



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIFITAS PENGOLAHAN LIMBAH AIR YANG
MENGANDUNG AMONIA MENGGUNAKAN REAKTOR
CONTACT GLOW DISCHARGE ELECTROLYSIS**

SKRIPSI

BAGUS PRIYOGORENO ADIWIDODO

0906604086

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI, 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIFITAS PENGOLAHAN LIMBAH AIR YANG
MENGANDUNG AMONIA MENGGUNAKAN REAKTOR
CONTACT GLOW DISCHARGE ELECTROLYSIS**

SKRIPSI

**DIAJUKAN SEBAGAI SALAH SATU SYARAT UNTUK
MEMPEROLEH GELAR SARJANA TEKNIK KIMIA**

OLEH

BAGUS PRIYOGORENO ADIWIDODO

0906604086

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI, 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bagus Priyogoreno Adiwidodo

NPM : 0906604086

Tanda tangan : 

Tanggal : 20 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Bagus Priyogoreno Adiwidodo

NPM : 0906604086

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Efektifitas Pengolahan Limbah Air Yang Mengandung Amonia
Menggunakan Reaktor *Contact Glow Discharge Electrolysis*

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

Dewan Penguji :

Pembimbing : Dr. Ir Nelson Saksono, MT.

Penguji : Prof. Dr. Setijo Bismo, DEA.

Prof. Sutrasno K., Msc., PhD.

Bambang Heru Susanto, ST., MT.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul **“Efektifitas Pengolahan Limbah Air Yang mengandung Amonia Menggunakan Reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis”** ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik kimia. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Nelson Saksono MT. Selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, waktu dan arahan selama proses penyusunan. Selain itu juga, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI
2. Ir. Yuliusman M.Eng selaku koordinator seminar Teknik Kimia FTUI
3. Ir. Bambang Heru Susanto MT. selaku pembimbing akademis penulis.
4. Dosen-dosen di lingkungan Departemen Teknik Kimia yang telah memberi ilmu selama tiga tahun.
5. Kedua orangtua penulis yang telah memberi dukungan doa, moril dan materi kepada penulis.
6. Krisna Irawan sebagai rekan satu bimbingan penulis dalam tugas akhir ini.
7. Semua teman penulis di Program Ekstensi Teknik Kimia FTUI 2009, 2008, dan 2010.
8. Drs. Sunardi Msi. dan rekan-rekan penulis di Lab Afiliasi FMIPA UI yang telah memberikan dukungan berupa informasi kepada penulis.
9. Fitri Alyani yang terus memberi dorongan semangat dan motivasi kepada penulis.

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

Depok, 20 Juni 2012

Bagus P. Adiwidodo

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Bagus Priyogoreno Adiwidodo

NPM : 0906604086

Program Studi : 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: **“Efektifitas Pengolahan Limbah Air Yang mengandung Amonia Menggunakan Reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 20 Juni 2012

Yang Menyatakan



Bagus Priyogoreno Adiwidodo

ABSTRAK

Nama : Bagus Priyogoreno Adiwidodo

Program studi : Teknik Kimia

Judul : Efektifitas Pengolahan Limbah Air Yang mengandung Amonia Menggunakan Reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pengolahan air limbah yang mengandung amonia menggunakan metode CGDE. Amonia yang berasal dari limbah dan polutan dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan limbah air yang mengandung amonia untuk meminimalisir jumlah amonia yang memasuki sumber-sumber air yang dipakai oleh manusia. Pengolahan limbah amonia telah dilakukan dalam beberapa metode yaitu dengan menggunakan kultur bakteri *Nitrosomonas sp.* dan bakteri *Nitrobacter sp.*, menggunakan radikal hidroksil (OH^{\bullet}) yang dihasilkan dari *photolysis* H_2O_2 , dan menggunakan proses kontak fasa uap. Contact Glow Discharge Electrolysis (CGDE) atau elektrolisis plasma adalah metode yang dapat menghasilkan radikal hidroksil (OH^{\bullet}) dimana radikal hidroksil tersebut merupakan spesies aktif non-selektif yang dapat mendegradasi berbagai macam komponen. Pada penelitian ini CGDE dilakukan dengan beberapa variasi yaitu variasi konsentrasi elektrolit, variasi konsentrasi limbah amonia, serta variasi penambahan katalis. Dari hasil penelitian didapat kondisi yang optimum yaitu dengan menggunakan larutan elektrolit dengan konsentrasi 0,02 molar dan tidak menggunakan katalis dimana persentasi degradasi yang dihasilkan mencapai 81,99 % dengan konsumsi energi untuk mendegradasi amonia mencapai 592.131,6 kilojoule/mol amonia terdegradasi

Kata kunci: Contact Glow Discharge Electrolysis, Amonia, Plasma.

ABSTRACT

Nama : Bagus Priyogoreno Adiwidodo

Program studi : Chemical Engineering

Judul : Effectiveness for Ammonia Contained Waste Water Treatment Using Contact Glow Discharge Electrolysis Reactor

In this research, ammonia contained waste water treatment will use CGDE methods. Ammonia comes from waste water as a pollutant that influences human's health and environment. Therefore it is necessary to treat ammonia contained waste water to minimize the amount of ammonia that contaminate human's water sources. Ammonia waste water treatment recently observed by some methods like using some bacteria like *Nitrosomonas* and *Nitrobacter sp.* The other ways are by using hydroxyl radical (OH^\bullet) generated from H_2O_2 photolysis and by using vapour phase contact. Contact Glow Discharge Electrolysis (CGDE) is a method that can generate hydroxyl radical where hydroxyl radical itself is a non-selective active species that can degrade much components. In this research, CGDE is run in some variations such as various electrolyte concentrations, various ammonia concentration and in addition of catalyst. This research generate optimum condition from using 0,02 molar electrolyte concentration without catalyst where ammonia degradation percentage reaches 81,99 % while consuming energy to degrade as much as 592.131,6 kilojoule / mol degraded ammonia.

Keyword : Contact Glow Discharge Electrolysis, Ammonia, Plasma

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
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 State of The Art.....	5
2.2 Karakteristik Amonia.....	6
2.3 Bahaya Limbah Amonia.....	8
2.4 Keseimbangan Amonia dan Amonium Dalam Air.....	8
2.5 Amonium Sulfat	9
2.6 Pengolahan Limbah Amonia.....	10
2.6.1 Pengolahan Limbah Amonia Dengan Bioremediasi.	10
2.6.2 Pengolahan Limbah Amonia Dengan Proses kontak fasa uap .	11
2.6.3 Pengolahan Limbah Amonia melalui proses oksidasi lanjut ...	11
2.6.4 Pengolahan Limbah Amonia menggunakan membran.	12

2.6.5 Pengolahan Limbah Amonia dengan Fotolisis	13
2.7. Elektrolisis Plasma	14
2.8 Aplikasi Elektrolisis Plasma untuk Pengolahan Limbah.	16
2.8.1 Elektrolisis plasma untuk degradasi limbah	17
2.9 Mekanisme Pembentukan OH Radikal dalam Elektrolisis Plasma.	19
2.10 Contact Glow Discharge Electrolysis	20
2.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Elektrolisis Plasma	
Dalam Mengolah Limbah.....	23
2.11.1 Tegangan Operasi Pada Elektrolisis Plasma.....	23
2.11.2 Pengaruh Larutan Elektrolit terhadap Kinerja Elektrolisis	
Terhadap Kinerja Elektrolisis plasma	24
2.11.3 Pengaruh Temperatur pada Elektrolisis Plasma.....	26
2.11.4 Pengaruh Dimensi Anoda pada Elektrolisis Plasma	27
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	29
3.1. Diagram Alir.....	29
3.2. Rancangan Penelitian.....	30
3.2.1 Studi Literatur	30
3.2.2 Prepasi Sampel.....	30
3.2.3 Pengolahan sampel sintetik amonia dengan menggunakan	
Elektrolisis plasma	30
3.2.4 Pengambilan sampel.....	31
3.2.5 Analisa sampel	31
3.3 Deskripsi Alat Penelitian.....	31
3.4 Prosedur penelitian.....	33
3.4.1 Preparasi Sampel.....	33
3.4.1.1 Alat dan Bahan	33
3.4.1.2 Prosedur	33
3.4.2 Pengamatan dengan elektrolisis plasma	34

3.4.2.1	Alat dan Bahan	34
3.4.2.2	Prosedur	34
3.4.3	Pengambilan sampel	35
3.4.3.1	Alat dan Bahan	35
3.4.3.2	Prosedur	35
3.4.4	Analisis sampel dengan metode nessler	35
3.4.4.1	Alat dan Bahan	35
3.4.4.2	Prosedur	36
3.4.5	Pengujian kadar H ₂ O ₂ dengan spektrofotometer visibel	36
3.4.5.1	Peralatan	37
3.4.5.2	Bahan	37
3.4.5.3	Prosedur	37
3.4.6	Pengolahan data	37
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1.	Visualisasi dan Karakteristik tegangan dan arus	38
4.2.	Kinerja Elektrolisis Plasma	42
4.3.	Perbandingan konsumsi energi elektrolisis dan elektrolisis plasma.....	49
4.4	Pengujian jumlah hidrogen peroksida.....	50
BAB 5.	KESIMPULAN	52
	DAFTAR PUSTAKA.....	53
	LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kimia Ammonia.....	7
Gambar 2.2	Pengaruh pH pada Distribusi Amonia dan Amonium Dalam Air	9
Gambar 2.3	Profil dan pH untuk Amonia, Nitrit dan Nitrat dengan Konsentrasi awal H ₂ O ₂ 0.02 M dan pH Awal 9.3	14
Gambar 2.4	Reaksi Kimia Redoks pada bagian Anoda dan Katoda pada Elektrolisis biasa.....	15
Gambar 2.5	Kurva Hubungan Arus listrik dan Tegangan pada saat proses Elektrolisis plasma.....	16
Gambar 2.6	Mekanisme Reaksi degradasi Zat pewarna oleh OH radikal	19
Gambar 2.7	Konfigurasi Reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis.....	21
Gambar 2.8	Reaktor Elektrolisis Plasma dalam produksi Hidrogen	22
Gambar 2.9	Kurva Hubungan antara Arus listrik dan tegangan Pada degradasi Naphtylamine	23
Gambar 2.10	Efek tegangan terhadap Pembentukan radikal OH. Pada grafik waktu terhadap konsentrasi radikal OH	23
Gambar 2.11	Selektivitas OH radikal dalam temperatur yang berbeda	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan.....	29
Gambar 3.2	Konfigurasi alat elektrolisis plasma untuk pengolahan limbah Air yang mengandung Amonia.	32
Gambar 4.1	Visualisasi dan fenomena pembentukan plasma pada Berbagai tegangan	39
Gambar 4.2	Kurva Hubungan tegangan dan arus pada variasi konsentrasi	40

Gambar 4.3 Perbandingan degradasi amonia pada berbagai konsentrasi Elektrolit.....	42
Gambar 4.4 Perbandingan degradasi amonia berdasarkan variasi Konsentrasi Limbah amonia	44
Gambar 4.5 Perbandingan degradasi amonia berdasarkan penambahan Katalis	45
Gambar 4.6 Perbandingan tingkat konsumsi energi pada variasi Konsentrasi KOH.....	46
Gambar 4.7 Tingkat Konsumsi energi pada variasi konsentrasi limbah.....	47
Gambar 4.8 Konsumsi Energi berdasarkan ada atau tidaknya katalis	48
Gambar 4.9 Perbandingan konsumsi energi antara elektrolisis plasma Dan elektrolisis biasa	59
Gambar 4.10 Persentase konsentrasi H ₂ O ₂ pada berbagai kondisi pengujian.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 State of the art	6
Tabel 2.2 Bahaya Amonia terhadap kesehatan manusia	8
Tabel 2.3 Sifat fisik dan kimia amonium sulfat	10
Tabel 2.4 Potensial Oksidasi Oksidan dalam Pengolahan Air	12
Tabel 2.5 Degradasi beberapa senyawa organik menggunakan Elektrolisis Plasma.....	18
Tabel 2.6 Konsentrasi pembentukan H_2O_2 sebagai indikasi adanya OH Radikal pada metode pengolahan limbah lainnya.....	20
Tabel 2.7 Pengaruh Konstituen Elektrolit pada Elektrolisis Plasma dengan Konduktivitas yang sama yaitu 5 mS/cm	25
Tabel 2.8 Pengaruh Dimensi Anoda terhadap Tegangan Kritis	27
Tabel 4.1 Kondisi V_d dan V_{min} pada masing-masing konsentrasi.....	41
Tabel 4.2 Perbandingan jumlah radikal hidroksil dan amonia yang terdegradasi Pada kondisi yang optimum	51

DAFTAR LAMPIRAN

1. Contoh Perhitungan persiapan limbah sintetis amonia.....	55
1.1 Contoh Pembuatan larutan limbah sintetis.....	55
1.1.1 Membuat larutan sintetis amonia 100 ppm dari $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	55
1.2 Contoh Perhitungan Pembuatan larutan KOH.....	55
1.2.1 Contoh pembuatan larutan KOH 0,02 molar.....	55
1.3 Contoh Perhitungan penimbangan katalis Fe^{2+} dari FeSO_4	56
2. Data Penelitian.....	56
2.1 Contoh data pengukuran kinerja plasma.....	56
2.1.1 Contoh pengukuran larutan standar.....	56
2.1.2 Contoh perhitungan persentase degradasi.....	57
2.1.3 Contoh perhitungan tingkat konsumsi energi.....	58
3. Rangkuman data.....	59
3.1 Variasi Konsentrasi Elektrolit.....	59
3.1.1 0,02 molar.....	59
3.1.2 0,03 molar.....	60
3.1.3 0,01 molar.....	60
3.2 Variasi konsentrasi limbah.....	61
3.2.1 100 ppm.....	61
3.2.2 150 ppm.....	61
3.3 Variasi penambahan katalis.....	62
3.3.1 Tanpa penambahan katalis.....	62
3.3.2 Dengan penambahan katalis.....	62
3.4 Perbandingan elektrolisis biasa dan elektrolisis plasma.....	63
3.4.1. Elektrolisis plasma.....	63
3.4.2 Elektrolisis biasa.....	63
3.5 Konsentrasi H_2O_2	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Air merupakan kebutuhan vital setiap makhluk hidup khususnya manusia. Kebutuhan air bersih setiap tahunnya meningkat dengan bertambahnya populasi manusia, sehingga saat ini semakin banyak penduduk bumi yang mengalami kesulitan mendapatkan air bersih. Hal ini disebabkan telah tercemarnya berbagai sumber air seperti sungai dan danau oleh berbagai limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia itu sendiri. Salah satu polutan yang banyak mencemari air sungai adalah amonia. Senyawa ini berasal dari industri pupuk, kertas, dan plastik dimana kadar amonia dalam limbah buangan pabrik berkisar antara 300-3000 ppm (Marsidi, 2002). Selain itu amonia juga dihasilkan dari urin yang merupakan hasil reaksi antara asam urat dan sedikit air dalam sistem sekresi manusia dan hewan. Keberadaan amonia dalam air sangat berbahaya karena dapat mematikan ikan dan menyebabkan terjadinya *alga bloom* karena kandungan nitrogen dalam amonia yang dapat menyuburkan tumbuhan didalam air. Kasus pencemaran amonia di beberapa sungai di Jabotabek saat ini sangat mengkhawatirkan. Misalnya data kualitas air sungai di sungai Bojong dan sungai Kaliabang Hilir yang masing-masing mencapai 19,52 dan 59,06 ppm (Susmarkanto, 2002).

Pengolahan terhadap amonia telah dilakukan dengan beberapa metode diantaranya menggunakan kultur campuran bakteri *Nitrosomonas sp.* dan bakteri *Nitrobacter sp.* Penyisihan amonia dengan metode tersebut sebesar 69,23% (Teske, 1994). Namun, diperlukan waktu yang cukup lama untuk pengolahannya. Metode lain yang telah dikembangkan yaitu dengan menggunakan radikal hidroksil (OH^{\bullet}) yang dihasilkan dari *photolysis* H_2O_2 menggunakan radiasi lampu merkuri dengan panjang gelombang sebesar 253,7 nm selama 5 jam. Radikal hidroksil merupakan spesi aktif yang mampu mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang sulit terdekomposisi. Pada penelitian ini, amonia yang tersisihkan

sebesar 26,4 % (Huang, 2008). Perolehan konversi penyisihan amonia pada reaksi fotolisis masih kurang optimal.

