ozonator dengan larutan penyerap bahan alam. Selain itu juga akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serat berongga. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Lantai 2 Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Secara garis besar penelitian yang dilakukan dibagi menjadi lima tahapan yaitu studi literatur, *set up* peralatan, uji perpindahan massa, pengolahan dan analisis data, serta penulisan laporan. Penjabaran tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi-referensi baik dari buku, jurnal maupun artikel terutama mengenai kontaktor membran serat berongga, plasma, dan ozon, sifat-sifat amonia dan bahaya yang dapat

ditimbulkan, metode analisis amonia, serta air panas ciater. Penjelasan lebih lengkap terdapat pada Bab II.

3.2 Set up Peralatan

Pada bagian ini dijabarkan mengenai peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

3.2.1 Alat-alat yang digunakan

1. Proses Membran

1) Membran Serat Berongga

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran serat berongga dengan material polivinil klorida, dengan ukuran modul sebagai berikut:

a) Selongsong

Diameter luar : 3 cm

Diameter dalam : 2,4 cm

Panjang : 40 cm

b) Serat

Diameter luar : 1,5 mm

Diameter dalam : 0,8 mm

Ketebalan : 0,35 mm

Membran serat berongga dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Membran Serat Berongga

2) Pompa Peristaltik dan Pompa Air

Pompa peristaltik digunakan untuk mengalirkan larutan penyerap dari reservoir ke dalam serat membran.

Pompa air digunakan untuk mengalirkan limbah dari reservoir menuju modul membran dengan spesifikasi:

- Produk : aquila P 3900
- H max : 2,5 m

Pompa peristaltik dan pompa air dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pompa Peristaltik dan Pompa Air

3) Pipa PVC, sebagai tempat mengalirnya limbah dan menghubungkan antara tangki reservoir limbah dengan kontaktor membran serat berongga.

4) Wadah reservoir, sebagai tempat untuk limbah amonia dan larutan penyerap.

2. Reaktor hibrida ozon plasma

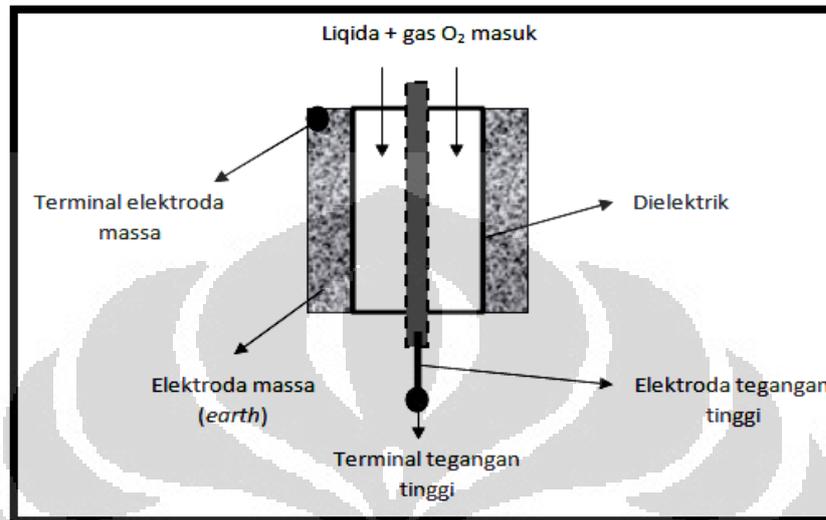
Reaktor hibrida yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil rancangan Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA. yang tersusun atas:

1) Selubung dielektrik

Media dielektrik yang digunakan berbentuk pipa selongsong yang terbuat dari bahan gelas borosilikat. Kedua ujungnya dilengkapi dengan tutup berulir (*screw cap*) sebagai penyangga elektroda tegangan tinggi. Pada jarak 3 cm dari ujung bagian atas diberi lubang kecil berdiameter 3 mm yang digunakan sebagai keluaran (*output*) aliran limbah setelah proses. Spesifikasi dielektrik adalah sebagai berikut :

- Panjang : 24 cm
- Diameter : 2 cm
- Tebal : 1 mm

Media dielektrik terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Media dielektrik

2) Injektor-mixer

Injektor disini berfungsi sebagai tempat bertemunya udara dan aliran fluida yang mana akan terjadi proses pencampuran dan terlihat gelembung-gelembung dalam fluida. Gelembung-gelembung yang terjadi merupakan udara yang diinjeksikan ke dalam aliran fluida agar fluida tersebut kaya akan gas oksigen untuk proses ozonasi. Injektor dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Injektor-mixer

3) Tangki penampung dan Pompa

Tangki berfungsi sebagai wadah limbah.

Pompa digunakan sebagai pendorong aliran dari tangki penampung limbah menuju ke reaktor. Spesifikasi pompa adalah :

- Merek : Deng Yuan seri DY-2600
- Pressure : 80 – 90 psi
- Volt : 24 - 29 VDC
- Ampere : 0,8 A

Tangki dan pompa ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tangki Penampung dan Pompa

4) Regulator tegangan dan NST

Regulator tegangan berfungsi sebagai pengatur tegangan keluaran untuk NST sesuai dengan yang diinginkan agar terjadi pelepasan korona.

Neon sign transformer (NST) berfungsi untuk menaikkan tegangan sehingga menghasilkan energi yang cukup untuk menghasilkan *corona discharge*. Regulator dan NST dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Regulator Tegangan dan NST

5) Flow meter

Flowmeter digunakan terdiri dari dua macam, yaitu :

- Flowmeter gas/ udara

Untuk mengetahui laju alir udara yang mengalir yang ditentukan sesuai dengan variabel.

- Flowmeter liquida

Untuk mengetahui debit limbah yang mengalir yang ditentukan sesuai variabel. Kedua jenis flowmeter dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Flowmeter Gas dan Liquida

6) Ampere meter dan Volt meter

Amperemeter digunakan untuk mengukur besar arus yang mengalir ke dalam rangkaian. Amperemeter dipasang seri pada rangkaian dengan NST (pembangkit plasma) karena tahanan dalam amperemeter sangat kecil.

Voltmeter bermerek Heles digunakan untuk mengukur besar tegangan bolak balik (AC) yang dialirkan ke NST untuk pembangkitan plasma dalam reaktor yang dipasang secara paralel. Amperemeter dan voltmeter dapat dilihat pada Gambar 3.9



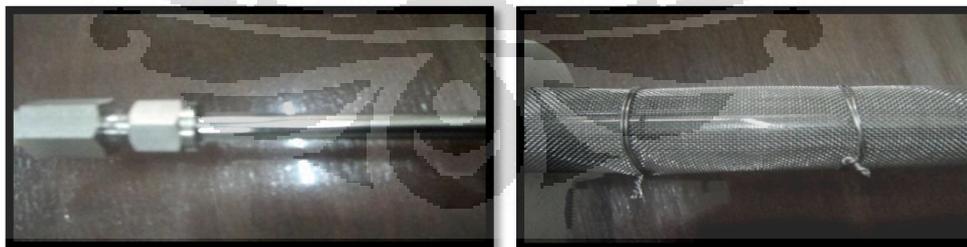
Gambar 3.9 Amperemeter dan Voltmeter

7) Elektroda tegangan tinggi dan Elektroda kasa

Elektroda yang digunakan berbentuk pipa berbahan stainless steel tipe SS-316 dengan diameter 3/8 dimana salah satu ujungnya disumbat dan diberi lubang sebagai keluaran aliran limbah. Spesifikasi elektroda tegangan tinggi adalah sebagai berikut :

- Panjang : 36 cm
- Diameter dalam : 0,7 cm
- Diameter luar : 1 cm

Elektroda kasa terbuat dari bahan Stainless Steel tipe SS-316 yang dililitkan pada dinding reaktor bagian luar. Kedua jenis elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Elektroda Tegangan Tinggi dan Elektroda Kasa

8) Nipple, Elbow, Mur, Baut, dan Selang

Nipple berfungsi sebagai masukan umpan, terbuat dari bahan plastik dan Stainless Steel, dan berukuran 1/4 inci dan 3/8 inci.

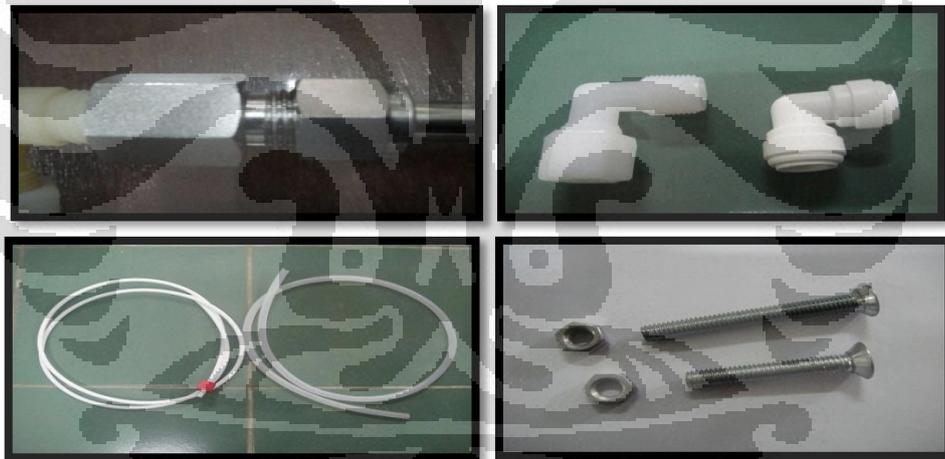
Elbow berfungsi sebagai penghubung antara media dielektrik dan selang, terbuat dari bahan plastik dan berukuran 1/4 inci dan 3/8 inci.

Mur dan baut digunakan sebagai alat kontak dan juga sebagai alat penguat pada papan penyangga, terbuat dari bahan besi berukuran 2 mm dan 3 mm.

Selang berfungsi sebagai penghubung antara satu alat dengan alat lainnya. Selang yang digunakan terdiri dari tiga macam, yaitu :

- Selang berbahan *Polivinyll Chloride* (PVC) yang digunakan untuk aliran gas berwarna agak buram dan kaku.
- Selang berbahan silikon yang digunakan untuk aliran limbah berwarna putih dan lentur.
- Selang berbahan polikarbonat yang digunakan untuk aliran liquida berwarna putih dan kaku.

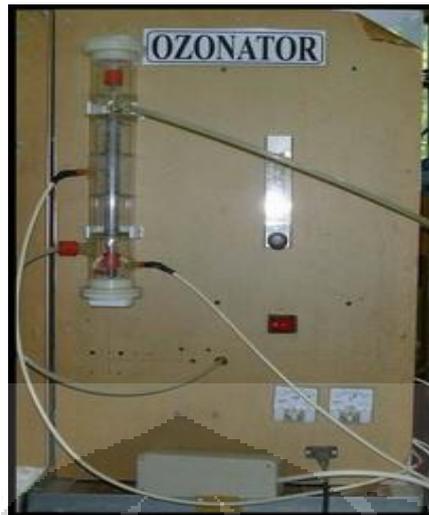
Keempat jenis alat di atas dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.11 Nipple, Elbow, Mur, Baut, dan Selang

3. Ozonator

Ozonator berfungsi sebagai alat yang menghasilkan ozon. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Ozonator

4. Amonia meter, untuk mengukur konsentrasi amonia dengan spesifikasi:
- Produk : Martini Instruments Mi 405
 - Range : 0-9,99 mg/L

Amonia meter ditampilkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.13 Amonia Meter

5. pH meter, merk thermo electron corporation.
6. Kompresor
Sebagai sumber udara yang dihubungkan ke reaktor plasma atau ozonator.

3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan

1. Ammonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)
2. Asam sulfat (H_2SO_4)
3. Natrium hidroksida (NaOH)
4. Air panas Ciater
5. Aquadest (H_2O)
6. Reagen Nessler

3.3 Uji Perpindahan Massa

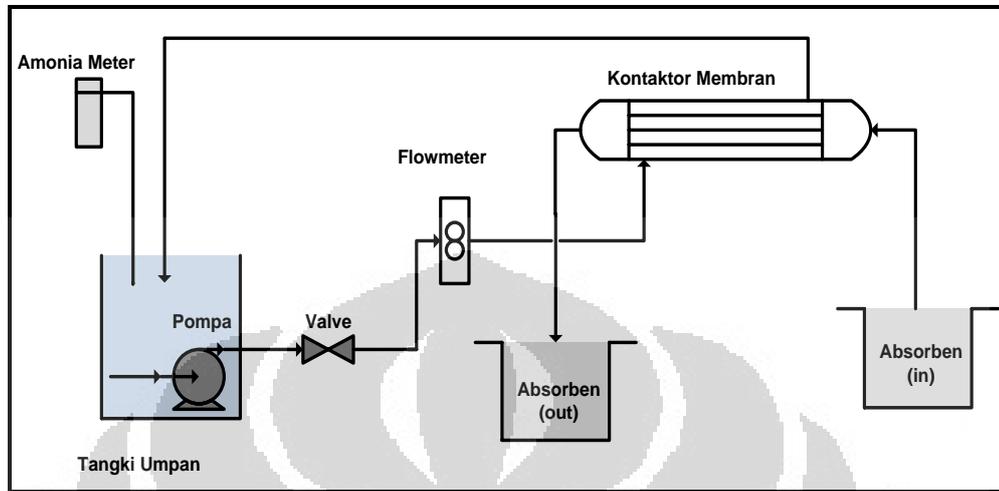
Penelitian yang dilakukan terdiri dari tujuh macam yaitu penyisihan amonia melalui membran serat berongga, proses ozonasi, dan reaktor hibrida ozon plasma, serta penyisihan amonia melalui proses gabungan membran dan reaktor hibrida ozon plasma, membran dan ozonator, reaktor hibrida ozon plasma dan ozonator, dan gabungan membran dengan reaktor hibrida ozon plasma dan ozonator. Penelitian ini dilakukan dengan variasi pH larutan penyerap yaitu diatur pada nilai 2,0, 1,0, dan 0,7. Data perubahan konsentrasi amonia pada berbagai variasi pH dan selang waktu tertentu digunakan untuk mengetahui efisiensi penyisihan dan koefisien perpindahan massa keseluruhan.

3.3.1 Proses Membran

Hal pertama yang dilakukan adalah dengan mengalirkan larutan penyerap bahan alam dengan pH 2,0 ke dalam *lumenside* (membran polivinil klorida). Konsentrasi amonia yang digunakan adalah 800 ppm dengan pH dijaga pada nilai 11. Kemudian limbah amonia ini dipompakan ke dalam *shell* yang laju alirnya diatur menggunakan *valve* menjadi 5 Lpm yang dapat dibaca pada flowmeter. Larutan amonia yang keluar dari *shell* kembali ke dalam bak penampung dan kemudian dialirkan lagi ke dalam *shell*, proses ini terjadi berulang. Limbah amonia yang telah mengalami siklus diukur konsentrasinya dengan menggunakan amonia meter setiap selang waktu 20 menit selama sirkulasi 2 jam. Proses seperti di atas diulang untuk pH larutan penyerap 1,0 dan 0,7.

Untuk menentukan konsentrasi amonia terlarut digunakan alat amonia meter. Studi perpindahan massa dilakukan dengan menghitung nilai koefisien

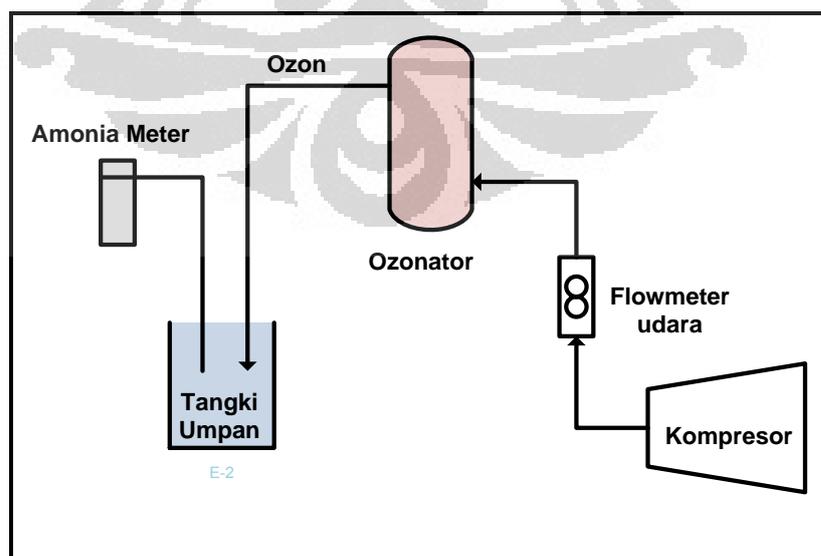
perpindahan massa dengan menggunakan data perubahan konsentrasi amonia. Skema peralatan proses membran dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Skema Peralatan Proses Membran

3.3.2 Proses Ozonasi

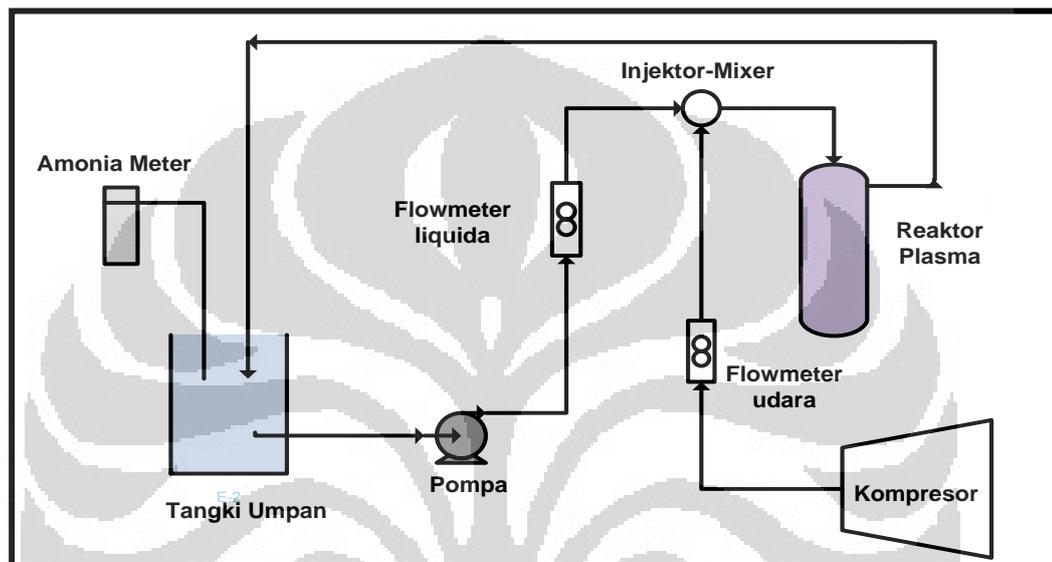
Dalam proses ozonasi, limbah amonia dengan konsentrasi awal 800 ppm tidak disirkulasikan, namun ke dalam limbah tersebut dialirkan ozon yang telah terbentuk di dalam ozonator. Konsentrasi amonia dalam tangki penampung diukur dengan amonia meter untuk setiap selang waktu 20 menit selama sirkulasi 2 jam. Skema peralatan proses ozonasi dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Skema Peralatan Proses Ozonasi

3.3.3 Proses Reaktor Hibrida Ozon Plasma

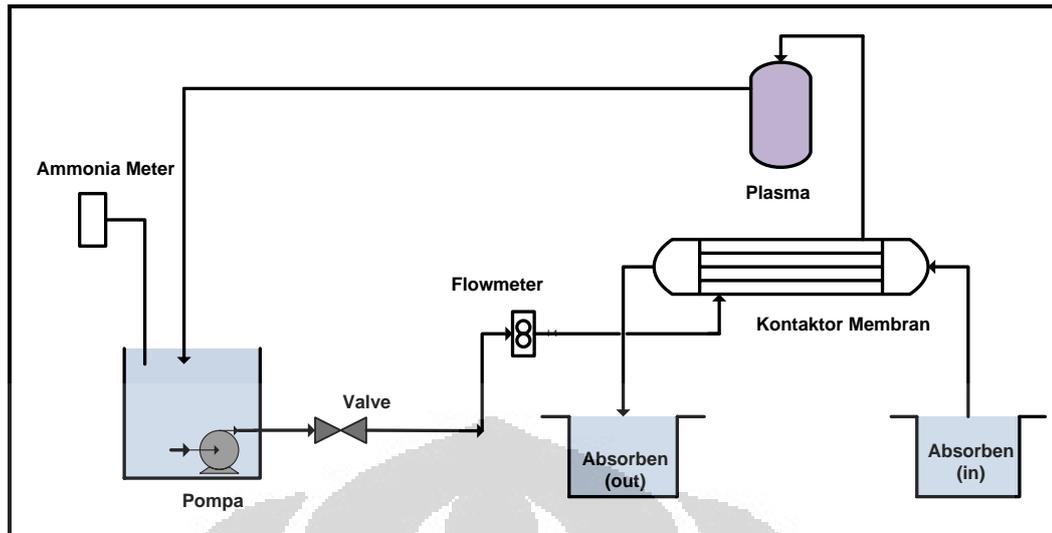
Pada proses ini, penyisihan amonia dilakukan dengan memompakan limbah amonia sintetik dengan konsentrasi 800 ppm dan pH dijaga pada nilai 11 menuju reaktor plasma. Amonia yang telah disirkulasikan diukur konsentrasinya dengan amonia meter untuk setiap selang waktu 20 menit selama sirkulasi 2 jam. Skema peralatan proses plasma dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Skema Peralatan Proses Reaktor Hibrida Ozon Plasma