Elektrolisis plasma kontak (CGDE) merupakan salah satu metode reaksi oksidasi lanjut yang sangat produktif menghasilkan radikal hidroksil dibanding metode oksidasi lanjut lainnya. Tegangan listrik yang lebih tinggi dibanding reaksi elektrolisis Faraday menyebabkan terbentuknya plasma pada larutan (Saksono, 2010). Plasma sendiri merupakan elektron yang terionisasi menjadi elektron teraktivasi. Plasma tersebut memiliki konduktivitas listrik yang relatif tinggi dan akan menghasilkan spesi-spesi reaktif seperti radikal hidroksil dalam jumlah besar. Radikal hidroksil bersifat oksidator kuat dan sangat efektif mendegradasi beberapa senyawa limbah dalam air yang sulit teroksidasi seperti Eosin dan Nitrophenol. Gao (2008) mendapatkan tingkat konversi elektrolisis plasma pada limbah air yang mengandung Eosin mencapai 87,43 % pada tegangan 600 V. Liu mendapatkan hasil dekomposisi senyawa Nitrophenol pada limbah air dengan metode elektrolisis plasma berupa senyawa ion nitrat dan CO_2 (Liu Yongjun, 2010).

Produk utama lainnya dari proses elektrolisis plasma untuk pengolahan limbah air adalah terbentuknya gas Hidrogen dan Oksigen dengan jumlah yang jauh lebih tinggi dibanding proses elektrolisis Faraday sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bersih yang ramah lingkungan (Saksono, 2010; 2011).

Proses pengolahan limbah amonia dengan metode elektrolisis plasma kontak ini diharapkan mampu mengurangi kandungan amonia dengan tingkat konversi yang tinggi sehingga mampu mencapai baku mutu yang dipersyaratkan. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ adalah suatu senyawa amonia yang larut dalam air yang bersifat sintetis yang bersifat stabil dalam larutan. Oleh karena itu penggunaan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sebagai limbah cair sintetis pada elektrolisis plasma sangat tepat untuk melihat pengaruh elektrolisis plasma terhadap model sintetis amonia yang terkandung dalam air. Selain itu dengan produktivitas radikal hidroksil yang tinggi, diharapkan limbah Amonia akan dapat terdekomposisi menjadi gas N_2 yang ramah lingkungan. Oleh sebab itu metode ini perlu di teliti lebih jauh efektifitasnya dalam mengolah limbah cair yang mengandung amonia.

1.2 Rumusan Masalah

Efektifitas proses yang meliputi persentasi degradasi amonia dan konsumsi energinya merupakan permasalahan yang akan dijawab dalam penelitian ini. Selain itu keberadaan radikal hidroksil dalam proses ini perlu dibuktikan guna memperjelas mekanisme degradasi amonia melalui proses elektrolisis plasma

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut

1. Untuk mengetahui konsentrasi elektrolit yang optimum untuk metode CGDE dalam mengolah limbah air yang mengandung amonia
2. Untuk melihat pengaruh peningkatan konsentrasi limbah dalam mendegradasi limbah air yang mengandung amonia dengan metode CGDE
3. Melihat pengaruh penambahan konsentrasi katalis pada proses degradasi limbah air yang mengandung amonia dengan metode CGDE
4. Untuk mendapatkan kondisi yang paling optimum untuk pengolahan limbah air yang mengandung amonia dengan CGDE menggunakan elektrolit KOH.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Data yang diperoleh berdasarkan hasil pengolahan sampel amonia sintetik dengan metode elektrolisis plasma.
2. Percobaan elektrolisis plasma dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi elektrolit, konsentrasi amonia dan penambahan katalis.
3. Pengukuran kadar amonia dalam sampel menggunakan metode nessler.
4. Pengukuran radikal hidroksil dilakukan dengan menganalisis H_2O_2 yang terbentuk

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan literatur mengenai karakteristik amonia, pengolahan air dengan metode elektrolisis plasma, dan faktor-faktor yang mempengaruhi efektifitas elektrolisis plasma .

3. BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, bahan-bahan dan peralatan yang digunakan, serta prosedur penelitian yang dilakukan.

4. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

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

5. BAB 5 KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan dari analisis hasil penelitian yangtelah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State Of The Art

Amonia yang mencemari sumber air merupakan masalah besar yang harus diselesaikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengolahan limbah amonia melalui proses degradasi. Telah dilakukan beberapa metode degradasi amonia yang terkandung dalam air. Dan terdapat beberapa penelitian mengenai degradasi tersebut.

Indah Riwayati pada tahun 2010 melakukan penelitian untuk mendegradasi amonia menggunakan elektrolisis NaCl pada kondisi basa. Pada penelitian ini digunakan air limbah sintesis dengan kandungan ammonia 100 ppm yang dielektrolisis dalam modul elektrolisis dengan elektroda Pt/SS. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan pH antara 10,5 – 12,5, konsentrasi NaCl 60 – 300 ppm, dan densitas arus 3 – 12mA/cm². Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi pH, reaksi elektrolisis berlangsung lebih cepat dan efisiensi arus semakin meningkat. Ion Cl⁻ berpengaruh terhadap reaksi elektrolisis; semakin besar konsentrasinya semakin cepat reaksinya dan semakin tinggi efisiensi arusnya. Densitas arus juga berpengaruh; semakin besar densitas arus, semakin cepat reaksi, tetapi efisiensi arus justru menurun. Konversi tertinggi yang didapat dari penelitian ini adalah 30,16%.

Pada tahun 2008, Huang Li melakukan metode lain untuk mendegradasi amonia yaitu dengan menggunakan radikal hidroksil (OH[•]) yang dihasilkan dari *photolysis* H₂O₂ menggunakan radiasi lampu merkuri dengan panjang gelombang sebesar 253,7 nm selama 5 jam. Radikal hidroksil merupakan spesi aktif yang mampu mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang sulit terdekomposisi. Pada penelitian ini, amonia yang tersisihkan sebesar 26,4 %.

Pada tahun 2009, Sri retno melakukan penelitian untuk mendegradasi amonia yang terkandung dalam air menggunakan metode advanced oxidation process atau proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran. Proses oksidasi lanjut ini

menggunakan radikal hidroksil yang merupakan oksidator kuat yang mampu menguraikan berbagai senyawa organik dan inorganik beracun dalam air (Gao, 2002). Namun dalam proses ini persentase amonia yang terkonversi mencapai 17,07 %.

Contact Glow Discharge Electrolysis atau CGDE adalah metode oksidasi lanjut yang sangat produktif untuk menghasilkan radikal hidroksil. Gao (2002) melakukan degradasi limbah senyawa pewarna brilliant red dan flavine G dengan persentase degradasi pada masing-masing limbah mencapai 94,99 dan 95,55 % (Gao, 2002)

Selain itu pada tahun 2010, Yongjun Liu melakukan percobaan degradasi pada senyawa 4-Nitrophenol menggunakan CGDE dengan menggunakan elektrolit natrium sulfat dan didapat persentase degradasi mencapai 100 % (Liu, 2010)

Dengan melihat data beberapa penelitian mengenai pengolahan limbah amonia menggunakan radikal hidroksil serta efektifitas CGDE dalam mendegradasi berbagai limbah menggunakan radikal hidroksil, maka metode CGDE perlu diteliti lebih jauh efektifitasnya dalam mengolah limbah cair yang mengandung amonia.

Tabel 2.1 State of The Art

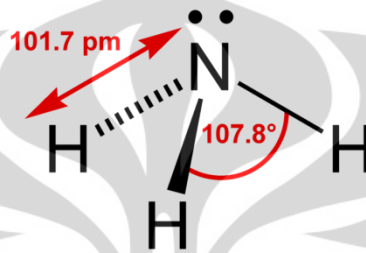
Elektrolisis Plasma	Larutan Elektrolit yang Digunakan		
	KOH	NA ₂ SO ₄	KOH + etanol
Tujuan		(Gao, 2002)	
Degradasi pewarna		(Liu, 2010)	
Degradasi nitrophenol			
Degradasi Amonia	Letak Penelitian ini		
Produksi hidrogen	(Saksono, Bismo, 2011)		(Saksono, Bismo, 2011)

2.2 Karakteristik Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH₃. Biasanya senyawa ini berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau amonia). Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan.

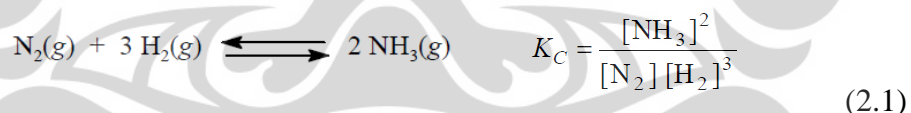
Amonia yang digunakan secara komersial dinamakan Amonia Anhidrat. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih

di suhu $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur amat rendah. Walaupun begitu, kalor penguapannya amat tinggi sehingga dapat ditangani dengan tabung reaksi biasa di dalam sungkup asap. Amonium hidroksida adalah larutan NH_3 dalam air. Konsentrasi larutan tersebut diukur dalam satuan baumé. Produk larutan komersial amonia berkonsentrasi tinggi biasanya memiliki konsentrasi 26 derajat baumé (sekitar 30 persen berat amonia pada $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Gambar 2.1. Struktur kimia Amonia

Produksi komersial amonia dihasilkan dengan cara mengontakan langsung antara hidrogen dan nitrogen yang merupakan suatu reaksi keseimbangan pada fasa gas. Reaksi kimia dan konstanta kesetimbangan yang terjadi adalah sebagai berikut:



Persamaan ini mengindikasikan bahwa 2 mol amonia terbentuk dari 1 mol gas N_2 dan 3 mol gas H_2 , dari persamaan ini juga mengindikasikan bahwa reaksi bersifat eksotermis, sehingga amonia akan terbentuk dengan baik pada suhu rendah. Namun pada suhu rendah reaksi berjalan lambat. Usaha untuk meningkatkan jumlah dengan kecepatan yang cukup dilakukan dengan mengatur tekanan dan suhu dan menambahkan katalisator. Untuk proses yang optimal dapat diperoleh dengan mengatur suhu sebesar 500°C dan dengan tekanan 350 atm, dengan kondisi ini didapatkan produk amonia sebesar 30%

2.3 Bahaya Limbah Amonia

Amonia merupakan senyawa yang dapat membahayakan kehidupan disekitarnya dan dapat berdampak langsung terhadap kesehatan manusia bila terpapar dalam jumlah yang melebihi batas. Berikut bahaya yang dapat ditimbulkan oleh senyawa amonia:

Tabel 2.2. Bahaya amonia terhadap kesehatan manusia (Pupuk Kaltim)

Kategori	Bahaya yang ditimbulkan
Jangka pendek (Akut)	Iritasi terhadap saluran pernapasan, hidung, tenggorokan dan mata terjadi pada 400-700 ppm. Sedang pada 5000 ppm menimbulkan kematian. Kontak dengan mata dapat menimbulkan iritasi hingga kebutaan total. Kontak dengan kulit dapat menyebabkan luka bakar (frostbite)
Jangka Panjang (Kronis)	Menghirup uap asam pada jangka panjang mengakibatkan iritasi pada hidung, tenggorokan dan paru-paru. Termasuk bahan teratogenik. Nilai Ambang Batas : 25 ppm (18 mg/m ³) (ACGIH 1987-88) STEL 35 ppm (27 mg/m ³).

2.4 Kesetimbangan Amonia dan Amonium dalam Air

Amonia merupakan gas terlarut dan tidak terionisasi dan memiliki rumus kimia NH₃, sedangkan amonium terionisasi dengan rumus kimia NH₄⁺. Faktor utama untuk menentukan perbandingan amonium dan amonia dalam air adalah pH. Aktivitas amonia dalam air dipengaruhi oleh temperatur dan kekuatan ion. Amonia sangat beracun untuk organisme yang hidup didalam air, sedangkan amonium tidak terlalu berbahaya.

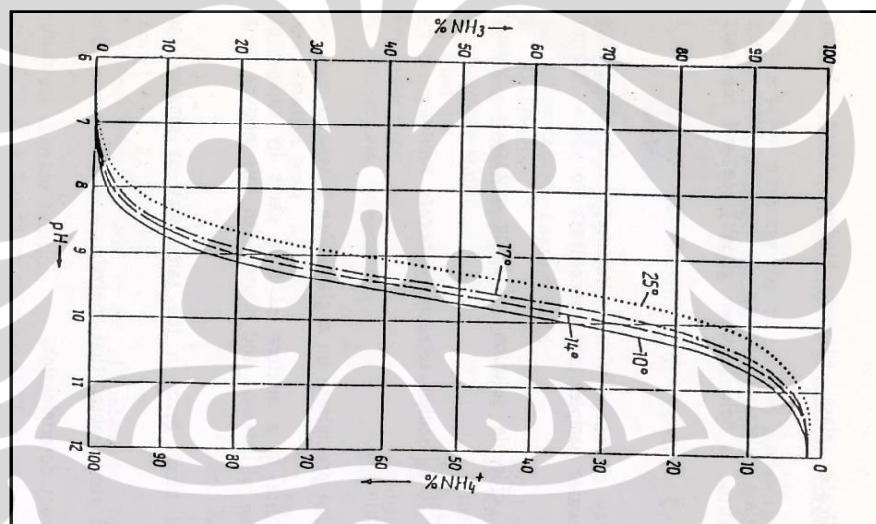
Persamaan kimia yang mendorong hubungan antara amonia dan amonium :



Dimana pada pH rendah, maka reaksi akan bergerak ke kanan dan ketika pH tinggi, reaksi bergerak ke arah kiri. Secara umum, pada temperatur ruang dan pH kurang dari 6. Perbandingan amonia dengan amonium sebagai NH_3 sangat kecil dan sebagai NH_4^+ sangat tinggi. Pada pH sekitar 8, komposisi dari NH_3 adalah 10% atau kurang. Dan pada pH diatas 9 maka komposisi amonia menjadi 50%. Tidak semua amonia terlarut beraksi dengan air dan membentuk amonium. Hal ini diindikasikan dari konstanta ionisasinya sebagai berikut :

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 1,8 \times 10^{-5} \text{ pada } 25^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

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 2.2



Gambar 2.2. Pengaruh pH Pada Distribusi Amonia dan Amonium Dalam Air (Frensenius et al.1987)

2.5 Amonium Sulfat

Garam Amonium sulfat kesetersediaanya melimpah dialam ini. Amonium sulfat merupakan produk netralisasi amonia dan asam sulfat. Pada umumnya amonium sulfat digunakan sebagai sumber nitrogen dari campuran pupuk komersial dan dapat digunakan langsung dengan konsentrasi 90 %. Selain itu, amonium sulfat digunakan juga sebagai bahan adiktif untuk makanan dan produk

non-agraria seperti cat dan pembersih (UNEP, 2004). Berikut adalah sifat fisik dan kimia dari amonium sulfat :

Tabel 2.3 Sifat fisik dan kimia amonium sulfat (UNEP,2004)

Sifat	Keterangan
Sifat fisik	Padatan warna putih
Titik Leleh	Pada sistem terbuka dekomposisi dimulai pada temperatur 150 ⁰ dan 280 ⁰ C. Pada kondisi eksperimen terdekomposisi secara sempurna 336-357 ⁰ C
Titik Didih	Terdekomposisi
Densitas relative	1.77 pada 25 ⁰ C
Kelarutan dalam air	764 g/l pada 20 ⁰ C
Ph	5-6
pKa- pada 25 ⁰ C	
Basis amonia	9.21
Basis Asam Sulfat	-3

Akibat kelarutannya yang tinggi dan mudah terionisasi, amonium sulfat tidak boleh diadsorpsi dan dicerna dalam batas yang signifikan. Dalam media air amonium sulfat terdisosiasi menjadi NH₄⁺ dan SO₄⁻, akan tetapi dengan meningkatkan pH dapat meningkatkan fraksi dari total amonia yang tidak terionisasi misalnya, pada 5⁰C dan pH 6.5, total amonia sebagai NH₃ adalah 0,0395%. Sedangkan pada pH 8.5 konsentrasi ammonia sebagai NH₃ meningkatkan menjadi 100% (UNEP, 2004).

2.6 Pengolahan Limbah Amonia

Pada saat ini, terdapat berbagai metode dalam pengolahan limbah amonia diantaranya adalah :

2.6.1 Pengolahan limbah Amonidengan Bio Remediasi

Reduksi amonia limbah cair industri tekstil dengan menggunakan kultur campuran bakteri Nitrosomonas sp. dan bakteri Nitrobacter sp. Pengolahan dilakukan secara biologis secara nitrifikasi dan denitrifikasi dengan menambahkan

kultur bakteri bakteri Nitrosomonas sp dan Nitrobacter sp. kedalam lumpur aktif (activated sludge), sebagai salah satu alternatif teknologi penanganan yang mudah, murah dan sederhana. Pada sistem perairan dalam proses nitrifikasi, NH_4^+ yang terdapat pada air limbah secara alami akan teroksidasi menjadi nitrat.