3.3.4 Proses Gabungan Membran dan Reaktor Hibrida Ozon Plasma

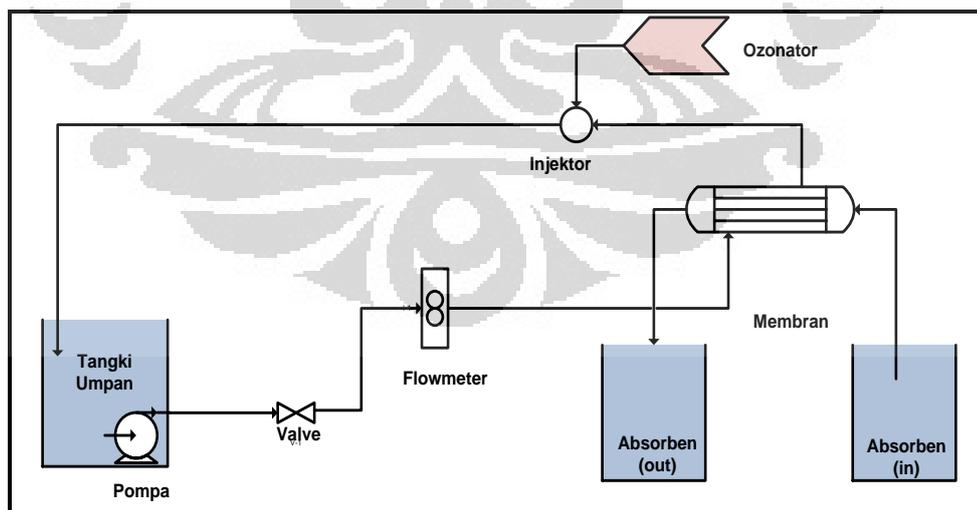
Prosedur yang dilakukan pada penyisihan amonia dengan gabungan membran dan reaktor hibrida ozon plasma adalah sama dengan proses penyisihan amonia melalui proses membran saja, namun pada proses ini keluaran dari membran dialirkan ke dalam reaktor hibrida ozon plasma, proses ini terjadi berulang. Konsentrasi amonia dalam tangki penampungan diukur menggunakan amonia meter setiap rentang waktu 20 menit selama 2 jam. Skema peralatan proses plasma dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Skema Peralatan Proses Gabungan Membran dan Reaktor Hibrida Ozon Plasma

3.3.5 Proses Gabungan Membran dan Ozonator

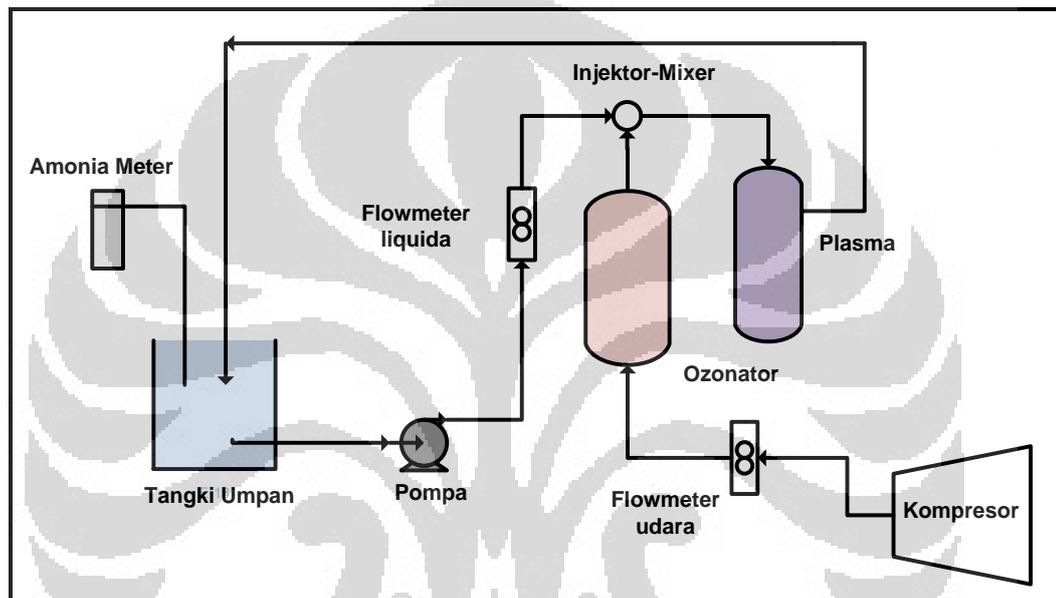
Amonia dipompakan menuju membran dengan melewati injektor terlebih dahulu untuk dikontakkan dengan ozon dari ozonator. Konsentrasi amonia dalam bak penampung diukur menggunakan amonia meter setiap rentang waktu 20 menit selama 2 jam. Skema peralatan proses gabungan membran dan ozonasi dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Skema Peralatan Proses Gabungan Membran dan Ozonator

3.3.6 Proses Gabungan Reaktor Hibrida Ozon Plasma dan Ozonator

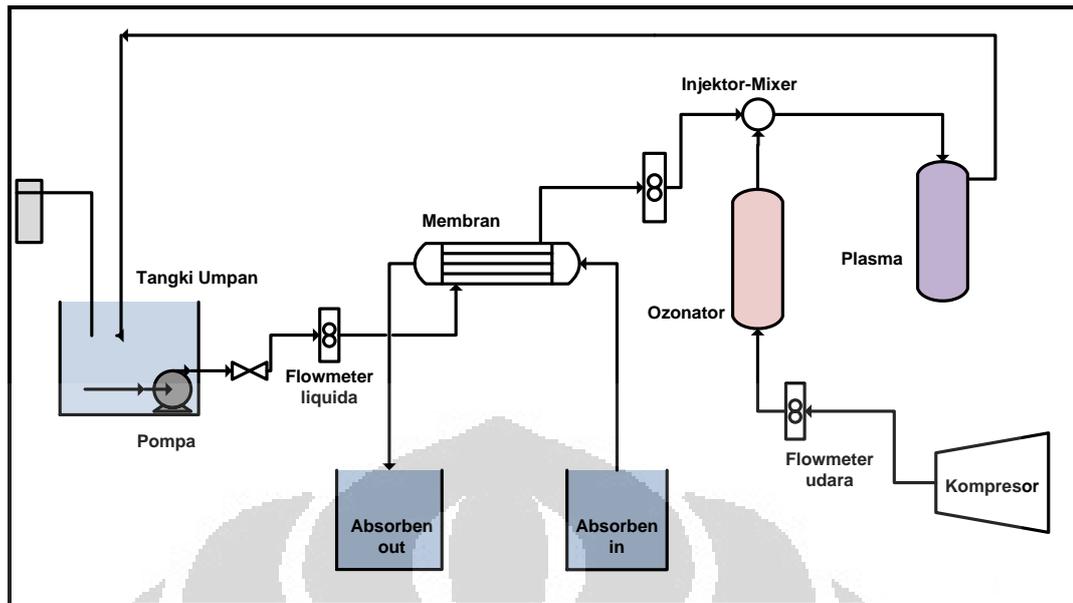
Amonia dipompakan menuju injektor, sebelumnya ozon keluaran dari ozonator juga dialirkan ke dalam injektor, sehingga kedua aliran tersebut bercampur dan kemudian mengalir ke dalam reaktor hibrida ozon plasma. Konsentrasi amonia dalam bak penampung diukur menggunakan amonia meter setiap rentang waktu 20 menit selama 2 jam. Skema peralatan proses gabungan ozonator dan reaktor hibrida ozon plasma dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Skema Peralatan Gabungan Proses Reaktor Hibrida Ozon Plasma dan Ozonator

3.3.7 Proses Gabungan Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma (RHOP), dan Ozonator

Prosedur yang dilakukan pada penyisihan amonia dengan gabungan membran, RHOP dan ozonator adalah sama dengan proses penyisihan amonia melalui proses gabungan membran dan reaktor hibrida ozon plasma, namun pada proses ini ditambahkan ozonator, dimana ozon yang dihasilkan dialirkan ke dalam injektor sehingga bercampur dengan air limbah dan kemudian dialirkan menuju reaktor plasma. Proses ini terjadi berulang. Konsentrasi amonia dalam tangki penampung diukur menggunakan amonia meter setiap rentang waktu 20 menit selama 2 jam. Skema peralatan proses gabungan membran dan reaktor hibrida ozon plasma dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Skema Peralatan Proses Gabungan Membran, Reaktor Hibrida Ozon Plasma (RHOP), dan Ozonator

3.4 Pengolahan dan Analisis Data

Langkah berikutnya adalah mengolah dan menganalisis data untuk mendapatkan persen penyisihan amonia, nilai koefisien perpindahan massa, dan nilai fluks.

3.4.1 Persen Penyisihan Amonia (%R)

Efisiensi penyisihan amonia dari limbah dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\% R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

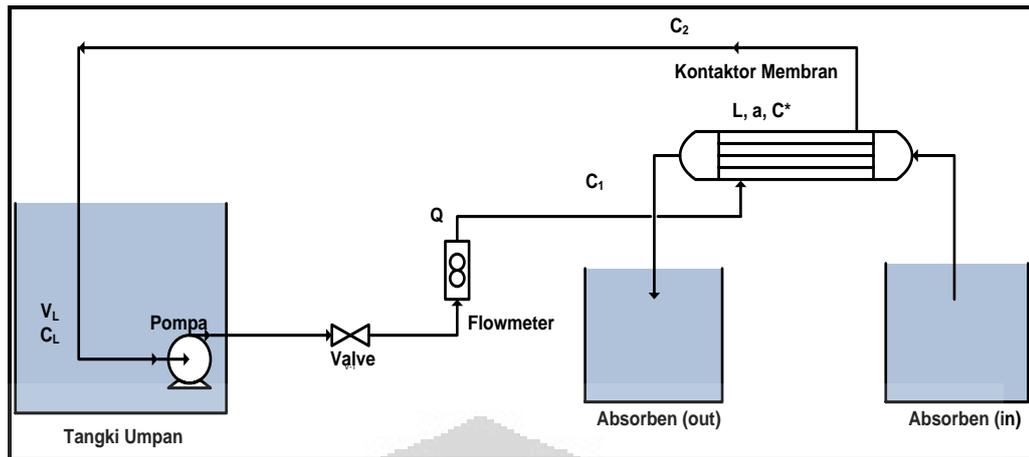
dimana:

C_0 = Konsentrasi awal amonia (ppm)

C_t = Konsentrasi amonia pada saat t (ppm)

3.4.2 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa

Gambar di bawah ini adalah skema alir penyisihan amonia melalui kontaktor membran serat berongga.



Gambar 3.21 Skema Peralatan Proses Membran untuk Penurunan Rumus Koefisien Perpindahan Massa

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

$$V_L \left(\frac{dC_L}{dz} \right) = K \times a \times (C_L - C^*) \quad (3.2)$$

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:

$$\begin{aligned}
& \int_{C_L=C_1 \rightarrow \text{pada } z=0}^{C_L=C_2 \rightarrow \text{pada } z=L} -\frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{z=0}^{z=L} \frac{K a}{V_L} dz \\
& \left[-\ln(C_L - C^*) \right]_{C_1}^{C_2} = \frac{K a L}{V_L} \\
& \ln\left(\frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*}\right) = \frac{K a L}{V_L} \\
& \ln\left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*}\right) = -\frac{K a L}{V_L} \\
& \left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*}\right) = \exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) \\
& C_2 - C^* = (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) \\
& C_2 = C^* + (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) \quad (3.3)
\end{aligned}$$

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

$$V\left(-\frac{dC_1}{dt}\right) = QC_1 - QC_2 \quad (3.4)$$

Substitusi C_2 dari persamaan di atas dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[C^* + (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - (C_1) \right] \\
\frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[(C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - (C_1 - C^*) \right] \\
\frac{dC_1}{(C_1 - C^*)} &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - 1 \right] \quad (3.5)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 C_1 = C \rightarrow \text{pada } t=t & \int_{C_1 = C_0 \rightarrow \text{pada } t=0} \frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - 1 \right] dt \\
 \ln\left(\frac{C - C^*}{C_0 - C^*}\right) & = \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - 1 \right] t
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Dari persamaan ini, koefisien perpindahan massa kesekuruhan (K) dapat dicari dengan memplotkan $\ln[C^*/C^* - C_1]$ vs t , kemudian slope (kemiringan) garis dapat dihitung, dengan demikian nilai K dapat diketahui dengan persamaan (3.7)

$$\begin{aligned}
 \text{slope} & = \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{V_L}\right) - 1 \right] \\
 K & = -\frac{V_L}{aL} \left[\ln\left(\frac{V(\text{slope})}{Q}\right) + 1 \right]
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Dimana:

- K = koefisien perpindahan massa keseluruhan
- Q = debit alir (cm³/det)
- V = volume tangki (cm³)
- a = luas permukaan membran (cm²)
- L = panjang serat (cm)

Dua asumsi penting yang diterapkan dalam dua persamaan di atas adalah:

1. Waktu respon perhitungan ammonia cukup cepat untuk mengawasi laju perubahan ammonia secara akurat.
2. Asumsi umpan konstan yang masuk ke dalam modul harus realistis dengan konsentrasi ammonia dalam tangki yang berubah secara perlahan-lahan jika dibandingkan dengan perubahan konsentrasi di dalam modul.

Kedua asumsi di atas akan memuaskan jika tangki air dengan volume besar digunakan pada desain eksperimen.

3.4.3 Menghitung Nilai Fluks

Nilai fluks dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$J = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{A_m \times t} \quad (3.8)$$

dimana:

C_0 = Konsentrasi awal amonia (ppm)

C_t = Konsentrasi amonia pada saat t (ppm)

V = Volume limbah (L)

A_m = Luas permukaan membran (m^2)

t = waktu (detik)

3.5 Penulisan Laporan

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penulisan laporan dengan susunanyang benar berdasarkan pedoman yang telah ditentukan. Hasil dari tahap pengolahan data kemudian dibuat ke dalam bentuk grafik, sehingga data yang di dapatkan akan lebih mudah untuk dianalisis.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Dalam penelitian ini dilakukan tujuh proses pengujian yaitu penyisihan amonia melalui proses membran, proses dalam reaktor hibrida ozon plasma, proses ozonasi, gabungan reaktor hibrida ozon plasma dan ozonasi, gabungan membran dan reaktor hibrida ozon plasma, gabungan membran-ozonasi, serta gabungan membran, reaktor hibrida ozon plasma (RHOP), dan ozonator. Efektivitas penyisihan amonia terlarut dalam air limbah melalui semua proses tersebut dapat dilihat dari persen penyisihan amonia dan koefisien perpindahan massa.

Pada penyisihan amonia yang melibatkan membran, dilakukan variasi pH larutan penyerap dengan nilai 2,0, 1,0 dan 0,7. Dengan adanya variasi ini dapat diketahui tingkat efektivitas yang terbaik. Sedangkan variabel tetapnya adalah laju alir limbah sebesar 5 Lpm, jumlah serat 60, dan pH limbah 11.

Modul serat berongga yang digunakan bersifat hidrofobik dimana tidak terbasahi baik oleh larutan amonia maupun larutan penyerap. Amonia berdifusi melewati pori pada membran, sehingga konsentrasi amonia dalam air limbah berkurang seiring dengan berjalannya waktu. Sampel dari amonia diukur dengan menggunakan amonia meter Mi 405 produk Martini Instrument, dimana pengambilan sampel dilakukan setiap 20 menit selama waktu sirkulasi 2 jam.

4.2 Penyisihan Amonia Terlarut dalam Air Limbah Sintetis

Persen penyisihan (%*R*) menunjukkan kemampuan dari larutan penyerap dalam mengabsorpsi amonia, semakin tinggi nilai %*R*, semakin baik pula performa dari suatu larutan penyerap. %*R* amonia terlarut dapat dihitung dari perubahan konsentrasi amonia di dalam wadah limbah selama selang waktu tertentu.

Amonia dalam air ada dalam dua bentuk yaitu molekul amonia volatil NH_3 (amonia bebas) dan ion NH_4^+ . Hanya molekul amonia volatil yang dapat

disisihkan melalui membran. Jumlah amonia yang dapat disisihkan sangat bergantung pada pH dan suhu larutan limbah (El-Bourawi M.S. 2007).

Reaksi kesetimbangan amonia dalam air dapat dilihat pada persamaan berikut ini:



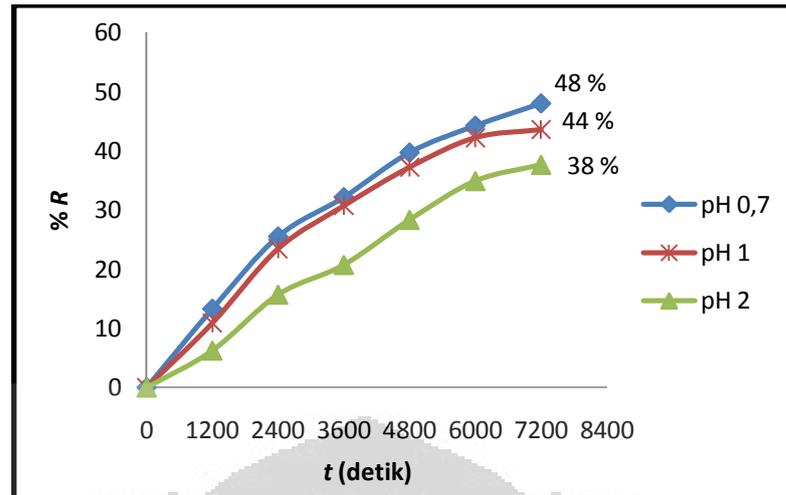
Dengan nilai K_1 sebesar $1,8 \times 10^{-5}$ dan K_2 sebesar $5,6 \times 10^{-10}$. Sehingga pembentukan ion amonium $3,2 \times 10^4$ kali lebih besar dibandingkan dengan pembentukan molekul amonia. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan penyisihan amonia dapat dilakukan dengan meningkatkan pH limbah menjadi 11 melalui penambahan natrium hidroksida (NaOH) 10 M dengan volume tertentu. Dengan meningkatnya pH larutan limbah maka akan meningkatkan jumlah amonia yang terbentuk, sehingga larutan kaya akan molekul amonia yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi penyisihan amonia (El-Bourawi M.S. 2007).

Pada proses tunggal membran, persen penyisihan terbesar diperoleh pada pH larutan penyerap 0,7 yaitu 48%, sedangkan yang terkecil adalah pada pH 2,0. Seperti yang telah diketahui semakin asam larutan penyerap maka akan semakin banyak jumlah amonia yang berdifusi dari air limbah ke larutan penyerap. Kemudian amonia ini akan bereaksi dengan ion sulfat membentuk garam amonium sulfat berdasarkan reaksi di bawah ini:



Berdasarkan persamaan (4.2), jika asam sulfat semakin banyak maka akan semakin banyak pula amonia yang dibutuhkan atau terkonversi menjadi garam amonium sulfat.

Persen penyisihan amonia melalui proses tunggal membran dengan variasi pH larutan penyerap dapat dilihat pada Gambar 4.1.



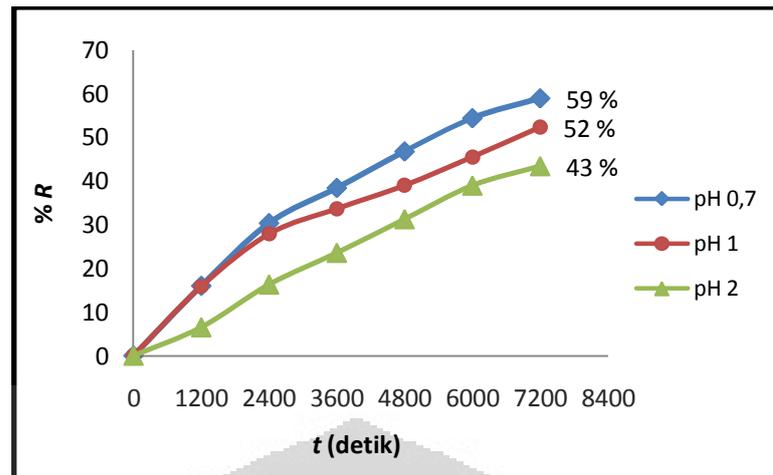
Gambar 4.1 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap %R pada Proses Membran Selama Sirkulasi 2 Jam

Penurunan konsentrasi amonia selama proses penyisihan terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi amonia di dalam *shell* dengan konsentrasi amonia di bagian *lumenside*. Perbedaan konsentrasi ini mendorong molekul amonia untuk berdifusi ke permukaan membran dan kemudian diserap oleh larutan penyerap.

Selain melalui proses membran, penyisihan amonia juga dilakukan melalui proses gabungan membran, reaktor hibrida ozon plasma (RHOP), dan ozonator, dimana setelah melewati membran, air limbah dialirkan ke RHOP yang diinjeksikan ozon dari ozonator. Dengan adanya proses gabungan ini dapat membantu beban penyisihan amonia yang dilakukan oleh membran, karena ada sejumlah amonia yang telah terurai oleh spesies radikal membentuk senyawa lain.

Melalui proses gabungan membran-RHOP-ozonator didapatkan persen penyisihan terbesar pada pH penyerap 0,7 yaitu 59%. Sama halnya seperti pada proses tunggal membran, semakin rendah pH larutan penyerap maka efisiensinya akan semakin tinggi. Hanya saja dalam proses gabungan ini, beban penyisihan dibantu oleh adanya RHOP dan ozonator sehingga terjadi peningkatan efisiensi sebesar 11%.

Variasi %R amonia melalui proses gabungan membran-RHOP-ozonator dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap %R pada Proses Gabungan Membran, RHOP, dan Ozonator Selama Sirkulasi 2 Jam

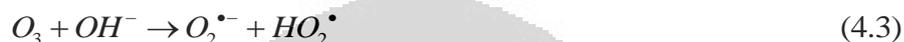
Dalam reaktor hibrida ozon plasma, elektron akan menyerang atom oksigen dan membentuk ozon. Dalam suasana basa, ozon akan terdekomposisi dan membentuk radikal bebas. Karena radikal bebas ini sangat reaktif maka mereka dengan sangat cepat menyerang atom atau molekul lainnya untuk membentuk senyawa baru.