2.6.2 Pengolahan Limbah Amonia dengan Proses Kontak Fase Uap

Didalam proses kontak, air buangan yang mengandung amonia dikontakan dengan udara dan uap air (steam). Proses tersebut pada prinsipnya adalah transfer amonia dalam air buangan ke dalam fasa uap, sehingga amonia dapat dibawa keluar bersama dengan udara atau steam. Pada proses stripping dengan udara, jika kandungan amonia dalam udara buangan cukup rendah, maka udara tersebut dapat dibuang langsung ke atmosfer.

Proses kontak tersebut dapat dilakukan jika amonia dalam bentuk uap. Sedangkan amonia yang mudah diuapkan adalah amonia bebas. Didalam air buangan amonia terdapat dalam dua bentuk yaitu amonia bebas dan amonia terikat yang berupa amonium. Untuk mendorong amonia menjadi amonia bebas, biasanya dilakukan penaikan pH dalam air buangan yang dilakukan dengan penambahan basa, misalnya kapur tohor CaO (Indrayana, 2006).

2.6.3 Pengolahan Limbah Amonia melalui Proses Oksidasi Lanjut

Proses oksidasi lanjut merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air. Proses ini dapat digunakan untuk menyisahkan senyawa organik yang berkonsentrasi rendah sampai tinggi dari sumber yang beragam seperti air tanah, limbah rumah tangga dan industri, destruksi sludge, dan pengendalian senyawa organik yang mudah menguap. Dengan menggunakan proses oksidasi lanjut, senyawa organik dapat dimineralisasi secara sempurna membentuk karbondioksida dan air dengan adanya radikal hidroksil. Nilai konstanta laju oksidasi radikal hidroksil dengan senyawa organik berada pada rentang 108 sampai 1011 $\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ (M. B. Ray, 2007).

Proses oksidasi lanjut merupakan suatu metode yang memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida sebagai oksidator yang sangat kuat untuk menguraikan senyawa organik, yang tidak dapat dioksidasi dengan oksidator

konvensional seperti oksigen, ozon, dan klorin. Radikal hidroksil memiliki potensial oksidasi sebesar 2,80 eV yang lebih tinggi dibandingkan ozon yang memiliki potensial oksidasi sebesar 2,70 eV. Hal ini yang menjadi alasan radikal hidroksil dapat digunakan secara efektif untuk mengoksidasi mikroorganisme dan senyawa organik yang sulit diuraikan.

Tabel 2.4 Potensial Oksidasi Oksidan Pengolahan Air (Lukes 2005)

Spesi aktif	Potensial oksidasi
F	3.03
OH [*]	2.80
O [*]	2.42
O ₃	2.07
H ₂ O ₂	1.78
O ₂ H [*]	1.70
Cl ₂	1.36

Proses oksidasi lanjut merupakan kombinasi dari beberapa metode oksidasi yaitu ozon dengan hidrogen peroksida, ultraviolet dengan ozon atau kavitasasi dengan ozon dan ozonasi katalitik dengan menggunakan ion logam, oksida logam atau karbon aktif (Li-Bing Chu et al, 2007)

Reaksi NH₃/NH₄⁺ dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar 20 M⁻¹S⁻¹ dengan t_{1/2} = 96 jam sedangkan proses oksidasi oleh radikal hidroksil dapat berlangsung lebih cepat yaitu 9.7 x 10⁷ M⁻¹s⁻¹. Reaksi oksidasi yang terjadi dimana amonia akan dioksidasi oleh radikal hidroksil membentuk NO₂⁻ (Nitrit) yang akan dioksidasi lebih lanjut membentuk NO₃⁻ (nitrat). Dimana proses oksidasi NO₂⁻ menjadi NO₃⁻ berlangsung cepat (Urs von Gunten, 2002). Tingkat penyisihan amonia oleh ozon masih kurang efektif dengan tingkat penyisihan paling tinggi adalah 5.86 % (Hikmawan,2009)

2.6.4 Pengolahan Limbah Amonia menggunakan Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu penghalang selektif antara dua fasa sehingga molekul selektif akan melekat ke membran (Mulder, 2000) dengan kata

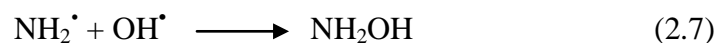
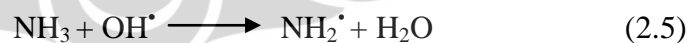
lain molekul tertentu dapat menembus membran sementara molekul lainnya tidak dapat menembus membran tersebut.

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

Larutan asam sulfat digunakan sebagai larutan penyangga pada bagian *permeate* yang bertujuan untuk menyerap amonia yang berdifusi kedalam membrane sehingga membentuk senyawa ammonium sulfat. Tingkat ekstraksi amonia yang paling optimal yaitu sebesar 99.83% (Hasanogul et al,2010).

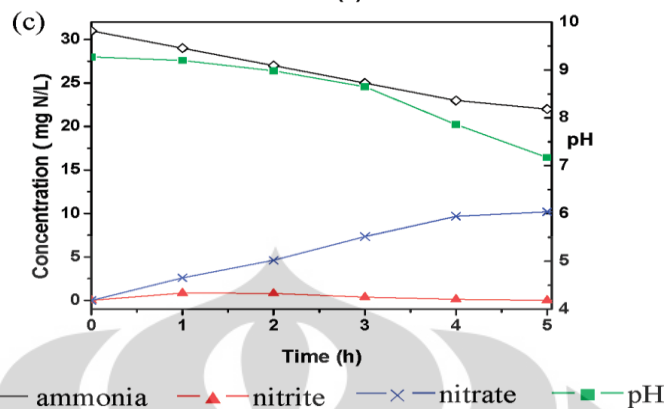
2.6.5 Pengolahan Limbah Amonia dengan Fotolisis

Pada penelitian ini proses penghilangan amonia dilakukan dengan radiasi lampu merkuri yang bertekanan rendah. H_2O_2 menjadi pemicu terbentuknya radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi NH_3 menjadi NO_2^- dan lebih jauhnya lagi menjadi NO_3^- . Limbah amonia dibuat dari $(NH_4)_2SO_4$ yang dilarutkan dalam air distilasi. Reaksi yang terjadi selama proses berlangsung adalah sebagai berikut:



Hydrogen peroksida dipecah menjadi radikal hidroksil .Dengan adanya radiasi sinar dengan panjang gelombang sekitar 273.5 nm. Ketika radikal hidroksil menyerang amonia terjadi proses oksidasi menghasilkan NH_2^\bullet . Kemudian NH_2^\bullet akan teroksidasi menjadi $NHOH^\bullet$ dan oksidasi lebih lanjut menjadi $NH_2O_2^-$.

Setelah itu NH_2O_2^- yang tidak stabil terpecah menjadi NO_2^- , yang dapat dioksidasi menjadi NO_3^- (Huang et al, 2010).



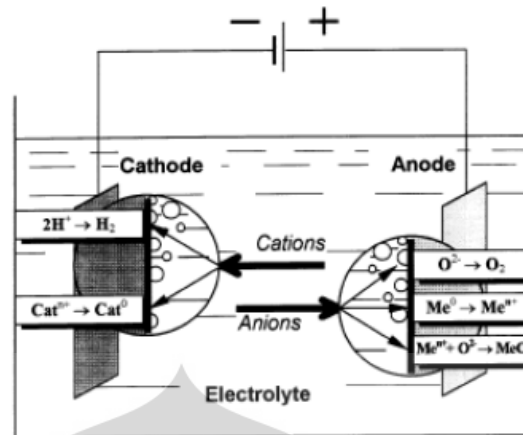
Gambar 2.3. Profil waktu dan pH untuk amonia, nitrit dan nitrat dengan konsentrasi awal H_2O_2 0.02 M dan pH awal 9.3 (Huang et al, 2010)

2.7. Elektrolisis Plasma

Elektrolisis plasma, merupakan salah satu aplikasi teknologi plasma didalam air pertama dalam sejarah. Dengan adanya area tegangan yang tinggi pada elektrolisis ini, menyebabkan pembentukan lapisan plasma pada area dekat dengan katoda. Plasma diperoleh dengan menggunakan elektroda asimetris, muatan akan terjadi pada elektroda dengan area yang lebih kecil dimana terjadi suatu pemanasan. Pemanasan terjadi pada elektroda karena penurunan arus dan medan listrik yang lebih tinggi

Selama proses elektrolisis plasma, gas terbentuk dari dua sumber, yaitu:

- Pertukaran muatan (redoks) dan produksi lanjut suatu gas berdasarkan pada skema sel redoks
- Konduksi ion didalam larutan karena kemurnian dari pada ion terlarut, kemudian penguapan akibat adanya panas



Gambar 2.4. Reaksi kimia redoks pada bagian anoda dan katoda pada elektrolisis biasa (Ceccato,1999)

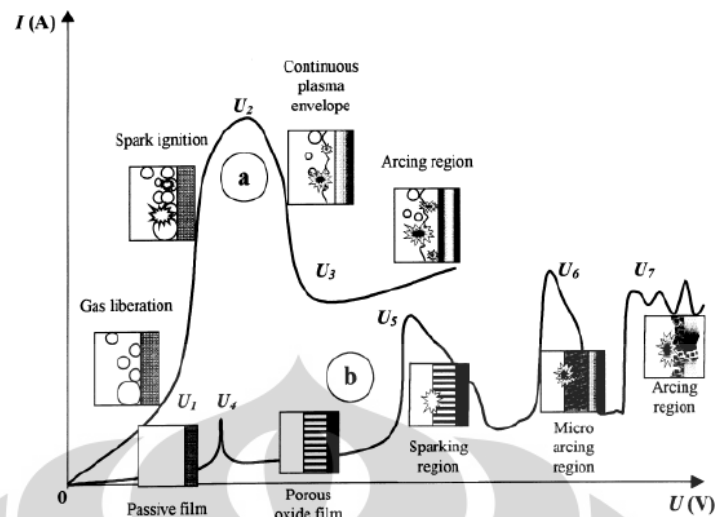
Elektrolisis plasma merupakan elektrolisis *non faradic* yang menghasilkan spesi aktif antara elektroda dan elektrolit. Spesi aktif yang dihasilkan diantaranya adalah radikal hidroksil dan radikal Hidrogen. Elektrolisis plasma biasanya terjadi ketika diberi tegangan diatas 100 V . Plasma terbentuk pada permukaan elektroda akibat adanya eksitasi elektron pada larutan yang mempunyai konduktivitas yang tinggi. Sedangkan lapisan yang terdiri dari campuran hidrogen, oksigen dan uap air terbentuk di katoda.

Pada elektrolisis plasma ini terdapat dua zona reaksi yaitu:

1. Zona Pertama, Fase cairan dekat permukaan antara plasma dan elektrolit
2. Zona Kedua, Plasma disekitar elektroda

Pada zona reaksi dua, molekul H_2O terionisasi atau aktif dan saling memecah satu sama lain akibat adanya perpindahan muatan sehingga menghasilkan radikal hidroksil dan terkadang atom hidrogen. Di sisi lain, pada zona reaksi fasa cair dekat antar muka plasma dan elektrolit, molekul H_2O cair dipecaholeh H^+ menjadi H_2 , H_2O_2 dan O_2 dari plasma disekitar katoda (Gao et al,2002).

Elektrolisis plasma bergantung kepada arus yang mengalir melalui elektrolit antara katoda dan anoda. Elektrolisis plasma telah banyak dieksplorasi sehingga kestabilan dan juga ketidakstabilan operasi dapat diidentifikasi melalui kurva hubungan arus listrik dan tegangan sebagai berikut :



Gambar 2.5. Kurva hubungan arus listrik dan tegangan pada saat proses elektrolisis plasma (Ceccato,2009)

Seperti pada elektrolisis biasa, terdapat pelepasan logam pada sisi lain dan pengendapan pada sisi lainnya. Pada elektroda terjadi pengendapan dari material non-konduktif, terbentuk lapisan porous pada elektroda tersebut dan arus mengalir melewati lapisan deposit dielektrik. Ketika lapisan deposit menyelubungi elektroda, maka arus hanya bisa melewati elektroda dengan cara memecahkan atau dengan cara menembus melewati lapisan ini. *Arcing regime* terjadi pada kondisi arus yang tinggi dan setelah terbentuknya pengendapan di elektroda karena proses elektrolisis biasa (Ceccato, 2009).

2.8 Pengembangan dari Elektrolisis plasma

Saat ini banyak dilakukan penelitian mengenai elektrolisis plasma yang terkait dengan isu *sustainable energy development*. Hal ini dikarenakan produktivitas hidrogen dari elektrolisis plasma yang jauh lebih besar dibandingkan dengan elektrolisis biasa dengan bahan baku yang sama yaitu air. Selain itu masalah lingkungan menjadi suatu dorongan untuk menerapkan elektrolisis plasma dalam mengolah limbah organik yang sulit didegradasi karena menghasilkan spesi-spesi aktif yang dapat mengoksidasi senyawa organik dan anorganik yang kompleks. Produk utama lainnya dari proses elektrolisis plasma untuk pengolahan

limbah air adalah terbentuknya gas Hidrogen dan Oksigen dengan jumlah yang jauh lebih tinggi dibanding proses elektrolisis Faraday sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bersih yang ramah lingkungan (Saksono, 2010; 2011).

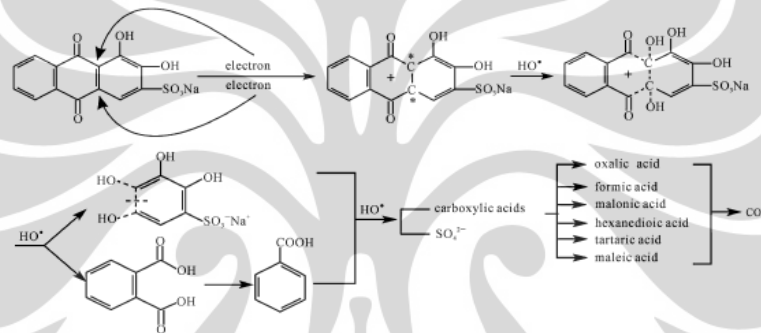
2.8.1 Elektrolisis plasma untuk Degradasi Limbah

Dalam pengolahan limbah, elektrolisis plasma memegang peranan penting karena mampu mendegradasi senyawa organik yang sulit terurai dengan tingkat konversi yang sangat tinggi. Sebagai salah satu teknik penjernihan air, telah dilakukan penelitian yang melaporkan mekanisme degradasi terhadap limbah *fenol*, *chlorophenol*, *asam benzoate* dan *aniline* dalam air dengan proses elektrolisis plasma. Selain itu limbah organik lain yang berhasil diolah dengan proses elektrolisis plasma adalah dye (Gao, 2005). Penelitian ini terus berkembang sampai ditemukannya alat pemurnian air yang menggunakan prinsip elektrolisis plasma. Dari hasil penelitian ini telah ditemukan bahwa hasil degradasi dari limbah organik terkonversi sebagian besar menjadi CO₂, air dan ion-ion anorganik. Berikut ini adalah penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan limbah organik.