Plasma yang dibangkitkan pada fasa cair memerlukan daya sekitar 200-250 volt. Daya ini lebih kecil dibandingkan dengan daya yang diperlukan dalam membangkitkan plasma pada fasa gas yaitu sekitar 300-700 volt. Hal ini disebabkan karena pada fasa cair jarak antar molekulnya lebih dekat dibandingkan dengan fasa gas. Namun pada fasa cair memerlukan energi yang lebih besar karena molekulnya lebih padat, sehingga plasma membutuhkan energi untuk menjaga elektron dan partikel lainnya untuk tetap berpindah (Xia L. 2008).

Udara yang berasal dari kompresor dialirkan menuju ozonator, dimana udara tersebut akan dikonversi menjadi ozon yang kemudian diinjeksikan ke dalam injektor-mixer. Di dalam injektor-mixer ini ozon akan bercampur dengan air limbah dan kemudian mengalir ke dalam reaktor hibrida ozon plasma. Degradasi amonia dalam reaktor hibrida ozon plasma disebabkan oleh reaksi amonia dengan radikal fasa gas (Xia L. 2008). Ketika ozon dalam larutan asam, mekanisme reaksi yang mendominasi adalah serangan langsung dari ozon pada molekul lainnya, sedangkan pada larutan basa, mekanisme yang dominan adalah serangan radikal bebas (misalnya radikal OH^\bullet , radikal HO_2^\bullet) (Channing 1979).

Dekomposisi ozon menjadi radikal OH^\bullet dapat dipercepat diantaranya dengan meningkatkan pH (Enjarlis 2006). Dekomposisi ozon dalam air diawali dengan reaksi ozon dengan ion OH^- yang diikuti pembentukan beberapa spesies radikal lainnya seperti HO^\bullet , HO_2^\bullet , dan HO_3^\bullet (Rodríguez A. 2008). Reaksi perubahan ozon membentuk spesies radikal melalui tiga tahap yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Reaksinya adalah sebagai berikut:

Inisiasi :



Propagasi :



Terminasi :



Radikal HO^\bullet yang terbentuk kemudian menyerang amonia berdasarkan reaksi berikut ini:

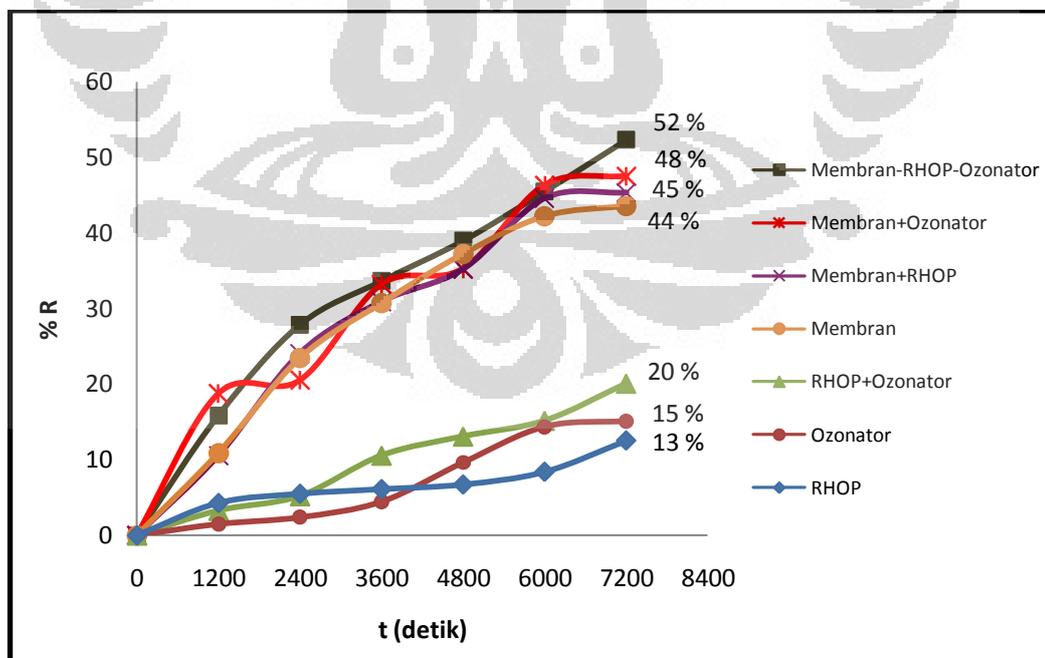


Dari beberapa tahapan reaksi di atas, dapat diketahui bahwa selain membentuk radikal HO^\bullet , dekomposisi ozon juga menghasilkan ion hidroksil

(HO[•]), dimana ion ini berperan dalam menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan amonia. Oleh karena itulah, efisiensi penyisihan amonia melalui proses gabungan membran-RHOP menjadi lebih tinggi.

Reaksi yang terjadi dalam RHOP adalah proses oksidasi lanjut. Proses oksidasi lanjut merupakan suatu metode yang memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida sebagai oksidator yang sangat kuat untuk menguraikan suatu senyawa yang tidak dapat dioksidasi dengan oksidator konvensional seperti oksigen, ozon, dan klorin. Radikal hidroksida memiliki potensial oksidasi sebesar 2,80 eV yang lebih tinggi dibandingkan ozon yang hanya memiliki potensial oksidasi sebesar 2,07 eV (Ikehata K. et al. 2006). Reaksi amonia atau ion amonium 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, sedangkan proses oksidasi oleh radikal OH[•] dapat berlangsung lebih cepat yaitu $9.7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Proses-proses lainnya juga dilakukan dalam penyisihan amonia, seperti proses ozonasi, reaktor hibrida ozon plasma, gabungan membran-ozonasi, gabungan membran dan RHOP, dan RHOP-ozonator. %R dari semua proses penyisihan dapat dilihat pada Gambar 4.3.

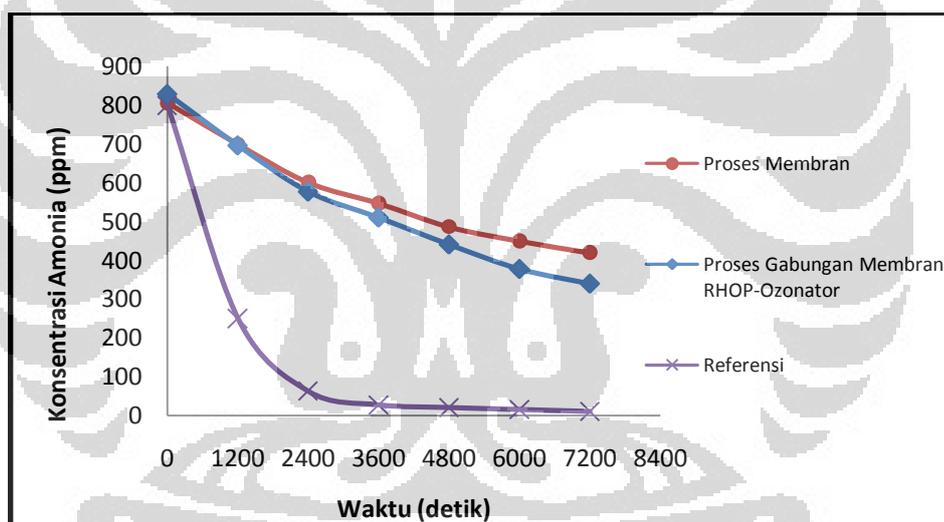


Gambar 4.3 Nilai %R pada Berbagai Macam Proses Selama Selang Waktu 2 Jam

Dari semua proses di atas, proses pada RHOP memiliki %R terkecil yaitu sebesar 13%. Begitu juga dengan proses ozonasi maupun RHOP-ozonasi, nilai %R nya tidak jauh berbeda, namun setelah digabung dengan membran mengalami peningkatan %R yang signifikan hingga mencapai nilai tertinggi 52%. Dari fenomena ini dapat diketahui bahwa membran memegang peranan yang sangat penting dalam proses penyisihan, dan RHOP maupun ozonator membantu mengurangi beban penyisihan membran.

4.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penurunan konsentrasi amonia selama selang waktu 2 jam pada penelitian ini yang kemudian dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ashrafizadeh dan Khorasani pada tahun 2010 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perbandingan Penurunan Konsentrasi Hasil Penelitian Sekarang dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan kondisi operasi antara penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Kondisi Operasi

Kondisi Operasi	Penelitian Sekarang	Penelitian oleh Ashrafizadeh dan Khorasani
pH limbah	11	11
Laju alir limbah (m/s)	0,0014	0,053
Bahan membran	PVC	Polipropilen/Polietylen
Luas permukaan membran (m ²)	0,0603	1,4

Dari Gambar 4.4 diketahui %R penelitian sebelumnya mencapai 99%, sedangkan penelitian yang sekarang hanya 48% pada proses membran, dan 59% pada proses gabungan membran-RHOP-ozonator. Hal ini disebabkan karena luas permukaan membran dan laju alir limbah yang jauh berbeda. Dimana pada penelitian sekarang luas permukaan membran 23 kali lebih kecil, dan laju alir limbah 38 kali lebih kecil dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Seperti yang telah diketahui bahwa semakin besar luas permukaan membran maka semakin luas permukaan kontak antara molekul amonia dengan membran sehingga semakin banyak amonia yang dapat disisihkan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi penyisihan. Begitu juga dengan laju alir, dengan semakin besar laju alir limbah maka akan meningkatkan turbulensi, sehingga akan meningkatkan laju difusi amonia ke dalam *lumenside* yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi penyisihan.

4.4 Studi Perpindahan Massa

Dalam studi perpindahan massa dapat dipelajari pengaruh pH larutan penyerap terhadap perpindahan massa, perbandingan proses penyisihan amonia antara proses membran dengan proses-proses lainnya terhadap perpindahan massa, dan pengaruh pH terhadap fluks yang terjadi.

4.4.1 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap Perpindahan Massa

Keasaman larutan penyerap bahan alam divariasikan menjadi pH 2,0, 1,0, dan 0,7 dengan cara menambahkan asam sulfat 96% dengan volume sesuai kebutuhan. Pengaruh variasi pH ini dapat dilihat dari nilai rata-rata koefisien perpindahan massa yang dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$K = \frac{V}{At} \ln \frac{C_0}{C_t} \quad (4.19)$$

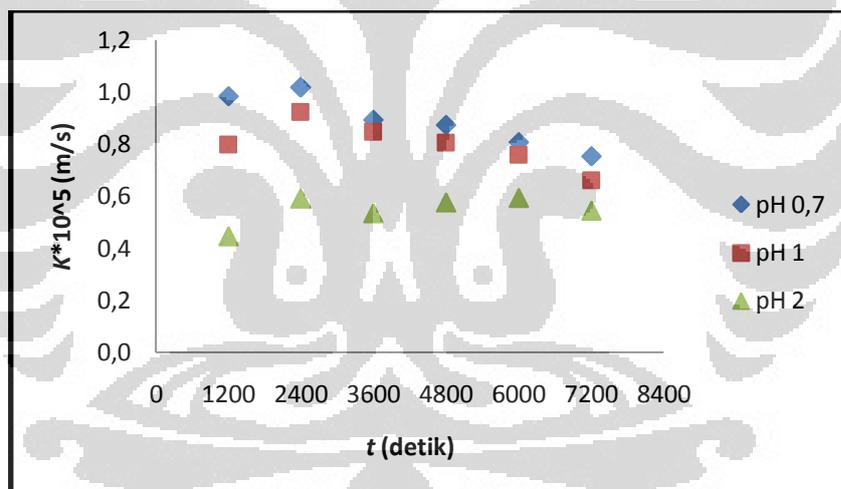
Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

Baik gas amonia (NH_3) atau ion amonium (NH_4^+) ataupun keduanya terdapat dalam air buangan. Perpindahan massa amonia yang terjadi melalui membran sangat dipengaruhi oleh ionisasi tersebut. Molekul amonia dapat

langsung disisihkan dari antar muka membran, akan tetapi ion amonium (NH_4^+) harus bereaksi terlebih dahulu dengan ion hidroksida membentuk amonia untuk kemudian dapat disisihkan. Tidak adanya ion hidroksida dalam air limbah akan menghambat proses penyisihan amonia.