Tabel 2.5 Degradasi beberapa senyawa organik menggunakan elektrolisis plasma (Gao,2006)

Table 1: Degradation of some organic compounds by glow discharge electrolysis						
Dyes	Compound and concentration	Common conditions	Time (min)	Degradation rate ^a %	References	
	Acridine orange; 10 mg L ⁻¹	500 V, 50-70 mA; Na ₂ SO ₄ 2g/L; Fe ²⁺ 1X10 ⁻³ M; Total Volume 175 mL; cathode: stainless plate; anode: platinum wire.	5	98.47	(Gao <i>et al.</i> , 2003a)	
	Methyl blue; 10 mg L ⁻¹		5	99.46		
	Rhodamine B; 10 mg L ⁻¹		5	97.20		
	Cationic red; 10 mg L ⁻¹		5	96.55		
	Week acid brilliant B; 10 mg L ⁻¹		5	94.11		
	Week acid flavine G; 10 mg L ⁻¹		5	94.41		
	Chromie azurof S; 10 mg L ⁻¹		5	93.94		
	Methyl orange; 10 mg L ⁻¹		5	99.34		
	Brilliant green; 30 mg L ⁻¹	250 mL; graphite cathode	10	94.00	(Gao and Shen, 2005)	
	Alizarin red; 30 mg L ⁻¹		10	96.50	(Gao <i>et al.</i> , 2000)	
	Phenol; 100 mg L ⁻¹	300 mL; 500 V; 50-70 mA	30	>95	(Tezuka and Iwasaki, 1994; Gao <i>et al.</i> , 2003b)	
Phenol and its derivatives	4-nitrophenol; 70 mg L ⁻¹	600 V, 100-120 mA;	9	96.50	(Gao <i>et al.</i> , 2004b)	
	2,4-nitrophenol; 40 mg L ⁻¹	175 mL; ether	9	95.10		
	2,4,6-nitrophenol; 108 mg L ⁻¹	conditions are the same	9	94.60		
	4-chlorophenol; 80 mg L ⁻¹		10	98.00	(Gao and Shen, 2005; Tezuka and Iwasaki, 1998)	
	3-chlorophenol;					
	2-chlorophenol; 40 mg L ⁻¹	500 V; 40-70 mA	10	99.40	(Gao <i>et al.</i> , 2003c)	
Aniline and its derivatives	Aniline; 20 mg L ⁻¹	500 V; 50-70 mA;	5	99.80	(Tezuka and Iwasaki, 2001; Gao <i>et al.</i> , 2002)	
	o-chloroaniline; 20 mg L ⁻¹	graphite cathode; 175 mL	20	99.70	(Gao <i>et al.</i> , 2003d)	
	p-chloroaniline; 20 mg L ⁻¹		20	98.90		
	m-chloroaniline; 20 mg L ⁻¹		20	99.50		
	Benzidine; 18.4 mg L ⁻¹	500 V; 30-60 mA	15	99.60	(Gao <i>et al.</i> , 2003e)	
Naphthol	α -naphthol; 20 mg L ⁻¹	Stainless cathode	110	95.00	(Gao <i>et al.</i> , 2001)	
Phenanthrene	Phenanthrene; 1mg L ⁻¹	Stainless cathode	350	96.00	(Gao and Shen, 2005)	
Benzoic acids	20 mM	500 V	100	>95	(Tezuka and Iwasaki, 1999)	
p-nitrotoluene	1X10 ⁻⁵ M	600 V	60	>98	(Gao <i>et al.</i> , 2005b)	
2-naphthylamine	30 mg L ⁻¹	600 V; 120-150 mA	10	>99	(Liu <i>et al.</i> , 2005)	

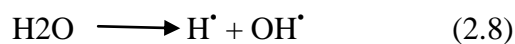
Terdapat beberapa tahapan mekanisme reaksi yang terjadi dalam degradasi limbah zat pewarna oleh radikal hidroksil. Pertama radikal hidroksil menyerang sistem konjugasi yang membuat zat pewarna menjadi tidak berwarna. Kedua senyawa hidroksilat terbentuk, kemudian berubah menjadi benzoquinone yang teroksidasi menjadi molekul yang lebih kecil. Mekanisme reaksi ini diikuti dengan perubahan terhadap pH, senyawa pewarna pertama kali akan mengalami penurunan pH, kemudian tidak terjadi perubahan pada pH pada waktu tertentu, kemudian terjadi peningkatan pH. Dengan waktu reaksi yang lebih lama lagi asam organik terurai menjadi molekul yang lebih kecil.

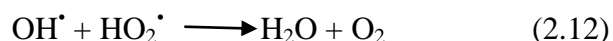
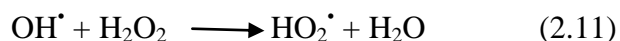
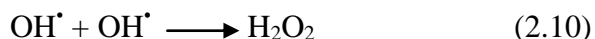


Gambar 2.6. Mekanisme reaksi degradasi Zat pewarna oleh radikal hidroksil
(Gao et al,2008)

2.9. Mekanisme pembentukan radikal hidroksil dalam elektrolisis plasma

Radikal hidroksil merupakan spesi aktif yang termasuk sebagai oksidator kuat memiliki potensial oksidasi 2.8 mV. Mekanisme terbentuknya radikal hidroksil pada elektrolisis plasma terjadi pada 2 zona reaksi, pertama pada area reaksi dalam plasma disekitar anoda, dimana molekul air terionisasi dan saling memecahkan satu sama lain akibat adanya perpindahan muatan. Produk yang dihasilkan terkadang atom H dan radikal hidroksil. Kedua, terjadi pada zona antar muka antara elektrolit dan plasma dimana molekul air dipecah menjadi H₂ dan H₂O₂ ditambah dengan oksigen yang dipecah oleh H₂O⁺_{gas} dari plasma (Jin,2010). Berikut adalah Mekanisme reaksi pembentukan OH[•] yang terjadi.





Usia dari radikal hidroksil sangat pendek. Kesempatan untuk interaksi secara langsung antara radikal hidroksil dan molekul senyawa pewarna sangatlah kecil. Jadi mudah untuk saling rekombinasi dan membentuk H_2O_2 . Dengan adanya logam-logam katalis mineral seperti Mn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} dan Fe^{2+} yang terkandung pada larutan elektrolit, maka larutan H_2O_2 dapat dengan mudah terdekomposisi menjadi radikal hidroksil sesuai dengan reaksi fenton.

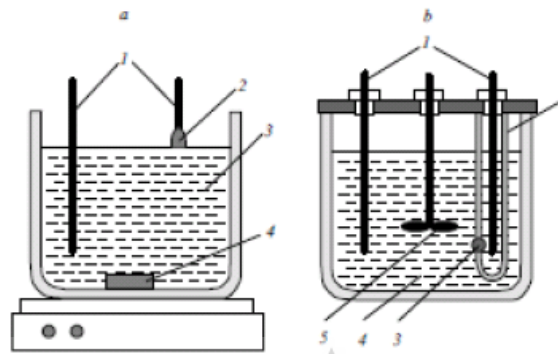
Produktivitas radikal hidroksil pada proses elektrolisis plasma sangatlah tinggi dibandingkan dengan proses yang lain. Hal ini dapat diketahui dari perolehan senyawa Hidrogen Peroksida yang merupakan hasil dari rekombinasi dari radikal hidroksil selama proses elektrolisis plasma berlangsung sebagai berikut:

Tabel 2.6. Konsentrasi pembentukan H_2O_2 pada berbagai metode pengolahan limbah

Metode Pengolahan	Larutan Limbah	Perolehan Konsentrasi H_2O_2	Reference
Ultra sound	aryl-azo-naphthol dyes	7.6 ppm	(Gu Itekin, 2006)
Ozone	aryl-azo-naphthol dyes	5 ppm	(Gu Itekin, 2006)
Elektrolisis plasma	Deionized water	50ppm	(Kurahashi, 2997)
Elektrolisis plasma	4-nitrophenol	1500 ppm	(Liu, 2010)

2.10 Contact Glow Discharge Electrolysis

Suatu proses elektrokimia dimana plasma terbentuk pada permukaan anoda dan elektrolit dengan adanya arus DC (Wang, 2001). Tujuan elektroda (anoda dan katoda) menempel pada permukaan larutan elektrolit adalah memudahkan penguapan air yang terjadi pada daerah sekitar anoda karena adanya joule heating (Sengupta, 1994).



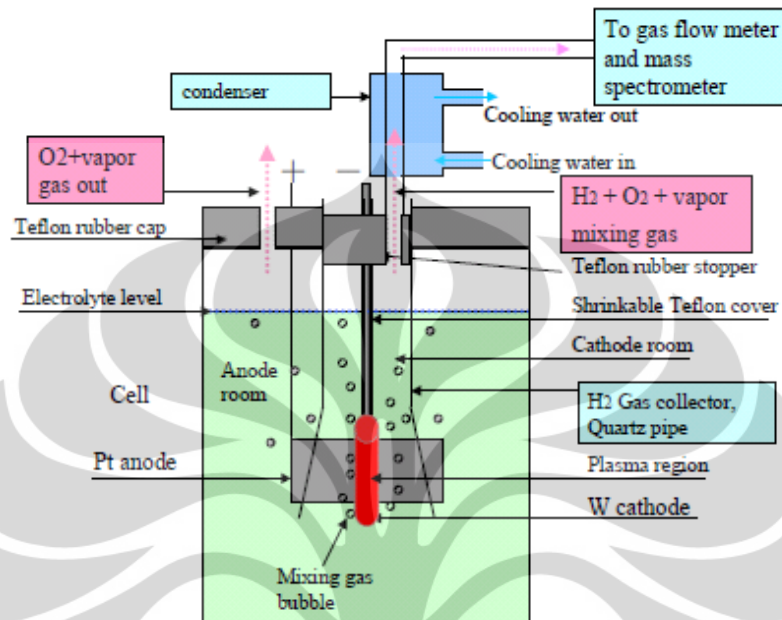
Gambar 2.7. Konfigurasi Reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis (Luke, 2005)

Pada umumnya, anoda yang digunakan merupakan kawat platina dan katoda terbuat dari stainless steel bisa berbentuk silinder atau plate. Karena plasma terbentuk pada permukaan elektrolit, maka perlu adanya pengadukan supaya limbah dapat diserang radikal hidroksil secara merata dan terus menerus dengan menggunakan magnetic stirrer atau agitator seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.9. Adapun keunggulan dari reaktor *Contact Glow Discharge Electrolysis* adalah sebagai berikut:

- Temperatur elektrolit mudah dijaga karena anoda yang berfungsi sebagai sumber panas berada pada atas permukaan elektrolit. Pemanasan secara konduksi terjadi pada permukaan larutan elektrolit, sedangkan panas yang dilepaskan anoda sebagian lagi teradiasi melalui molekul gas yang terbentuk sehingga temperatur pada permukaan larutan elektrolit hanya mempunyai nilai maksimal 80°C
- Arus yang dihasilkan lebih kecil, karena luas permukaan dari anoda lebih kecil sehingga elektron yang mengalir menuju anoda terbatas.
- Plasma lebih cepat terbentuk. Dengan adanya anoda dipermukaan. Proses penguapan elektrolit pada daerah permukaan menjadi lebih cepat dibandingkan dengan anoda tercelup. Hal ini menjadi membuat elektron untuk mengionisasi gas-gas yang terbentuk akibat penguapan molekul-molekul gas yang terbentuk (Sengupta,1994).

Pada pengembangannya, reaktor Contact Glow Discharge Electrolysis (CGDE) dapat digunakan dalam produksi hidrogen yang telah dilakukan oleh

Mizuno dengan larutan elektrolit KOH. Akan tetapi sumber plasma terjadi pada katoda, hal ini dikarenakan gas hidrogen banyak terbentuk pada daerah katoda.



Gambar 2.8. Reaktor elektrolisis plasma dalam produksi hidrogen (Mizuno, 2005)

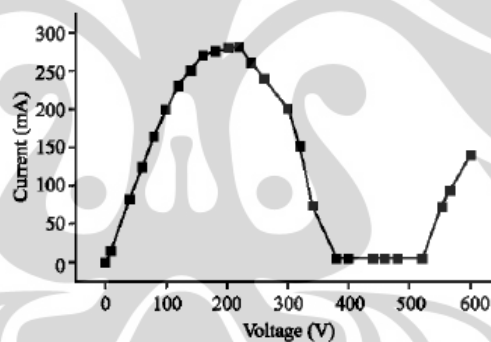
Pada percobaan yang dilakukan Mizuno ini, plasma terbentuk pada fase cairan, sehingga memudahkan proses disosiasi air menjadi hidrogen. Daerah plasma terjadi pada bagian bawah dari katoda yang dihubungkan langsung dengan glass dome yang berfungsi sebagai pengumpul gas hidrogen. Gas oksigen dan uap air yang terbentuk pada daerah anoda, dikeluarkan dari reaktor melalui celah yang berbeda. Anoda yang digunakan adalah platina yang dipasang pada bagian luar dari glass dome, dimana proses plasma berlangsung disekitar katoda yang terbuat dari tungsten. Katoda terhubung dengan arus negatif sedangkan anoda terhubung dengan arus positif. Produk yang dihasilkan dari area katoda yaitu hidrogen, oksigen dan uap air yang terhubung dengan *gas flow meter* dan *mass spectrofotometer*, sedangkan pada daerah anoda dihasilkan oksigen dan uap air.

2.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Elektrolisis Plasma dalam Mengolah Limbah

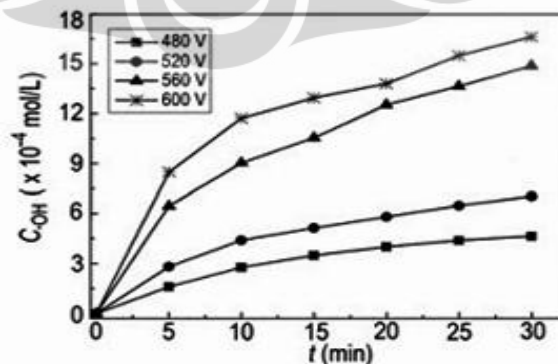
Dalam proses degradasi limbah dengan elektrolisis plasma, terdapat beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas radikal hidroksil selama proses elektrolisis plasma berlangsung, diantaranya adalah:

2.11.1 Tegangan Operasi Pada Elektrolisis plasma

Tegangan Listrik yang digunakan pada elektrolisis plasma untuk pengolahan limbah sangat tinggi dengan kisaran antara 400-600 V. Pada penelitian menggunakan limbah 1-Naphtylamine, tegangan listrik yang digunakan adalah sebesar 600 V. Dari hasil penelitian ini, diperoleh kurva antara tegangan dan arus listrik yang terbagi menjadi dua zona elektrolisis yaitu zona elektrolisis konvensional *faradaic* dan elektrolisis normal *non-faradaic*, yang dijelaskan dalam kurva tegangan dengan arus berikut ini



Gambar 2.9. Grafik hubungan antara arus listrik dan tegangan pada degradasi Naphtylamine (Gao, et al 2006)



Gambar 2.10. Efek tegangan terhadap pembentukan radikal hidroksil pada grafik waktu terhadap konsentrasi radikal hidroksil (Gao et al, 2008)

Karakteristik dari kurva hubungan arus listrik dan tegangan pada proses degradasi diatas, menunjukkan bahwa pada tegangan dibawah 200 V, terjadi peningkatan tegangan listrik yang sebanding dengan peningkatan arus. Pada zona ini, proses elektrolisis konvensional Faraday terjadi yang diikuti dengan terbentuknya gelembung-gelembung air disekitar anoda dan katoda akibat adanya pemanasan dan perpindahan muatan (reaksi redoks). Ketika tegangan dinaikan diatas 200 V, kilatan kecil terjadi disekitar anoda. Pada tegangan antara 200-380 V, pembacaan terhadap arus listrik dan tegangan menjadi fluktuasi diikuti dengan timbulnya kilatan cahaya. Pada tegangan 380-520 V, arus mulai stabil diikuti dengan adanya uap yang menyelubungi katoda. Diatas tegangan 520 V, terbentuk pijaran cahaya kemerah-merahan. Intensitas dari emisi cahaya meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan, sedangkan arus listrik mencapai 300 mA. Jika tegangan ditingkatkan lebih lanjut, maka energi yang dikonsumsi menjadi lebih besar dan dapat merusak anoda.

Produktivitas radikal hidroksil meningkat dengan bertambahnya tegangan listrik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.12. Hal ini diakibatkan karena dengan adanya perbedaan tegangan yang tinggi, energi untuk mengeksitasi elektron yang digunakan untuk menghasilkan radikal hidroksil menjadi semakin tinggi.

2.11.2 Pengaruh Larutan Elektrolit terhadap Kinerja Elektrolisis Plasma

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai kedalam bentuk ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik dan kemudian larutan tersebut menjadi konduktor elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit dengan kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit. Sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk

larutan atau bentuk cairan. Sedangkan dalam bentuk padatan atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit. Larutan elektrolit memiliki peranan yang penting dalam proses elektrolisis plasma, hal ini dikarenakan dengan semakin tingginya konduktivitas dari larutan elektrolit tersebut maka semakin tinggi arus yang dapat melewati larutan selama proses elektrolisis plasma berlangsung. Kenaikan dari konduktivitas dihasilkan dari kerapatan arus yang lebih tinggi pada voltase yang sama dan penghilangan daya pada daerah sekitar anoda menjadi relatif lebih tinggi. Selain itu konduktivitas berpengaruh terhadap konsentrasi H_2O_2 yang dihasilkan selama proses elektrolisis plasma berlangsung. Hidrogen peroksida (H_2O_2) merupakan suatu indikator terjadinya reaksi kimia yang terjadi dalam proses elektrolisis plasma.

Tabel 2.7 Pengaruh konstituen elektrolit pada elektrolisis plasma dengan konduktivitas yang sama yaitu 5 mS/cm (Jin,2010)

Electrolyte	V_D (V)	CH_2O_2 (mg/L)
Na_2SO_4	451	59.22
Na_2HPO_4	451	60.65
Na_2CO_3	456	47.87
$NaHCO_3$	450	43.35
$NaCl$	450	22.56
$NaAc$	452	41.26
$Na_2SO_4 + Na_2HPO_4$	450	63.26
$Na_2SO_4 + CuSO_4$	452	64.01
$Na_2SO_4 + NaAc$	453	64.66
$Na_2SO_4 + Na_2CO_3$	455	62.56
$Na_2SO_4 + NaHCO_3$	459	59.60
$Na_2SO_4 + H_2SO_4$	458	63.85
$Na_2SO_4 + NaOH$	458	64.02
$Na_2SO_4 + NaCl$	452	56.58
$Na_2SO_4 + CH_3OH$	450	46.71

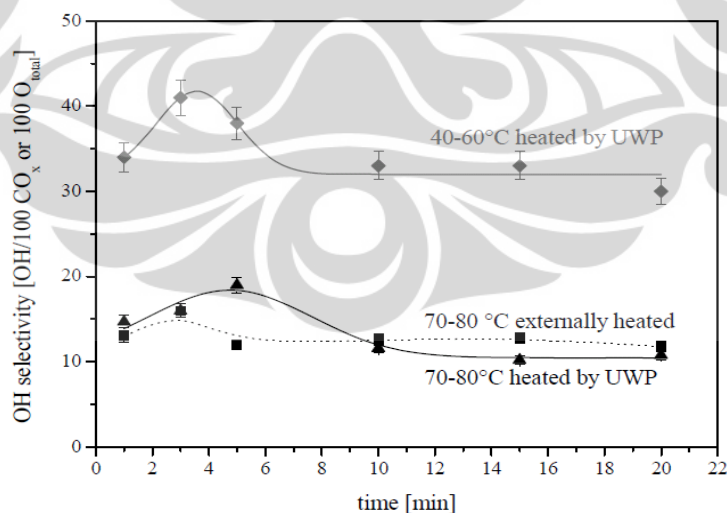
Pada larutan $NaCl$, konsentrasi H_2O_2 yang dihasilkan adalah 22.56 mg/l, lebih rendah dibanding pada larutan Na_2SO_4 . Hal ini disebabkan karena ketika CGDE dilakukan dengan larutan $NaCl$, klorin (Cl) dapat berubah menjadi radikal klorin. Dua radikal klorin bereaksi satu dengan yang lainnya sehingga membentuk molekul klor (Cl_2). Asam hipoklorit ($HClO$) terbentuk dalam reaksi ini dan mengkonsumsi H_2O_2 pada *anolyte*. Karena itulah konsentrasi H_2O_2 pada larutan $NaCl$ lebih rendah daripada larutan Na_2SO_4 .

Pada Larutan $NaAc$, konsentrasi H_2O_2 hanya sebesar 41.26 mg/l karena Ac^- mengkonsumsi sebagian dari radikal hidroksil yang dihasilkan pada pengurangan

konsentrasi dari H_2O_2 , Na_2CO_3 dan NaHCO_3 sering digunakan sebagai inhibitor radikal hidroksil. Konstanta laju reaksi antara Na_2CO_3 , NaHCO_3 dan radikal hidroksil adalah $8.9 \times 10^8 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $8.5 \times 10^6 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Ketika larutan Na_2SO_4 mengandung methanol dalam konsentrasi kecil, H_2O_2 yang dihasilkan adalah 46.71 mg/l, yang mana lebih rendah daripada tanpa methanol. Hal itu karena methanol dapat menangkap radikal hidroksil. Pada penerapannya, methanol sering digunakan sebagai *scavenger* radikal hidroksil (Jin, 2010).

2.11.3 Pengaruh Temperatur pada Elektrolisis Plasma

Temperatur dari larutan meningkat dengan adanya pemanasan dari plasma itu sendiri. Peningkatan temperatur pada elektrolisis plasma yang berlangsung akan menuju temperatur yang setimbang yaitu $75\text{-}85^\circ\text{C}$. Temperatur sangat berpengaruh terhadap selektivitas dari radikal hidroksil, semakin tinggi temperatur maka akan semakin kecil selektivitas dari radikal hidroksil. Selektivitas radikal hidroksil adalah jumlah radikal hidroksil dalam 100 atom Oksigen. Pada kurva dibawah dapat dilihat perolehan selektivitas radikal hidroksil pada temperatur yang berbeda.



Gambar 2.11. selektivitas radikal hidroksil dalam temperatur yang berbeda (Joshi,2010)

Pada temperatur tinggi, konstanta laju reaksi meningkat akan tetapi selektivitas dari reaksi radikal hidroksil menurun. Pada kurva diatas diperoleh

selektivitas maksimum 48 radikal hidroksil/100 O atom, pada temperatur 40-60°C. Pada temperatur 70-80°C diperoleh selektivitas radikal hidroksil dengan kisaran rasio 12-16 radikal hidroksil/100 O atom. Pada temperatur yang tinggi, reaksi yang terjadi adalah dekomposisi hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air (Joshi, 2010).

Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Selain itu, pada derajat keasaman yang sama kenaikan temperatur juga mendorong amonia ke arah sebagai gas terlarut.

2.11.4 Pengaruh Dimensi Anoda pada Elektrolisis plasma

Pada umumnya mekanisme pembentukan plasma pada Contact Glow Discharge Electrolysis terjadi pada anoda. Berikut adalah tabel yang menunjukkan pengaruh dimensi anoda pada terbentuknya plasma dimana bagian anoda yang terkontak pada larutan adalah hanya pada bagian ujungnya. Sehingga luas permukaan kontakannya dapat dilihat dari keliling anodanya.

Tabel 2.8. Pengaruh Dimensi Anoda terhadap Tegangan Kritis (V breakdown) (Sengupta, 1994).

Dimensi anoda		V _B (break down voltage)	V _D (mid point voltage)
Length	Diameter	Volt	Volt
5 mm	0.35 mm	125	420
12.5 mm	0.20 mm	150	420
5 mm	0.50 mm	125	420
10 mm	0.35 mm	150	420

Dilihat dari tabel diatas, bahwa dimensi anoda berpengaruh terhadap tegangan kritis. Dengan dimensi yang lebih panjang, maka tegangan kritis akan meningkat. Tegangan kritis merupakan tegangan pada saat arus mulai menurun karena terbentuknya tahanan akibat adanya selubung gas atau uap oleh pemanasan joule. Dengan volume selubung gas yang lebih besar, maka makin banyak molekul uap yang tereksitasi menjadi H_2O^+ dan e^- .

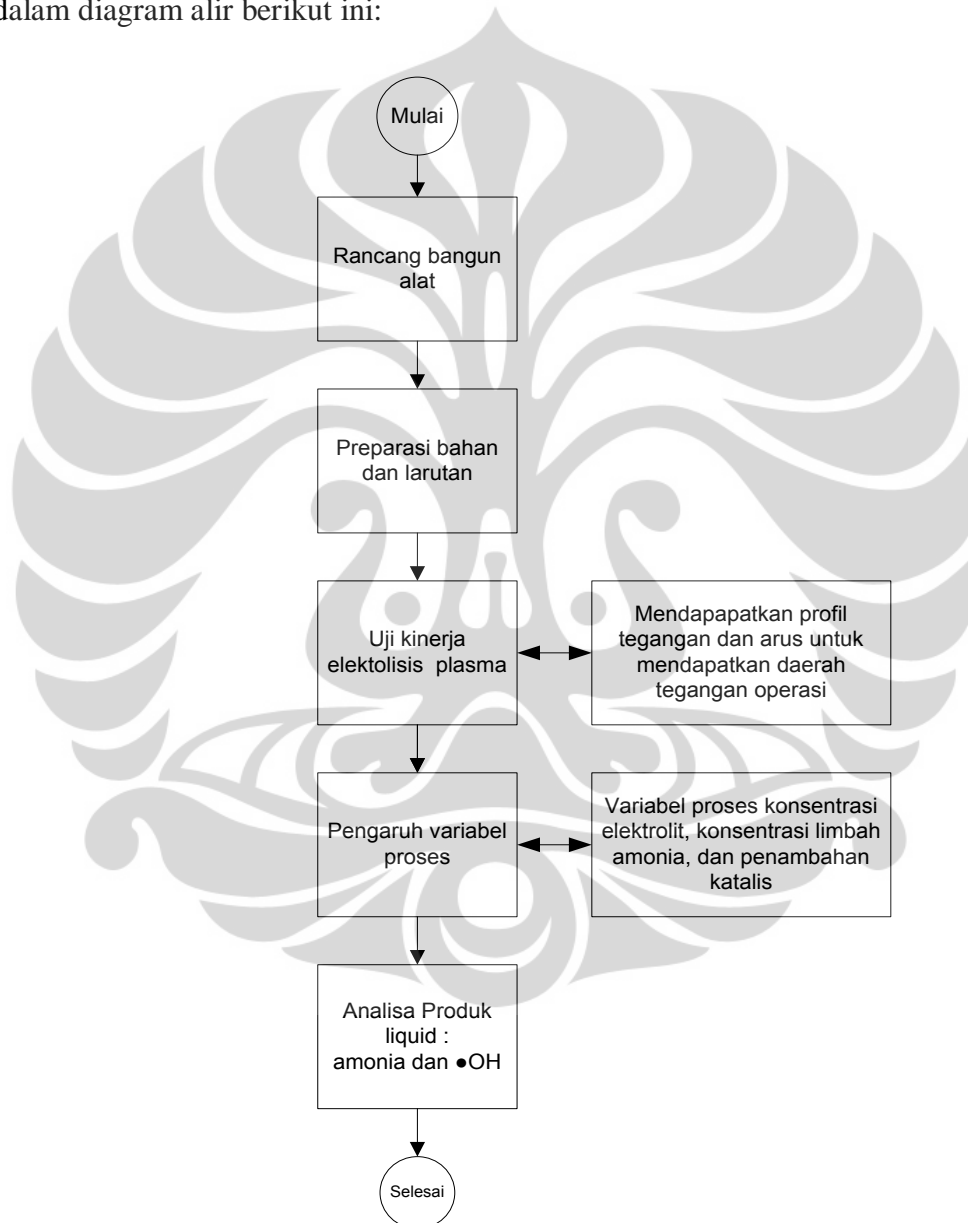


BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan penelitian yang digambarkan dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Percobaan

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan akan dibagi menjadi lima tahap utama, yaitu:

3.2.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan materi–materi yang diperlukan dalam penelitian ini. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mencari materi–materi yang dibutuhkan dari berbagai sumber yang ada, baik dari internet maupun dari buku–buku dan jurnal–jurnal yang ada di perpustakaan.

3.2.2 Preparasi sampel.

Sampel air sintetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air sintetik yang mengandung amonia (NH_4)₂SO₄. Konsentrasi amonia yang dibuat dalam air sintetik yaitu 100 dan 150 mg/L. Yang dibuat dengan melarutkan sejumlah tertentu larutan amonium sulfat ke dalam 1000 ml larutan KOH dengan konsentrasi bervariasi mulai dari 0.01 ; 0,02 ; hingga 0,03 Molar yang berperan sebagai elektrolit dalam elektrolisis plasma. Larutan kemudian diambil sebagian kecil (1 ml) sebagai sampel untuk diukur konsentrasinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis sebagai konsentrasi awal.

3.2.3 Pengolahan sampel sintetik Amonia dengan menggunakan elektrolisis plasma.

Pada saat pengolahan sampel limbah sintetik dengan menggunakan elektrolisis plasma, waktu yang digunakan adalah 90 menit dengan tegangan 700 Volt dan konsentrasi elektrolit bervariasi mulai dari 0.01 ; 0,02 ; hingga 0,03 molar. Setelah ditemukan konsentrasi elektrolit yang optimal, kemudian dilakukan percobaan dengan menggunakan konsentrasi amonia yang bervariasi yaitu 100 dan 150 ppm. Dengan suhu dijaga agar tidak melebihi 60⁰C.

3.2.4 Pengambilan sampel.

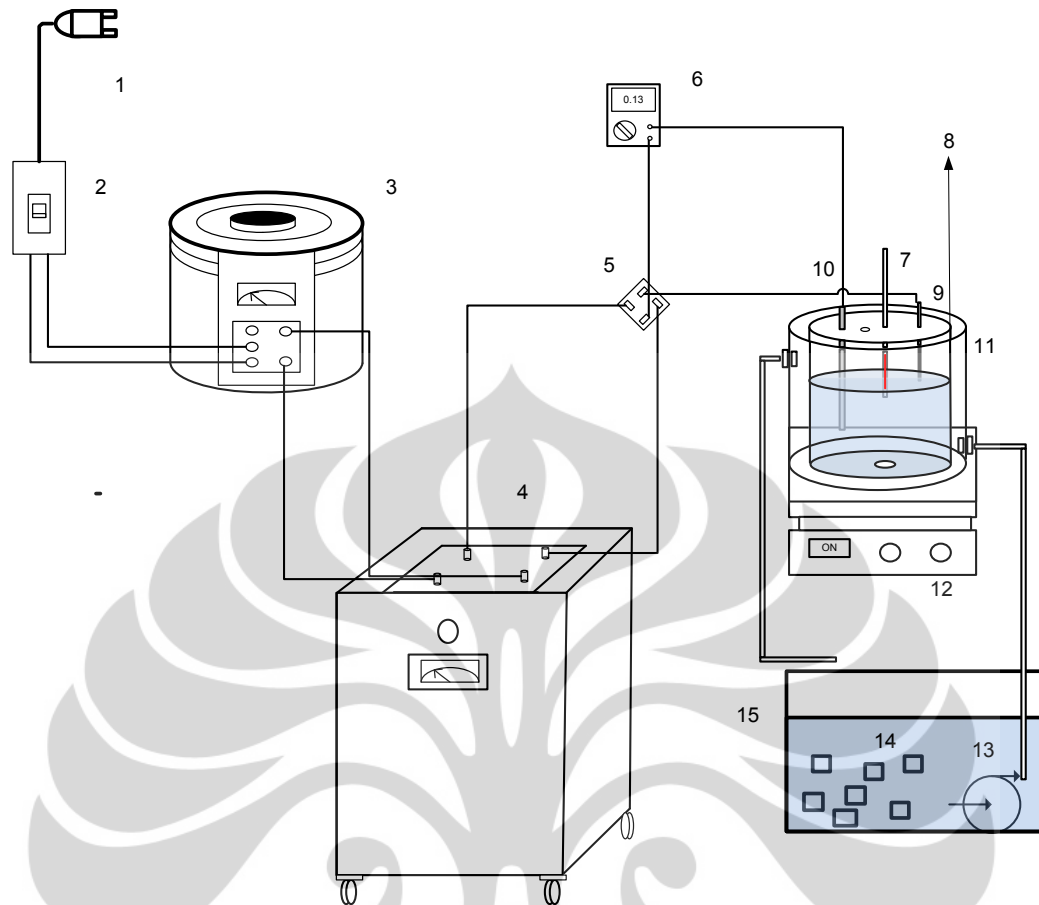
Setelah dilakukan perlakuan menggunakan elektrolisis plasma. Larutan sampel limbah diambil sebanyak 1 ml kemudian ditampung dan diencerkan dalam labu ukur 25 ml untuk dilakukan pengujian kadar amonia nya.

3.2.5 Analisis Sampel.

Sampel limbah sintetik yang telah diberikan perlakuan elektrolisis plasma diukur kadar amonianya untuk dibandingkan dengan kadar amonia sebelum dilakukan perlakuan elektolisis plasma untuk melihat efektifitas penguraian amonia menggunakan elektrolisis plasma pada kondisi tertentu.

3.3 Deskripsi Alat Penelitian

Secara umum, peralatan elektrolisis plasma dalam pengolahan limbah amonia terdiri dari alat pembangkit plasma, reaktor elektrolisis plasma, dan peralatan pendingin reaktor. Proses bersifat batch dimana limbah diletakkan di dalam reaktor tanpa tambahan sirkulasi. Reaktor diletakkan ke dalam jaket pendingin dimana air pendinginnya disirkulasikan ke melalui tangki reservoir yang berisi batu es.



Gambar 3.2. Konfigurasi alat elektrolisis plasma untuk pengolahan limbah air mengandung Amonia

Keterangan :

- | | | |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. Sumber listrik | 7. Termometer | 13. Pompa fluida pendingin |
| 2. Manual circuit breaker | 8. Reaktor /wadah terjadinya Reaksi | 14. Es pendingin |
| 3. Slide regulator | 9. Anoda | 15. Wadah fluida pendingin |
| 4. Transformator | 10. Katoda | |
| 5. Dioda bridge | 11. Cooling jacket | |
| 6. Multimeter | 12. Magnetic stirrer | |

Reaktor elektrolisis plasma terbuat dari beaker glass transparan yang dilengkapi dengan katoda berupa silinder pejal yang terbuat dari bahan stainless steel yang dicelupkan di reaktor dan anoda berbentuk silinder yang terbuat dari wolfram yang dikontakkan pada fluida limbah dalam reaktor (gambar 3.2).