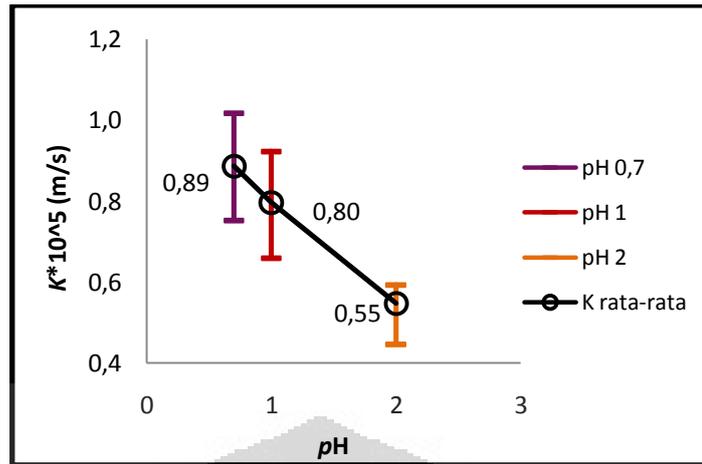
Semakin rendah pH larutan penyerap, maka koefisien perpindahan massanya semakin besar. Karena semakin rendah pH, kandungan ion sulfatnya semakin banyak, dan di sisi lain limbah amonia dijaga pada pH 11, sehingga gas amonia akan banyak yang terserap oleh larutan penyerap.

Untuk mengetahui pengaruh pH larutan penyerap terhadap nilai koefisien perpindahan massa, digunakan data proses penyisihan amonia melalui proses membran dan proses gabungan membran-RHOP-ozonator. Pada proses membran pH 0,7, nilai koefisien perpindahan massa (K_{ov}) adalah $0,89 \times 10^{-5}$ m/s. Untuk mengetahui nilai K_{ov} pada berbagai variasi pH dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Membran Selama Sirkulasi 2 jam

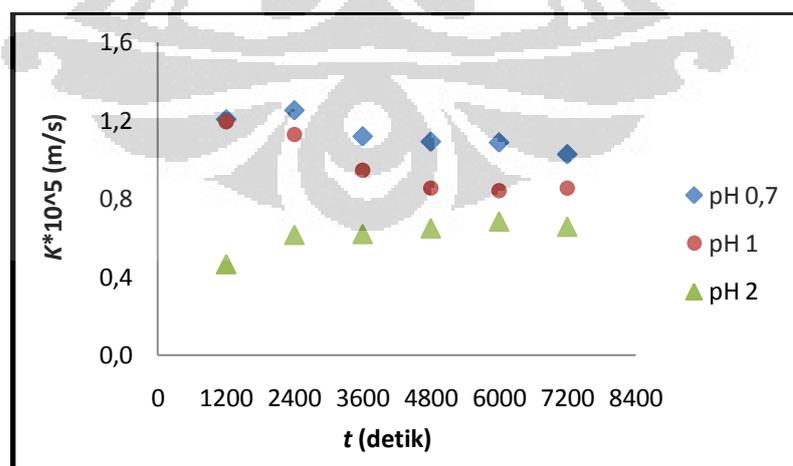
Sedangkan nilai rata-rata koefisien perpindahan massa pada setiap nilai pH dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Membran

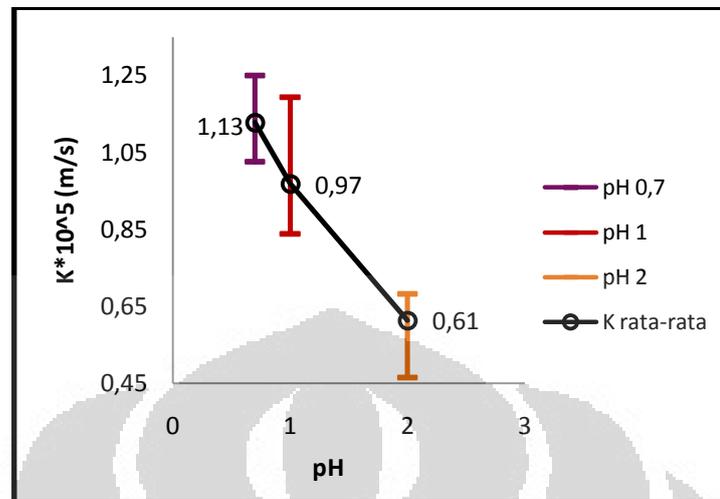
Untuk rentang pH antara 0,7 – 2 pada proses membran, diperoleh koefisien perpindahan massa keseluruhan sebesar $0,75 \times 10^{-5}$ m/s.

Begitu juga dengan nilai koefisien perpindahan massa pada proses gabungan membran-RHOP-ozonator, kecenderungannya sama dengan proses membran, dimana semakin asam pH larutan penyerap maka nilai K_{ov} nya semakin tinggi. Hanya saja karna keberadaan RHOP dan ozonator membantu meningkatkan nilai K_{ov} menjadi $1,13 \times 10^{-5}$ m/s pada pH larutan penyerap 0,7. Untuk melihat pengaruh pH larutan penyerap terhadap koefisien perpindahan massa pada proses gabungan membran-RHOP-ozonator dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator Selama Sirkulasi 2 jam

Nilai koefisien perpindahan massa rata-ratanya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Koefisien Perpindahan Massa pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator

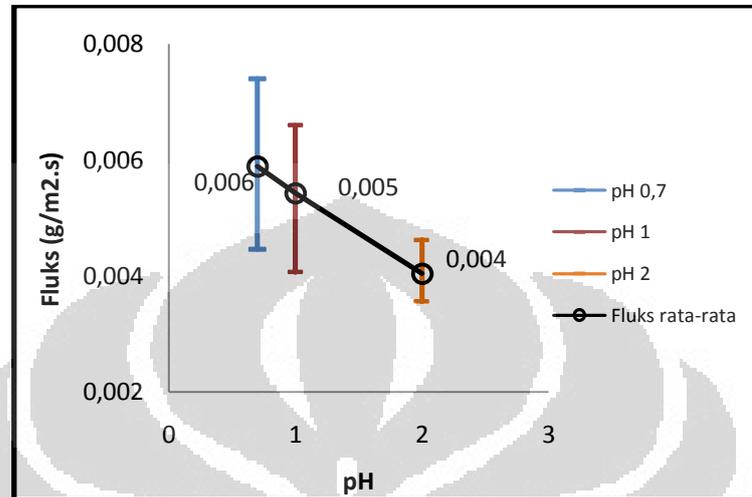
Untuk rentang pH antara 0,7 – 2 pada gabungan proses membran, reaktor hibrida ozon plasma, dan ozonator diperoleh koefisien perpindahan massa keseluruhan sebesar $0,9 \times 10^{-5}$ m/s.

Dengan membandingkan semua proses penyisihan yang dilakukan, proses gabungan membran-RHOP-ozonator dengan pH penyerap 0,7 memiliki nilai % penyisihan amonia dan nilai koefisien perpindahan massa yang lebih baik di antara proses-proses lainnya yaitu sebesar 59% dan $1,13 \times 10^{-5}$ m/s . Hal ini disebabkan karena sejumlah besar amonia diserap oleh membran dan sejumlah lainnya terdegradasi oleh radikal bebas, sehingga meningkatkan % penyisihan dan juga koefisien perpindahan massanya.

4.4.2 Pengaruh pH Larutan Penyerap terhadap Fluks

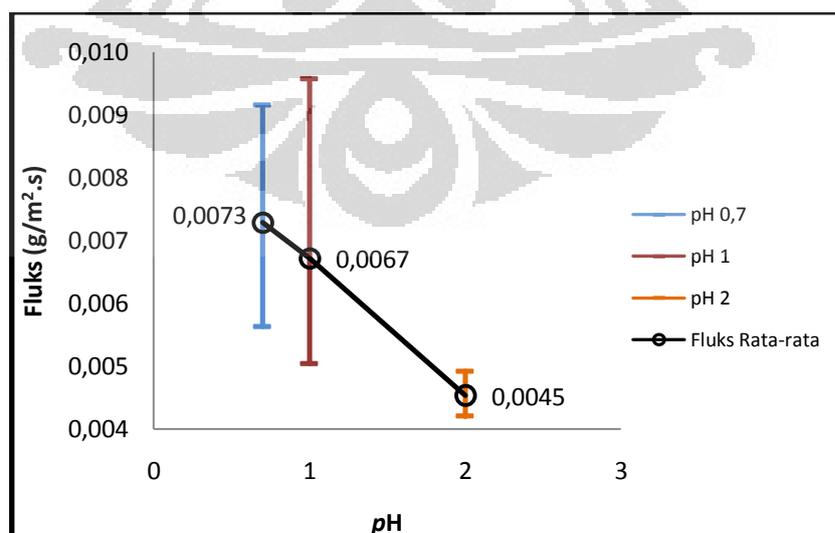
Fluks merupakan banyaknya jumlah amonia yang terpisahkan per luas area membran per satuan waktu. Pada penelitian ini, dilihat pengaruh perbedaan pH larutan penyerap terhadap besarnya fluks yang diperoleh. Dalam perhitungan fluks, beberapa variabel yang mempengaruhi adalah perbedaan konsentrasi yang diperoleh, volume awal limbah, luas permukaan membran, dan selisih waktu yang digunakan. Dalam penelitian ini semua variabel di atas sama setiap variasi pH larutan penyerap, kecuali perbedaan konsentrasi yang diperoleh. Semakin besar

perbedaan konsentrasi setiap selang waktu terhadap konsentrasi awal amonia, maka akan semakin tinggi fluks yang dihasilkan. Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh pH larutan penyerap terhadap fluks pada proses membran.