Sumber tegangan listrik arus searah pada elektroda reaktor berasal dari listrik PLN yang telah dikontrol tegangannya dengan slide regulator, travo dan diode bridge. Tegangan, arus, dan konsumsi listrik diamati dengan alat Power Analyzer. Skema keseluruhan alat yang dirancang dan dibangun adalah seperti yang terlihat pada gambar diatas.

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa tahapan prosedur yaitu:

3.4.1 Preparasi Sampel.

Untuk didapat kondisi proses yang ditentukan, perlu dilakukan preparasi sampel dengan cara tertentu.

3.4.1.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah beaker glass, batang pengaduk , spatula, labu volumetrik 1000 ml, corong , serta timbangan analitik. Sedangkan bahan yang digunakan adalah padatan KOH, FeSO₄ serta padatan amonium sulfat.

3.4.1.2 Prosedur Membuat campuran limbah sintetik

1. Timbang dengan teliti sebanyak 0,388 gram (NH₄)₂SO₄ untuk konsentrasi limbah amonia 100 ppm atau 0,582 gram (NH₄)₂SO₄ untuk konsentrasi limbah amonia 150 ppm dan dilarutkan dalam aquadest sebanyak kurang lebih 200 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1 liter.
2. Timbang sebanyak 1,122 gram KOH untuk konsentrasi elektrolit 0,02 molar atau 0,561 gram untuk konsentrasi elektrolit 0,01 molar atau 1,683 gram untuk konsentrasi elektrolit 0,03 gram. Kemudian dilarutkan pada kurang lebih 200 ml aquadest dan dimasukkan ke dalam labu ukur yang telah berisi larutan ammonium sulfat.
3. Untuk percobaan yang menggunakan katalis FeSO₄ tambahkan FeSO₄ sebanyak 43,64 mg.

4. Encerkan larutan limbah sintetis dengan aquadest sampai tanda tera pada labu ukur 1000 ml.
5. Setiap sebelum dilakukan perlakuan dengan elektrolisis plasma, ambil sampel untuk pengujian konsentrasi awal amonia pada larutan diatas dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

3.4.2 Pengolahan dengan elektrolisis plasma

Pengolahan dengan elektrolisis plasma bertujuan untuk melihat efektifitas dari pengolahan limbah air yang mengandung amonia menggunakan elektrolisis plasma pada berbagai variasi.

3.4.2.1 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan adalah rangkaian alat percobaan yang terdiri dari serangkaian alat yang telah ditunjukkan pada gambar 3.2.

3.4.2.2 Prosedur

1. Rangkai alat seperti yang telah ditunjukkan pada gambar 3.2.
2. Isi reaktor elektrolisis plasma dengan larutan campuran sampel limbah sintetik hasil dari prosedur 3.4.1.2
3. Lakukan pengolahan dengan elektrolisis plasma dengan tegangan 700 volt dengan waktu 90 menit dengan variasi konsentrasi elektrolit 0,01 ; 0,02 dan 0,03 molar (setiap sebelum percobaan dengan elektrolisis plasma dilakukan sampling untuk mengukur konsentrasi amonia awalnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis). Pada saat percobaan elektrolisis plasma dilakukan sampling pada menit ke 15, 30, 45 , 60 dan 90.
4. Setelah mendapatkan konsentrasi elektrolit yang optimum, lakukan elektrolisis plasma dengan konsentrasi elektrolit yang optimum tersebut dengan variasi konsentrasi amonia 100 dan 150 ppm.
5. Setelah mendapatkan konsentrasi elektrolit dan konsentrasi limbah amonia yang optimum, lakukan percobaan elektrolisis plasma dengan konsentrasi elektrolit dan limbah yang optimum tersebut dengan menambahkan katalis.

3.4.3 Pengambilan sampel.

Pengambilan sampel dilakukan sebagai langkah awal untuk menganalisis hasil dari pengolahan limbah air yang mengandung amonia pada berbagai variasi kondisi proses.

3.4.3.1 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan untuk pengambilan sampel adalah dengan menggunakan pipet volumetrik 1 ml dengan menggunakan propipet (bulb) sebagai alat bantu hisap dan sebagai wadahnya digunakan labu ukur 25 ml.

3.4.3.2 Prosedur

1. Cuci dan bilas pipet volumetrik 1 ml.
2. Ambil larutan yang berada pada reaktor dengan pipet volumetrik sebanyak 1 ml
3. Letakkan sampel pada labu ukur 25 ml dan encerkan dengan aquadest sampai tanda tera.

3.4.4 Analisis Sampel dengan metode nessler.

Analisis sampel limbah air yang mengandung amonia berfungsi untuk mengetahui konsentrasi amonia pada larutan limbah sintesis baik sebelum atau sesudah dilakukan pengolahan dengan elektrolisis plasma dengan waktu tertentu.

3.4.4.1 Alat dan bahan

a. Peralatan:

1. Spektrofotometer UV-Visibel.
2. Labu ukur 25 ml..
3. Pipet volumetrik.
4. Pipet tetes.

b. Bahan –bahan.

1. Larutan standar amonia.
2. Larutan pereaksi Nessler A.

3. Larutan pereaksi Nessler B.
4. Aquadest.

3.4.4.2 Prosedur

a. Pengujian sampel.

1. Pipet sebanyak 1 ml sampel dari reaktor pada waktu yang ditentukan dan ditempatkan dalam labu ukur (25 ml) lalu tepatkan sampai tanda batas dengan aquades.
2. Tambahkan 1 ml pereaksi Nessler A , kocok dengan baik.
3. Tambahkan 1 ml pereaksi Nessler B , kocok dengan baik.
4. Simpan sampel di tempat yang gelap dan didiamkan selama 15 menit.
5. Tentukan λ maksimum dengan mengukur spektrum salah satu deret standar dengan spektrofotometer.
6. Ukur deret standar dan sampel pada λ maksimum.

b. Perhitungan

Kadar amonia dalam sampel dihitung sbb :

$$\text{NH}_3 \text{ (ppm)} = A \times \text{FP}$$

Keterangan :

A = Konsentrasi NH_3 dalam sampel, setelah dikurangi blanko hasil pengukuran dengan spektrofotometer (mg/L)

FP = Faktor pengenceran (25ml / 1ml)

3.4.5 Pengujian kadar H_2O_2 dengan spetrofotometer-visibel

Pengujian ini dilakukan pada larutan yang hanya terdiri dari elektrolitnya dan tidak mengandung limbah amonia. Yang bertujuan untuk melihat seberapa banyak radikal hidroksil yang dihasilkan, dimana radikal hidroksil apabila berekombinasi akan membentuk H_2O_2 .

Sampel dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer. Prinsip yang digunakan adalah mereaksikan H_2O_2 dengan KI dalam medium asam yang menghasilkan iodin yang akan melunturkan warna biru dari toluidin yang memiliki absorbansi maksimum pada 628 nm.

3.4.5.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan :

1. Kuvet
2. Tabung reaksi
3. Beaker glass 250 ml
4. Pipet tetes
5. Pipet ukur 0,1 ml, 1 ml, dan 5 ml.

3.4.5.2 Bahan

Bahan yang digunakan :

1. KI 2%
2. Indikator toluidine blue 0,01 %
3. HCL, 2 M
4. CH₃COONa, 2M
5. Aquadest

3.4.5.3 Prosedur

1. Tambahkan sampel sebanyak 5 tetes ke dalam tabung reaksi.
2. Tambahkan 1 ml KI 2% ke dalam masing-masing sampel.
3. Tambahkan 1 ml HCL 2M ke dalam masing-masing sampel.
4. Tambahkan 0,5 ml toluidine blue ke dalam masing-masing sampel.
5. Tambahkan 2 ml CH₃COONa 2M ke dalam masing-masing sampel.
6. Aduk perlahan masing-masing sampel.
7. Ukur absorbansi masing-masing sampel pada panjang gelombang 628 nm.

3.4.6 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung presentase penyisihan amonia.

Persentase penyisihan senyawa amonia tersebut dilakukan dengan rumus berikut :

% penyisihan =

$$\frac{\text{konsentrasi amonia awal} - \text{konsentrasi amonia akhir}}{\text{konsentrasi amonia awal}} \times 100 \%$$

BAB 4

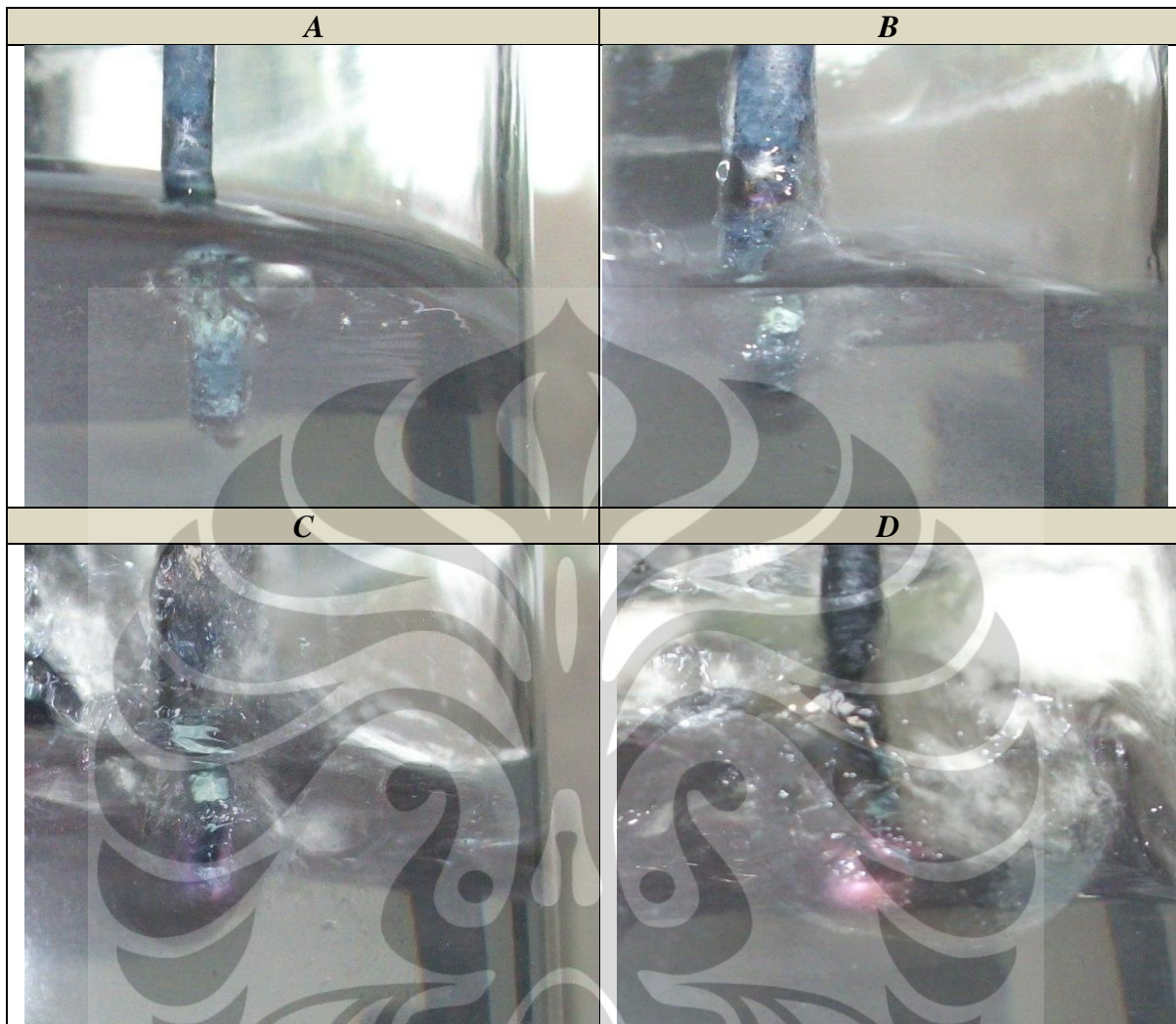
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan empat pengujian yaitu pengujian karakteristik tegangan dan arus, kinerja elektrolisis plasma, perbandingan tingkat konsumsi energi elektrolisis dan elektrolisis plasma, serta pengujian jumlah hidrogen peroksida (H_2O_2) yang merupakan parameter keberadaan radikal hidroksil (OH^\bullet). Sebagaimana diketahui, radikal hidroksil adalah suatu spesies aktif non-selektif yang dapat mendegradasi berbagai macam senyawa termasuk amonia.

Visualisasi plasma dan penentuan grafik Voltase terhadap arus (V vs I) bertujuan untuk melihat pada tegangan berapa terjadi fenomena seperti terbentuknya selubung uap, mulai munculnya plasma, dan terbentuknya plasma secara konstan. Pengujian kinerja elektrolisis plasma bertujuan untuk melihat persen degradasi dan efisiensi energi dari elektrolisis plasma pada berbagai variasi kondisi operasi. Sedangkan pengujian kadar hidrogen peroksida untuk melihat keberadaan radikal hidroksil yang bertujuan untuk memastikan bahwa pada percobaan elektrolisis plasma, terjadi degradasi amonia melalui mekanisme radikal hidroksil pada elektrolisis plasma, dimana radikal hidroksil apabila saling bertemu akan membentuk senyawa H_2O_2 (Gao, 2008).

4.1 Visualisasi dan karakteristik tegangan dan arus

Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan secara visualisasi mengenai fenomena pembentukan plasma yang dilakukan pada metode elektrolisis plasma CGDE dengan posisi sumber plasma di anoda serta variasi tegangan yang dilakukan yaitu 0-700 Volt pada larutan elektrolit 0,02 M. Berikut adalah gambar yang diperoleh pada tegangan tertentu.

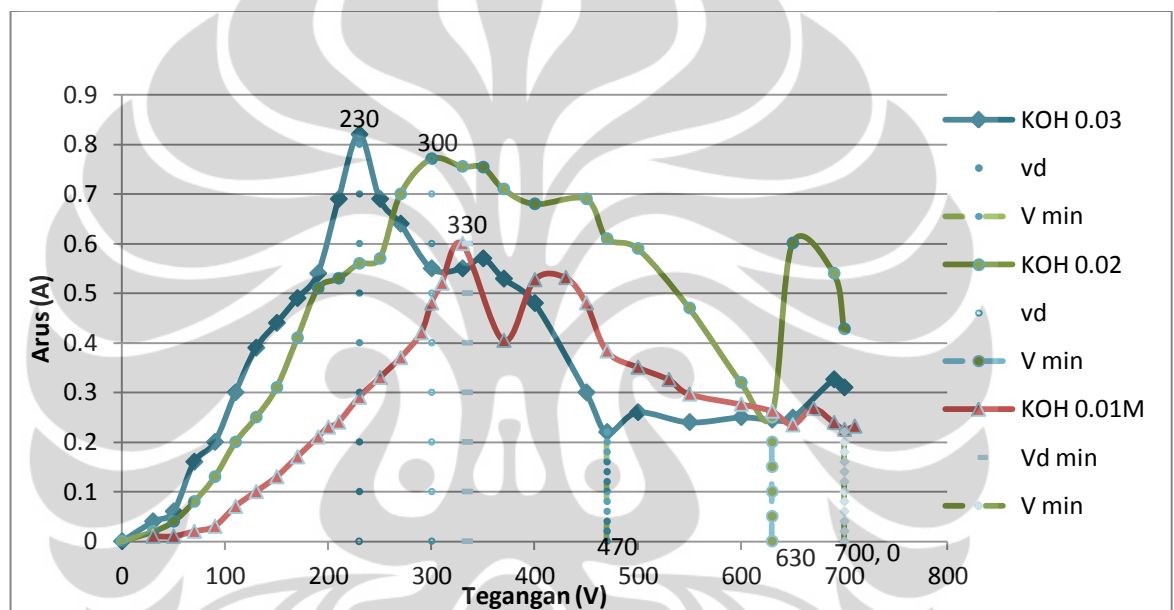


Gambar 4.1. Visualisasi dan fenomena pembentukan plasma pada berbagai tegangan a. 100, Volt b. 300 Volt, c. 500 Volt, dan d. 700 Volt.

Dari gambar diatas dapat kita lihat fenomena-fenomena yang terjadi apabila diberikan tegangan pada larutan elektrolit dan anoda tempat terjadinya plasma. Seperti yang terlihat pada gambar “A” dimana pada tegangan 100 volt adalah keadaan dimana terbentuk gelembung yang terkonsentrasi pada daerah sekitar anoda. Pada tegangan 300 volt (Gambar “B”) adalah keadaan dimana mulai terbentuk plasma akan tetapi belum stabil dan pada kondisi ini diperoleh nilai V_d yaitu saat plasma mulai terbentuk. Ketika tegangan dinaikkan menjadi 500 volt terjadi keadaan dimana plasma stabil dan diikuti dengan arus yang cenderung menurun. Sedangkan ketika tegangan dinaikkan lagi menjadi 700 volt (Gambar

“D”) adalah keadaan dimana plasma membesar dan arus mencapai kondisi minimum yaitu 0,3 ampere.