Gambar 4.9 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap Terhadap Nilai Fluks rata-rata pada Proses Membran

Sama halnya dengan proses membran, pada proses gabungan membran-RHOP-ozonator akan memperlihatkan kecenderungan yang sama yaitu dengan semakin asamnya pH larutan penyerap maka nilai fluks akan semakin tinggi. Pengaruh pH larutan penyerap terhadap nilai fluks pada proses gabungan membran-RHOP-ozonator ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Pengaruh Variasi pH Larutan Penyerap terhadap Nilai Fluks rata-rata pada Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan di atas adalah:

1. Efektivitas penyisihan amonia dari air limbah melalui proses gabungan membran-RHOP-ozonator tergolong baik bila dibandingkan dengan proses tunggal membran. %R pada proses gabungan mencapai 59% sedangkan pada proses tunggal hanya 48%.
2. Semakin rendah pH larutan penyerap, maka penyisihan amonia semakin efektif. Variasi pH yang memberikan hasil paling optimal adalah pada pH 0,7.
3. Nilai koefisien perpindahan massa rata-rata (K rata-rata) pada proses membran dengan rentang pH 0,7-2,0 adalah $0,75 \times 10^{-5}$ m/s, sedangkan untuk proses gabungan antara membran dengan reaktor hibrida ozon plasma dan ozonator dengan rentang pH yang sama adalah $0,9 \times 10^{-5}$ m/s.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya untuk meningkatkan efektivitas penyisihan amonia menggunakan proses gabungan membran-RHOP-ozonator dapat dilakukan dengan cara:

1. Menggunakan pompa yang memiliki tekanan yang lebih besar agar laju alir limbah yang masuk ke dalam reaktor plasma bisa ditingkatkan dari nilai 0,2 Gpm.
2. Meningkatkan kecepatan aliran udara agar ozon dan plasma yang terbentuk lebih banyak.
3. Memperpanjang waktu sirkulasi yaitu lebih dari 2 jam.
4. Memperbanyak jumlah serat membran yang digunakan.
5. Meningkatkan laju alir larutan penyerap.

DAFTAR PUSTAKA

- Bismo S. (2010), 'Rekayasa dan Aplikasi Teknologi Plasma dan Ozon dalam Intensifikasi Proses Menuju Industri Proses Berkinerja Tinggi yang Berwawasan Lingkungan'.
- Channing, L.K., and Helz, G.R. (1979), 'Ozone Reactivity With Seawater Components', *Ozone: Science and Engineering*, 1, 39-46.
- Cui, Z.F. Muralidhara, H.S. (2010), *Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing* (Burlington: Elsevier).
- Drioli, E. and Giorno, L. (2009), *Membrane Operations Innovative Separations and Transformation* (Weinheim: Wiley-VCH).
- Drioli, E., Criscuoli, A., and Curcio, E. (2006), *Membrane Contactors: Fundamentals, Applications, and Potentialities* (11; Weinheim: Wiley-VCH).
- El-Bourawi M.S., Khayet M., Ma R., Ding Z., Li Z., Zhang X., (2007), 'Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal', *Journal of Membrane Science*, 301 (1-2), 200-09.
- Eliezer S. and Eliezer Y. (2001), *The Fourth State of Matter An Introduction to Plasma Science* (Second Edition edn.; Bristol: IOP Publishing).
- Enjarlis, Bismo S., Slamet, Roekmijati, (2006), 'Study Pendahuluan Ozonasi (Katalitik dan Non Katalitik) Limbah Cair Karbofuran', *Reaktor*, 10, 88-95.
- Frensenius, W. (1987), *Water Analysis* (Deutsche Gessellschaft Fur Eschborn).
- Gabelman, A and Hwang, S-T (1999), 'Hollow fiber membrane contactors', *Journal of Membrane Science*, 159 (1-2), 61-106.
- Guo, X., Zhang, Z., Fang, L., Su, L. (2009), 'Study on ultrafiltration for surface water by a polyvinylchloride hollow fiber membrane', *Desalination*, 238 (1-3), 183-91.
- Hasanoğlu, A., Romero, J., Pérez, B., Plaza, A. (2010), 'Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and

- theoretical analysis of operation parameters and configuration', *Chemical Engineering Journal*, 160 (2), 530-37.
- Hidayat, W. (2007), 'Teknologi Membran', *Majari Magazine*.
- Huang L., Li L., Dong W., Liu Y., Hou H., (2008), 'Removal of Ammonia by OH Radical in Aqueous Phase', *Environmental Science Technology*, 42, 8070-75.
- Ikehata K., Naghashkar N.J., and M.G, El-Din (2006), 'Degradation of Aqueous Pharmaceuticals by Ozonation and Advanced Oxidation Processes: A Review', *Ozone: Science & Engineering*, 28 (6), 353-414.
- Irawan, F. (2010), 'Makalah Pengetahuan Bahan Polivinil Klorida', (Universitas Sriwijaya).
- Kartohardjono, S. Putri, M.H. Fahmiati, S. Fitriasari, E. Ajeng, C. Bismo, S. (2012), 'Combination of Ozonation Process and Absorption through Membrane Contactor Using Natural Hot Spring Water as Absorbent to Remove Ammonia from Wastewater', *Journal of Environmental Science and Engineering*.
- Kepmen/LH (2010), 'Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi', (Jakarta).
- Khulbe, K.C. Feng, C.Y. Matsuura, T. (2008), *Synthetic Polymeric Membranes Characterization by Atomic Force Microscopy* (London: Springer Verlag Berlin Heidelberg).
- Mulder, M. (2000), *Basic Principles of Membrane Technology* (Netherland: Kluwer Academic Publisher).
- OR-OSHA (2009), 'Industrial Hygiene Ammonia (NH₃)', (SS-416; Salem: SAIF Corporation).
- Priantoro, A. (2010), 'Manfaat Air Bagi Kehidupan'.
- Putri, M.H. (2011), 'Proses Hibrid Ozonasi dan Membran untuk Penyisihan Amonia dari Air Limbah', (Universitas Indonesia).
- Rodríguez A., Rosal R., Melón J.A.P., Mezcuca M., Agüera A., Hernando M.D., Letón P., Alba A.R.F., Calvo E.G., (2008), 'Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment', *Hdb Env Chem*, 5, 127-75.

- Rohman, S. (2009), 'Teknologi Plasma dalam Dunia Teknik Kimia', *Majari Magazine*.
- Simata, D. (2011), 'Metode Analisis Amonium', *Chemical Engineering* (Blogspot).
- Sugiharto (1987), *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah* (Jakarta: Universitas Indonesia).
- Tanaka J. and Matsumura M. (2003), 'Application of Ozone Treatment for Ammonia Removal in Spent Brine', *Advances in Environmental Research*, 7, 835-45.
- Vinyl and Ecvm, (2012), 'People, Planet, Prosperity The vinyl industry's contribution to sustainability'.
- Warsito A., Syakur A., Arifin F., Kusworo T.D., Syafrudin (2009), 'Aplikasi Reaktor Plasma Lucutan Korona Untuk Menurunkan Kadar Limbah Industri Minuman Ringan', *Prosiding SENTIA* (Politeknik Negeri Malang).
- Xia L., Huang L., Shu X., Zhang R., Dong W., Hou H., (2008), 'Removal of ammonia from gas streams with dielectric barrier discharge plasmas', *Journal of Hazardous Materials*, 152 (1), 113-19.
- Xu, J and Xu, Z-L (2002), 'Poly(vinyl chloride) (PVC) hollow fiber ultrafiltration membranes prepared from PVC/additives/solvent', *Journal of Membrane Science*, 208 (1-2), 203-12.

LAMPIRAN 1
DATA PENGAMATAN

1.1 Data Penyisihan Amonia

1.1.1 Proses Membran

- Jumlah serat membran = 60
- Laju alir larutan amonia = 5 Lpm
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11

a) Penyerap pH 2

t (detik)	[NH₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH₃] (ppm)
0	6,56	1,216	100	797,696
1200	6,15	1,216	100	747,84
2400	5,53	1,216	100	672,448
3600	5,2	1,216	100	632,32
4800	4,7	1,216	100	571,52
6000	4,27	1,216	100	519,232
7200	4,09	1,216	100	497,344

b) Penyerap pH 1

t (detik)	[NH₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH₃] (ppm)
0	6,61	1,216	100	803,776
1200	5,89	1,216	100	716,224
2400	5,06	1,216	100	615,296
3600	4,58	1,216	100	556,928
4800	4,15	1,216	100	504,64
6000	3,82	1,216	100	464,512
7200	3,73	1,216	100	453,568

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,63	1,216	100	806,208
1200	5,75	1,216	100	699,200
2400	4,94	1,216	100	600,704
3600	4,50	1,216	100	547,200
4800	4,00	1,216	100	486,400
6000	3,70	1,216	100	449,920
7200	3,45	1,216	100	419,520

1.1.2 **Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator**

- Jumlah serat membran = 60
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Voltase plasma = 225 V (300 mA)
- Voltase Ozonator = 190 V (460 mA)
- Laju alir udara = 150 Lph
- Laju alir limbah = 0,2 Gpm

a) **Penyerap pH 2**

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,75	1,216	100	820,8
1200	6,31	1,216	100	767,296
2400	5,65	1,216	100	687,04
3600	5,16	1,216	100	627,456
4800	4,64	1,216	100	564,224
6000	4,12	1,216	100	500,992
7200	3,82	1,216	100	464,512

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,75	1,216	100	820,8
1200	5,68	1,216	100	690,688
2400	4,87	1,216	100	592,192
3600	4,48	1,216	100	544,768
4800	4,12	1,216	100	500,992
6000	3,68	1,216	100	447,488
7200	3,22	1,216	100	391,552

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,82	1,216	100	829,312
1200	5,73	1,216	100	696,768
2400	4,75	1,216	100	577,600
3600	4,20	1,216	100	510,720
4800	3,63	1,216	100	441,408
6000	3,11	1,216	100	378,176
7200	2,80	1,216	100	340,480

1.1.3 Proses Gabungan Membran-Ozonator

- Jumlah serat membran = 60
- Laju alir larutan amonia = 5 L/menit
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Voltase Ozonator = 190 V (460 mA)
- Laju alir udara = 150 Lph
- pH penyerap = 1

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,78	1,216	100	824,448
1200	5,51	1,216	100	670,016
2400	5,39	1,216	100	655,424
3600	4,53	1,216	100	550,848
4800	4,39	1,216	100	533,824
6000	3,64	1,216	100	442,624
7200	3,56	1,216	100	432,896

1.1.4 Proses Gabungan Membran-RHOP

- Jumlah serat membran = 60
- Laju alir larutan amonia = 0,2 Gpm
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Laju alir udara = 12,50 Lpm

- pH penyerap = 1
- Voltase plasma = 225 V (300 mA)

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,73	1,216	100	818,368
1200	6,02	1,216	100	732,032
2400	5,11	1,216	100	621,376
3600	4,65	1,216	100	565,44
4800	4,36	1,216	100	530,176
6000	3,73	1,216	100	453,568
7200	3,68	1,216	100	447,488

1.1.5 Proses Ozonator

- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Laju alir udara = 150 Lph
- Voltase Ozonator = 190 V (460 mA)

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,76	1,216	100	822,016
1200	6,66	1,216	100	809,856
2400	6,60	1,216	100	802,560
3600	6,46	1,216	100	785,536
4800	6,11	1,216	100	742,976
6000	5,79	1,216	100	704,064
7200	5,74	1,216	100	697,984

1.1.6 Proses RHOP

- Laju alir larutan amonia = 0,2 Gpm
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Laju alir udara = 12,5 Lpm
- Voltase plasma = 225 V (300 mA)

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,56	1,216	100	797,696
1200	6,28	1,216	100	763,648
2400	6,20	1,216	100	753,92
3600	6,16	1,216	100	749,056
4800	6,12	1,216	100	744,192
6000	6,01	1,216	100	730,816
7200	5,74	1,216	100	697,984

1.1.7 Proses Gabungan RHOP-Ozonator

- Laju alir larutan amonia = 0,2 Gpm
- pH awal larutan amonia = 6
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11
- Laju alir udara = 150 Lph
- Voltase plasma = 225 V (300 mA)
- Voltase Ozonator = 190 V (460 mA)

t (detik)	[NH ₃] terbaca (ppm)	fk	fp	[NH ₃] (ppm)
0	6,73	1,216	100	818,368
1200	6,51	1,216	100	791,616
2400	6,38	1,216	100	775,808
3600	6,02	1,216	100	732,032
4800	5,85	1,216	100	711,36
6000	5,71	1,216	100	694,336
7200	5,38	1,216	100	654,208

LAMPIRAN 2

PENGOLAHAN DATA PERPINDAHAN MASSA

Pada studi perpindahan massa, dilakukan perhitungan efisiensi, slope perubahan konsentrasi, dan koefisien perpindahan massa.