Dalam proses visualisasi elektrolisis plasma ini, dilakukan variasi konsentrasi dari larutan elektrolit KOH dengan konsentrasi 0,01 M, 0,02 M dan 0,03 M. Hal ini dilakukan untuk mengetahui proses terbentuknya plasma serta besarnya daya yang dikonsumsi. Tegangan divariasikan dengan kisaran 0-700 V sedangkan arus merupakan parameter yang diukur. Dari data tersebut maka diperoleh kurva sebagai berikut



Gambar 4.2. Kurva Hubungan tegangan dan arus pada variasi konsentrasi elektrolit

Dari kurva diatas, diperoleh tegangan discharge (V_d) yaitu tegangan ketika plasma mulai terbentuk, dan tegangan minimum (V_{min}) yaitu tegangan ketika arus mencapai nilai minimumnya. Untuk masing-masing variasi konsentrasi elektrolit, maka diperoleh nilai V_d dan V_{min} yang berbeda hal ini dipengaruhi oleh konduktivitas dari masing-masing konsentrasi elektrolit sebagaimana ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Kondisi V_d dan V_{min} pada masing-masing konsentrasi

Konsentrasi	Konduktivitas	V_d	I_d	V_{min}	Arus min
0.01	1.90 mS	330 V	0.60 A	700 V	0.225 A
0.02	3.70 mS	300 V	0.77 A	630 V	0.255 A
0.03	5.20 mS	230 V	0.82 A	430 V	0.225 A

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi elektrolit maka semakin besar pula konduktivitas elektrolitnya yang dapat berpengaruh langsung terhadap tegangan pada saat plasma terbentuk (V_d). Pada konsentrasi 0,03 M, V_d diperoleh pada tegangan 230 V, hal ini dikarenakan dengan konduktivitas elektrolit yang tinggi dapat menyebabkan elektron terdistribusi lebih banyak ke anoda yang menimbulkan elektron yang lebih cepat tereksitasi pada daerah permukaan anoda sehingga plasma mulai terbentuk pada tegangan yang lebih rendah. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit juga menyebabkan semakin banyak tersedianya elektron yang dapat tereksitasi sebagai media lewatnya arus. Semakin banyaknya elektron yang tereksitasi menyebabkan semakin mudah arus melewati larutan elektrolit sehingga semakin mudah terjadi loncatan arus listrik pada larutan elektrolit dikarenakan hambatan arus yang juga semakin besar. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit dan semakin tinggi konduktivitasnya juga menyebabkan temperature operasi lebih mudah naik karena arus yang melewati larutan elektrolit semakin tinggi. Kenaikan temperature disebabkan saat arus semakin tinggi, dengan tegangan yang dijaga konstan akan menyebabkan semakin banyaknya elektron yang tereksitasi yang saling bertumbukan dan terjadi perpindahan muatan.

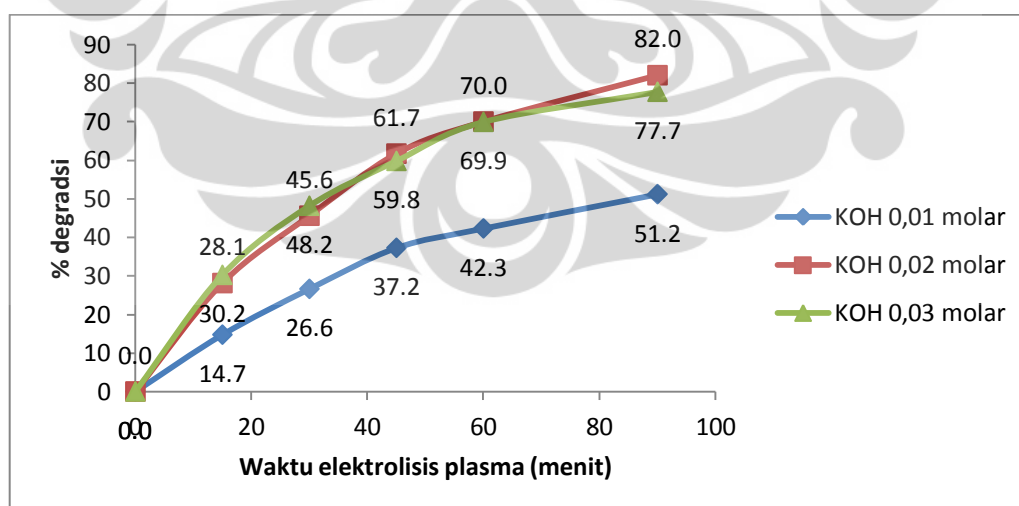
Berdasarkan grafik diatas, kami mengambil tegangan elektrolisis plasma untuk mendegradasi amonia pada 700 volt, karena pada tegangan 700 volt arus yang terjadi sangat kecil dan diharapkan energi yang dikonsumsi akan semakin kecil dalam mendegradasi amonia sehingga akan meningkatkan efisiensi proses dalam mendegradasi limbah amonia.

4.2 Kinerja elektrolisis plasma.

Pada bagian ini akan dijelaskan pengaruh variabel proses elektrolisis plasma terhadap kinerja elektrolisis plasma. Variabel proses yang dilakukan meliputi konsentrasi elektrolit KOH, konsentrasi limbah amonia serta penambahan katalis Fe^{2+} . Sedangkan kinerja elektrolisis plasma yang diamati meliputi persentasi degradasi serta energi yang diperlukan dalam mendegradasi amonia. Persentasi (%) penyisihan menunjukkan kemampuan dari elektrolisis plasma dalam mendegradasi amonia, semakin tinggi nilai % penyisihan, semakin baik pula performa dari elektrolisis plasma pada kondisi tertentu. Penyisihan amonia terlarut dalam limbah sintesis dapat dilihat dari selisih konsentrasi amonia pada saat sebelum dan sesudah percobaan elektrolisis plasma dalam rentang waktu tertentu.

Sedangkan energi yang diperlukan dalam mendegradasi amonia menggambarkan energi (kj) yang diperlukan untuk mendegradasi amonia (mol). Semakin kecil energi yang diperlukan untuk mendegradasi 1 mol amonia, maka proses tersebut semakin efisien.

Pada percobaan variasi konsentrasi elektrolit, konsentrasi elektrolit yang digunakan adalah 0,01 M , 0,02 M , dan 0,03 M. Berikut adalah grafik hasil pengujian degradasi amonia berdasarkan perbedaan konsentrasi elektrolit.

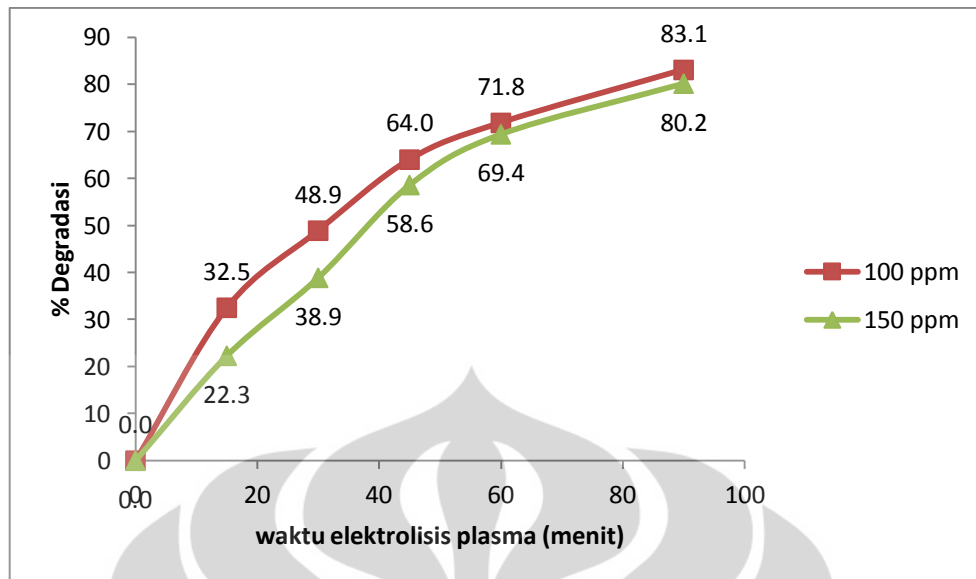


Gambar 4.3. Perbandingann degradasi amonia pada berbagai konsentrasi elektrolit (konsentrasi NH_3 100 ppm, $V = 700$ volt, $T = 50-60$ °C)

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada konsentrasi KOH 0,02 Molar, persentase degradasi yang dicapai lebih tinggi dibandingkan persentase degradasi amonia pada konsentrasi 0,01 molar. Hal ini dapat terjadi karena pada konsentrasi 0,02 M konduktivitas larutan lebih tinggi sehingga mempunyai lebih banyak ion-ion elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik sehingga arus yang melewati larutan lebih besar. Arus yang lebih besar menyebabkan semakin banyaknya elektron yang tereksitasi dan mengalami loncatan hingga terbentuk plasma. Hal ini mengakibatkan semakin banyak terbentuk molekul uap air yang terionisasi. Uap air yang terionisasi inilah pada akhirnya pada plasma di sekitar anoda saling bertumbuk atau berdifusi keluarutan dan menumbuk molekul uap air yang tidak tereksitasi hingga membentuk radikal hidroksil (Gao, 2002). Sehingga pada konsentrasi elektrolit KOH 0,02 M semakin banyak radikal hidroksil yang dilepaskan untuk mendegradasi amonia yang terkandung dalam limbah dibanding pada larutan KOH dengan konsentrasi 0,01 molar.

Dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa pada konsentrasi KOH 0,02 molar, persen degradasi yang dicapai sedikit lebih tinggi dibandingkan persen degradasi amonia pada konsentrasi 0,03 molar. Hal ini dapat terjadi karena pada konsentrasi konsentrasi 0,03 molar mempunyai pH yang lebih tinggi (12,47) dibandingkan pada 0,02 molar (12,34). Dimana semakin tinggi nilai pH, maka nilai potensial oksidasi radikal hidroksil akan menurun (Buxton, 1987). Sehingga penurunan nilai potensial oksidasi dari radikal hiroksil akan menyebabkan amonia yang terdegradasi sedikit berkurang. Sehingga didapati konsentrasi larutan elektrolit Kalium Hidroksida yang paling optimum untuk kinerja radikal hidroksil adalah 0,02 molar.

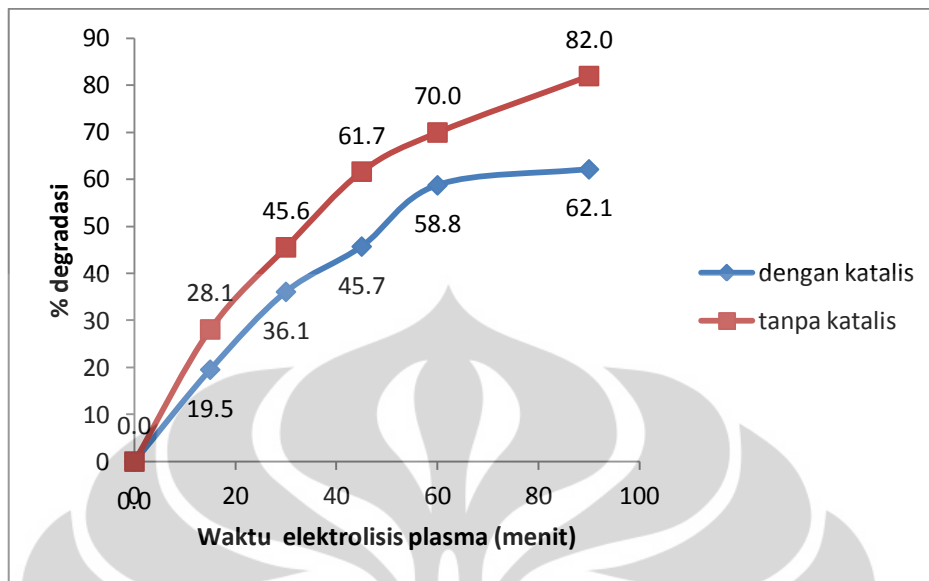
Variabel proses berikutnya yang diteliti adalah konsentrasi limbah amonia pada elektrolisis plasma. Variasi konsentrasi amonia yang dicobakan adalah 100 dan 150 ppm untuk melihat pengaruh penambahan konsentrasi amonia pada persen degradasi amonia. Berikut adalah grafik hasil pengujian degradasi amonia berdasarkan perbedaan konsentrasi amonia pada konsentrasi elektrolit KOH yang sama.



Gambar 4.4. Perbandingan degradasi amonia berdasarkan variasi konsentrasi limbah amonia (konsentrasi KOH 0,02 M, V = 700 volt, T = 50-60 °C)

Dari grafik diatas terlihat bahwa persen degradasi amonia pada larutan dengan konsentrasi amonia 150 ppm lebih rendah dari persen degradasi larutan dengan konsentrasi amonia 100 ppm. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi konsentrasi awal ammonia, laju penguraiannya semakin menurun namun semakin tinggi jumlah amonia yang dihilangkan (Huang, 2008). Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya frekuensi tumbukan antara molekul radikal hidroksil dengan molekul ammonia. Semakin banyak amonia dalam larutan yang terkonversi oleh radikal hidroksil, laju pengolahan molekul ammonia akan semakin menurun disebabkan semakin banyaknya ion-ion NO_2^- dan NO_3^- yang terbentuk dan mengakibatkan menurunnya pH yang mengakibatkan menurunnya rasio molekul ammonia (NH_3) yang lebih mudah teroksidasi terhadap molekul kation ammonium (NH_4^+) yang lebih sulit teroksidasi (Huang 2008).

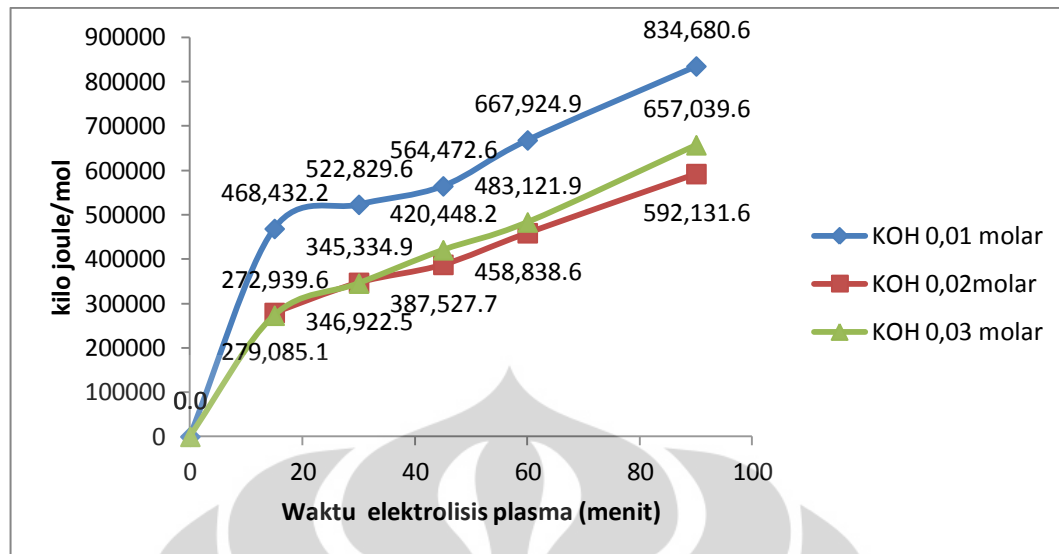
Variasi kondisi proses yang terakhir diteliti adalah penambahan katalis Fe^{2+} dimana larutan limbah amonia 100 ppm dalam larutan KOH 0,02 molar ditambahkan katalis Fe^{2+} yang didapat dari senyawa FeSO_4 . Konsentrasi optimal Fe^{2+} yang digunakan sebagai katalis dalam elektrolisis plasma sebanyak 8,76 ppm (Gao, 2008). Berikut adalah perbandingan persen degradasi antara larutan yang ditambahkan katalis dengan yang tidak ditambahkan katalis dengan konsentrasi amonia dan larutan KOH yang sama.