2.1 Perhitungan %R

Efisiensi penyisihan 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 penyisihan amonia pada proses membran pH penyerap 0,7 pada waktu 7200 s:

$$\begin{aligned} \% R &= \frac{806,208 - 419,520}{806,208} \times 100\% \\ &= 47,96 \% \end{aligned}$$

2.1.1 Proses Membran

a) Penyerap pH 2

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	797,696	0
1200	747,84	6,25
2400	672,448	15,70
3600	632,32	20,73
4800	571,52	28,35
6000	519,232	34,91
7200	497,344	37,65

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	803,776	0
1200	716,224	10,89
2400	615,296	23,45
3600	556,928	30,71
4800	504,640	37,22
6000	464,512	42,21
7200	453,568	43,57

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	806,208	0
1200	699,200	13,27
2400	600,704	25,49
3600	547,200	32,13
4800	486,400	39,67
6000	449,920	44,19
7200	419,520	47,96

2.1.2 **Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator**a) **Penyerap pH 2**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	820,800	0
1200	767,296	6,52
2400	687,040	16,30
3600	627,456	23,56
4800	564,224	31,26
6000	500,992	38,96
7200	464,512	43,41

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	820,8	0
1200	690,688	15,85
2400	592,192	27,85
3600	544,768	33,63
4800	500,992	38,96
6000	447,488	45,48
7200	391,552	52,30

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	829,312	0
1200	696,768	15,98
2400	577,600	30,35
3600	510,720	38,42
4800	441,408	46,77
6000	378,176	54,40
7200	340,480	58,94

2.1.3 Proses Gabungan Membran-Ozonator

t (detik)	[NH₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	824,448	0
1200	670,016	18,73
2400	655,424	20,50
3600	550,848	33,19
4800	533,824	35,25
6000	442,624	46,31
7200	432,896	47,49

2.1.4 Proses Gabungan Membran-RHOP

t (detik)	[NH₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	818,368	0
1200	732,032	10,55
2400	621,376	24,07
3600	565,440	30,91
4800	530,176	35,22
6000	453,568	44,58
7200	447,488	45,32

2.1.5 Proses Ozonator

t (detik)	[NH₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	822,016	0
1200	809,856	1,48
2400	802,56	2,37
3600	785,536	4,44
4800	742,976	9,62
6000	704,064	14,35
7200	697,984	15,09

2.1.6 Proses RHOP

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	797,696	0
1200	763,648	4,27
2400	753,92	5,49
3600	749,056	6,10
4800	744,192	6,71
6000	730,816	8,38
7200	697,984	12,50

2.1.7 Proses RHOP-Ozonator

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	efisiensi (%)
0	818,368	0
1200	791,616	3,27
2400	775,808	5,20
3600	732,032	10,55
4800	711,360	13,08
6000	694,336	15,16
7200	654,208	20,06

2.2 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa dihitung menggunakan rumus:

$$K = \frac{V}{At} \ln \frac{C_0}{C_t}$$

Contoh perhitungan koefisien perpindahan massa pada proses membran pH penyerap 0,7 pada waktu 7200 s:

$$K = \frac{5 \times 10^{-3}}{0,0603} \times 0,6532 = 0,7524 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

2.2.1 Proses Membran

a) Penyerap pH 2

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	797,696	0,00000	0,00000
1200	747,84	0,06454	0,44604
2400	672,448	0,17080	0,59023
3600	632,32	0,23233	0,53524
4800	571,52	0,33343	0,57610
6000	519,232	0,42938	0,59351
7200	497,344	0,47245	0,54420
			0,54755

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	803,776	0,00000	0,00000
1200	716,224	0,11533	0,79706
2400	615,296	0,26722	0,92341
3600	556,928	0,36688	0,84521
4800	504,64	0,46548	0,80426
6000	464,512	0,54833	0,75794
7200	453,568	0,57218	0,65908
			0,79782

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	806,208	0,00000	0,00000
1200	699,200	0,14240	0,98420
2400	600,704	0,29424	1,01678
3600	547,200	0,38753	0,89277
4800	486,400	0,50531	0,87308
6000	449,920	0,58327	0,80623
7200	419,520	0,65323	0,75244
			0,88758

2.2.2 **Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator**a) **Penyerap pH 2**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	820,8	0,00000	0,00000
1200	767,296	0,06741	0,46587
2400	687,04	0,17789	0,61471
3600	627,456	0,26861	0,61880
4800	564,224	0,37483	0,64763
6000	500,992	0,49369	0,68240
7200	464,512	0,56929	0,65576
			0,61420

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	820,8	0,00000	0,00000
1200	690,688	0,17259	1,19282
2400	592,192	0,32645	1,12809
3600	544,768	0,40992	0,94435
4800	500,992	0,49369	0,85301
6000	447,488	0,60663	0,83852
7200	391,552	0,74016	0,85258
			0,96823

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	829,312	0,00000	0,00000
1200	696,768	0,17414	1,20356
2400	577,600	0,36171	1,24995
3600	510,720	0,48477	1,11680
4800	441,408	0,63063	1,08961
6000	378,176	0,78524	1,08540
7200	340,480	0,89024	1,02545
			1,12846

2.2.3 **Proses Gabungan Membran-Ozonator**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	824,448	0,00000	0,00000
1200	670,016	0,20741	1,43348
2400	655,424	0,22943	0,79283
3600	550,848	0,40326	0,92900
4800	533,824	0,43465	0,75099
6000	442,624	0,62199	0,85975
7200	432,896	0,64422	0,74206
			0,91802

2.2.4 Proses Gabungan Membran-RHOP

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	ln C ₀ /C _t	K*10 ⁵ (m/s)
0	818,368	0,00000	0,00000
1200	732,032	0,11149	0,77052
2400	621,376	0,27538	0,95160
3600	565,44	0,36971	0,85172
4800	530,176	0,43410	0,75005
6000	453,568	0,59017	0,81576
7200	447,488	0,60366	0,69535
			0,80583

2.3 Perhitungan Nilai Fluks

Nilai fluks dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

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

Contoh perhitungan fluks pada proses membran pH penyerap 0,7 pada waktu 7200 s:

$$J = \frac{(806,208 - 419,520) \times 5}{603 \times 7200}$$

$$= 0,0045 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

2.3.1 Proses Membran

a) Penyerap pH 2

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	797,696	0
1200	747,84	0,00403
2400	672,448	0,00462
3600	632,32	0,00401
4800	571,52	0,00405
6000	519,232	0,00397
7200	497,344	0,00356
		0,00404

b) **Penyerap pH 1**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	803,776	0
1200	716,224	0,00622
2400	615,296	0,00660
3600	556,928	0,00574
4800	504,64	0,00521
6000	464,512	0,00472
7200	453,568	0,00406
		0,00543

c) **Penyerap pH 0,7**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	806,208	0,00000
1200	699,200	0,00739
2400	600,704	0,00710
3600	547,200	0,00597
4800	486,400	0,00552
6000	449,920	0,00492
7200	419,520	0,00445
		0,00589

2.3.2 **Proses Gabungan Membran-RHOP-Ozonator**a) **Penyerap pH 2**

t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	820,800	0
1200	767,296	0,00429
2400	687,04	0,00492
3600	627,456	0,00465
4800	564,224	0,00458
6000	500,992	0,00454
7200	464,512	0,00420
		0,00453

b) **Penyerap pH 1**

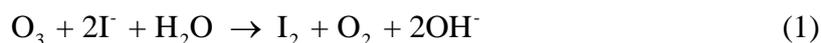
t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	820,8	0
1200	690,688	0,00958
2400	592,192	0,00819
3600	544,768	0,00655
4800	500,992	0,00567
6000	447,488	0,00528
7200	391,552	0,00504
		0,00672

c) **Penyerap pH 0,7**

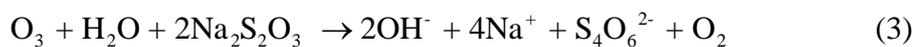
t (detik)	[NH ₃] (ppm)	Fluks (g/m ² .s)
0	829,312	0
1200	696,768	0,00916
2400	577,600	0,00870
3600	510,720	0,00734
4800	441,408	0,00670
6000	378,176	0,00623
7200	340,480	0,00563
		0,00729

2.4 **Uji Produktivitas Ozon**2.4.1 **Ozonator + RHOP**

Reaksi kimia ozon dengan KI :



Pembebasan iod dengan Na₂S₂O₃.5H₂O :



Dari reaksi kimia di atas, dapat dihitung produktivitas ozon. Contoh perhitungan pada tegangan ozonator 190 V dan tegangan plasma 225 V.

$$\begin{aligned} \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times M \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,0008 \text{ L} \times 0,005 \text{ mol} \\ &= 4 \times 10^{-6} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\text{mol O}_3 = 0,5 \times 4 \times 10^{-6} \text{ mol} = 2 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

$$\text{berat O}_3 = 2 \times 10^{-6} \text{ mol} \times 48 \text{ g/mol} = 9,6 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$\text{produktivitas ozon} = \frac{9,6 \times 10^{-5} \text{ g}}{6 \text{ s}} = 0,0576 \text{ g/jam}$$

2.4.2 RHOP

$$\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times M \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

$$= 0,0003 \text{ L} \times 0,005 \text{ mol}$$

$$= 1,5 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

$$\text{mol O}_3 = 0,5 \times 1,5 \times 10^{-6} \text{ mol} = 7,5 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

$$\text{berat O}_3 = 7,5 \times 10^{-7} \text{ mol} \times 48 \text{ g/mol} = 3,6 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$\text{produktivitas ozon} = \frac{3,6 \times 10^{-5} \text{ g}}{62 \text{ min}} = 3,48 \times 10^{-5} \text{ g/jam}$$