Gambar 4.5. Perbandingan degradasi amonia berdasarkan penambahan katalis (konsentrasi NH_3 100 ppm, KOH 0.02 M, $V = 700$ volt, $T = 50\text{-}60$ °C)

Dari grafik diatas dapat dilihat persen degradasi pada larutan yang ditambahkan katalis lebih kecil dibandingkan dengan larutan yang tidak ditambahkan katalis pada larutan dengan konsentrasi amonia dan KOH yang sama. Hal ini disebabkan pada suasana basa, penambahan Fe^{2+} menyebabkan terbentuknya endapan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang menyebabkan penurunan laju pembentukan radikal hidroksil (Matthew, 2003). Dimana penurunan laju pembentukan radikal hidroksil menyebabkan menurunnya laju degradasi amonia karena radikal hidroksil memegang peranan penting pada degradasi amonia.

Selain data % degradasi, pengujian elektrolisis plasma untuk pengolahan limbah amonia juga menghasilkan data tingkat konsumsi energi. Tingkat konsumsi energi adalah jumlah total energi (kilojoule) yang diperlukan untuk mendegradasi 1 mol amonia. Berikut adalah grafik yang menggambarkan konsumsi energi pada elektrolisis plasma dengan variasi konsentrasi elektrolit KOH.



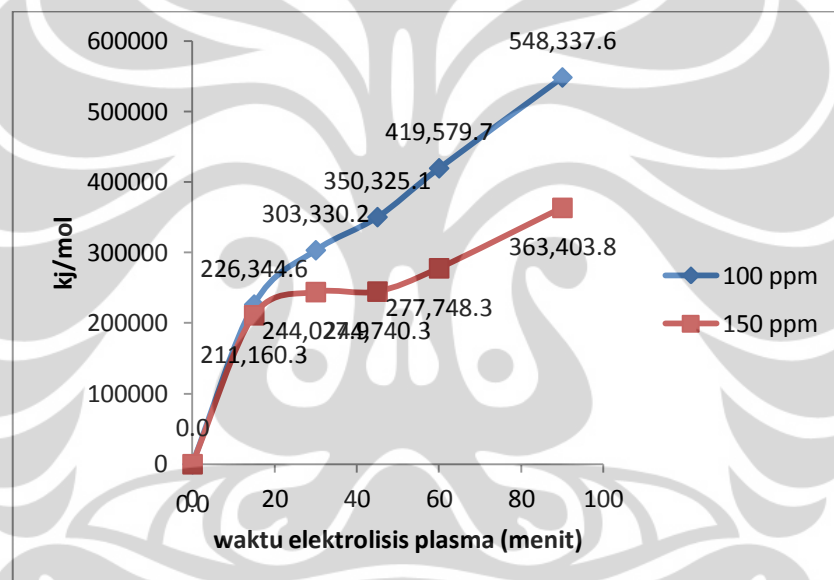
Gambar 4.6. Perbandingan tingkat konsumsi energi pada variasi konsentrasi elektrolit (konsentrasi NH_3 100 ppm, $V = 700$ volt, $T = 50-60$ °C)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa konsumsi energi pada degradasi amonia pada konsentrasi $0,02 \text{ M} < 0,03 \text{ M} < 0,01 \text{ M}$. Pada konsentrasi $0,02 \text{ M}$ didapati konsumsi energi untuk mendegradasi 1 mol amonia yang lebih rendah dibanding konsumsi energi pada konsentrasi $0,01 \text{ M}$. Hal ini dikarenakan sebagaimana telah dijelaskan pada pengaruh konsentrasi elektrolit pada persen degradasi, pada konsentrasi $0,02$ molar radikal hidroksil yang terbentuk lebih banyak dibandingkan pada larutan KOH $0,01$ molar. Walaupun arus rata-rata yang dibutuhkan pada konsentrasi $0,02$ molar sedikit lebih tinggi dibanding pada larutan $0,01$ molar. Namun persen degradasi pada larutan KOH $0,02$ molar jauh lebih tinggi dibandingkan pada larutan $0,01$ molar. Sehingga secara keseluruhan pada larutan dengan konsentrasi elektrolit KOH $0,02$ molar, total energi yang diperlukan (kilojoule) untuk mendegradasi 1 mol amonia lebih rendah dan lebih efisien.

Namun pada konsentrasi $0,03$ molar, konsumsi energi oleh elektrolisis plasma juga lebih tinggi dibandingkan pada konsentrasi $0,02$ molar. Hal ini disebabkan pada konsentrasi KOH $0,03$ molar mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi dari larutan elektrolit $0,02$ molar, dimana pada konsentrasi $0,03$ molar, arus yang melewati larutan lebih besar dari arus yang lewat pada larutan dengan konsentrasi $0,02$ molar. Juga sebagaimana telah dijelaskan pada pengaruh konsentrasi

elektrolit KOH pada persentase degradasi amonia, bahwa persen degradasi akhir pada larutan dengan konsentrasi KOH 0,03 molar masih sedikit lebih kecil dibandingkan pada larutan dengan konsentrasi 0,02 molar. Sehingga secara keseluruhan pada larutan dengan konsentrasi elektrolit KOH 0,02 molar, total energi yang diperlukan (kilojoule) untuk mendegradasi 1 mol amonia masih sedikit lebih rendah.

Variabel proses berikutnya mengenai konsumsi energi adalah pada variabel konsentrasi amonia dan berikut adalah grafik konsumsi energi pada variasi konsentrasi amonia 100 & 150 ppm namun dengan konsentrasi elektrolit KOH yang sama (0,02 molar).

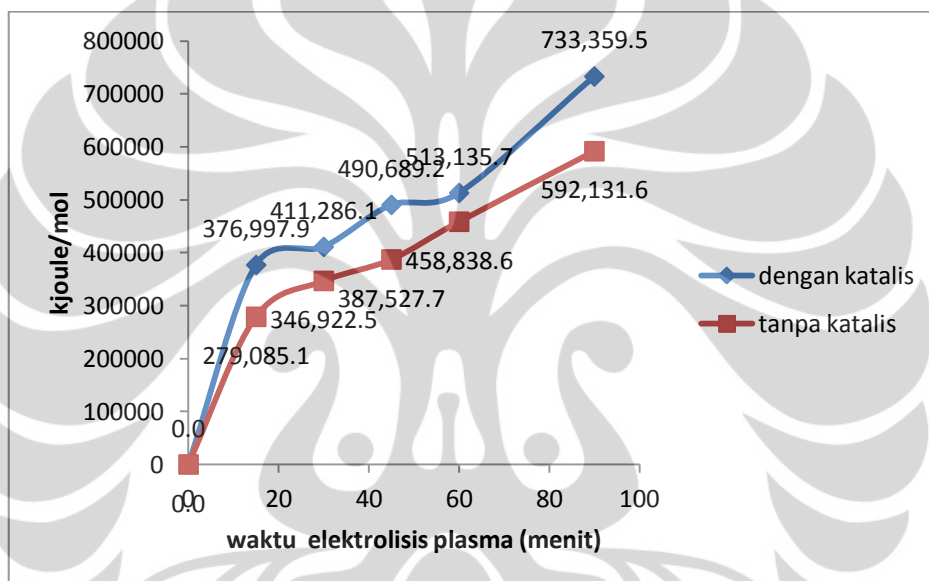


Gambar 4.7. Tingkat konsumsi energi pada variasi konsentrasi limbah (konsentrasi KOH 0.02 M, $V = 700$ volt, $T = 50-60$ °C)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tingkat konsumsi energi dengan konsentrasi larutan elektrolit yang sama namun pada variasi konsentrasi limbah amonia 150 ppm lebih kecil dibandingkan pada larutan dengan konsentrasi limbah amonia 100 ppm. Hal ini terjadi karena dengan konduktivitas larutan yang relatif sama (dengan konsentrasi elektrolit yang sama), arus yang melewati larutan tidak jauh berbeda. Namun seperti yang telah dijelaskan pada pengaruh konsentrasi amonia pada persentase degradasi amonia. Bahwa pada larutan dengan konsentrasi amonia 150 ppm, lebih banyak amonia yang terdegradasi, sehingga secara

keseluruhan total energi yang dibutuhkan (kilojoule) untuk mendegradasi 1 mol amonia pada konsentrasi limbah yang lebih tinggi (150 ppm) lebih rendah dan lebih efisien.

Variabel proses berikutnya mengenai konsumsi energi adalah pada variabel ada atau tidaknya penambahan katalis namun dengan konsentrasi amonia dan larutan elektrolit KOH yang sama. Berikut adalah grafik konsumsi energi pada variabel penambahan katalis.

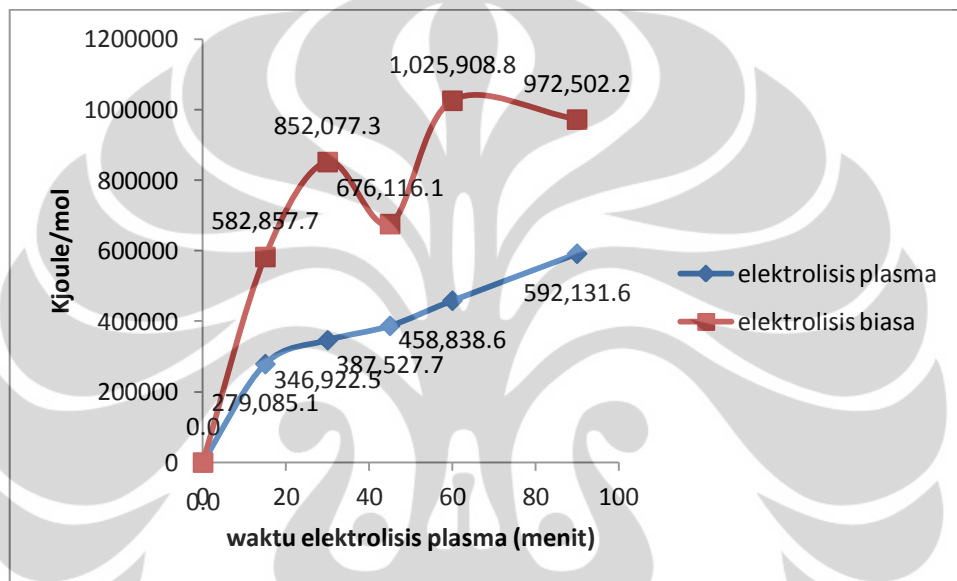


Gambar 4.8. Konsumsi energi berdasarkan ada atau tidaknya katalis (konsentrasi NH_3 100 ppm, KOH 0.02 M, $V = 700$ volt, $T = 50-60$ °C)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tingkat konsumsi energi pada penambahan katalis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan katalis pada konsentrasi elektrolit dan limbah amonia yang sama. Hal ini disebabkan pada penambahan katalis terjadi pembentukan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Dimana terjadinya pembentukan endapan menyebabkan berkurangnya konsentrasi radikal hidroksil dan mengakibatkan menurunnya efektifitas degradasi amonia.

4.3 Perbandingan konsumsi energi elektrolisis dan elektrolisis plasma

Percobaan membandingkan konsumsi energi antara elektrolisis dan elektrolisis plasma perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan konsumsi energi dalam bentuk kilo joule per mol terdegradasi. Mengingat kedua proses sama-sama dapat mendegradasi amonia. Berikut adalah data mengenai perbandingan konsumsi energi antara elektrolisis biasa dan elektrolisis plasma dalam mendegradasi amonia

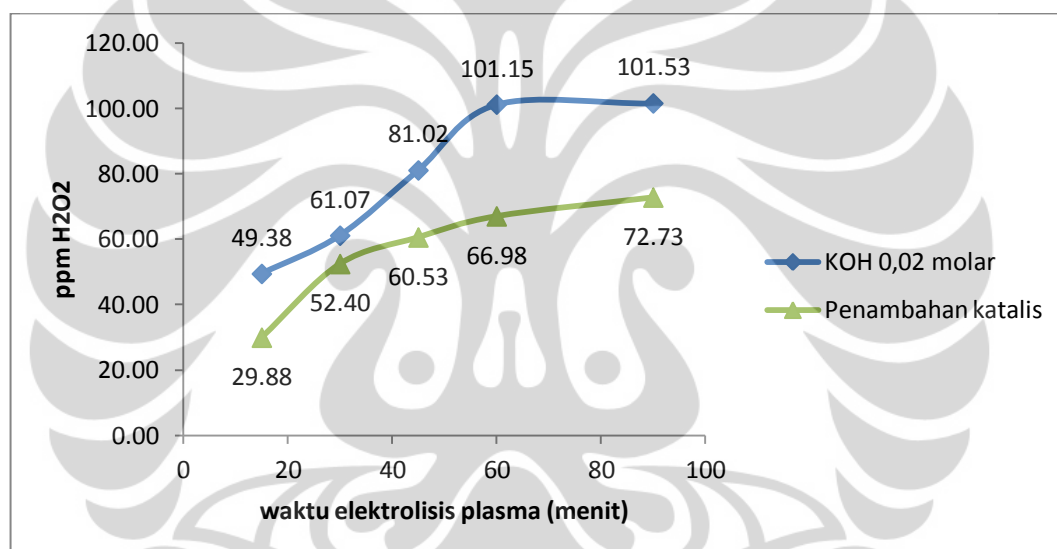


Gambar 4.9. Perbandingan konsumsi energi antara elektrolisis plasma (700 volt) dan elektrolisis biasa (70 volt). Dengan konsentrasi NH_3 100 ppm, KOH 0.02 M, dan temperatur $T = 50\text{-}60\text{ }^\circ\text{C}$

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsumsi energi yang diperlukan untuk mendegradasi 1 mol amonia pada elektrolisis plasma lebih rendah dibandingkan pada proses elektrolisis biasa. Hal ini dapat disebabkan karena pada elektrolisis plasma dengan arus yang relatif lebih kecil dapat mendegradasi amonia dalam jumlah yang sangat besar. Hal ini disebabkan pada elektrolisis plasma menghasilkan spesies reaktif non selektif radikal hidroksil. Dimana dengan arus yang kecil namun tegangan tinggi menyebabkan adanya elektron-elektron yang tereksitasi dan mengalami loncatan sehingga menimbulkan plasma. Hal ini juga menyebabkan molekul uap air banyak yang tereksitasi dan memproduksi radikal hidroksil Berbeda dengan elektrolisis biasa yang dengan arus yang lebih besar hanya dapat mendegradasi amonia dalam jumlah yang lebih sedikit.

4.4 Pengujian jumlah hidrogen peroksida (H₂O₂)

Hidrogen peroksida (H₂O₂) dapat terbentuk pada larutan hasil elektrolisis plasma, hal ini disebabkan pada saat elektrolisis plasma, radikal hidroksil dapat saling bertemu dan saling bergabung membentuk senyawa hidrogen peroksida (Gao, 2008). Pengujian keberadaan hidrogen peroksida ini bertujuan untuk melihat kebenaran bahwa degradasi amonia dalam elektrolisis plasma terjadi karena adanya radikal hidroksil. Pada percobaan pengujian jumlah radikal hidroksil ini dilakukan pada larutan yang tidak ditambahkan limbah amonia. Berikut adalah grafik hasil pengujian keberadaan hidrogen peroksida pada kondisi dengan atau tanpa penambahan katalis.



Gambar 4.10. Perbandingan konsentrasi H₂O₂ pada berbagai kondisi pengujian

Dari grafik di atas juga dapat dilihat dengan penambahan katalis, hidrogen peroksida yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan katalis dengan konsentrasi elektrolit yang sama. Hal ini dapat terjadi karena dalam suasana basa penambahan Fe²⁺ mengakibatkan terbentuknya endapan Fe(OH)₂ yang menyebabkan pengurangan jumlah terbentuknya radikal hidroksil (Matthew, 2003).

Radikal hidroksil adalah spesies reaktif yang dapat timbul sebagai hasil dari proses elektrolisis plasma. Pada proses elektrolisis plasma pula amonia dapat terdegradasi. Berikut adalah tabel yang menggambarkan rasio radikal hidroksil

yang terbentuk dan amonia yang terdegradasi yang terjadi pada kondisi yang paling optimum yaitu dengan konsentrasi KOH 0,02 molar, konsentrasi amonia 100 ppm (khusus untuk uji degradasi), serta tanpa penambahan katalis. Satu mol senyawa hidrogen peroksida dibentuk dari dua mol radikal hidroksil. Berikut adalah tabel mengenai jumlah mol dan rasio mol radikal hidroksil dan mol amonia terdegradasi.

Tabel 4.2 Perbandingan jumlah radikal hidroksil dan amonia yang terdegradasi pada kondisi yang optimum (Konsentrasi KOH 0,02 M, konsentrasi amonia 100 ppm, dan tanpa katalis)

Waktu (menit)	Mol amonia terdegradasi	Mol radikal hidroksil yang Terbentuk	Perbandingan jumlah mol radikal hidroksil yang terbentuk / mol amonia terdegradasi
15	0,81	1,14	1,40
30	1,21	1,39	1,15
45	1,57	1,83	1,17
60	1,75	2,27	1,30
90	2,01	2,26	1,13

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa mol radikal hidroksil yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan mol amonia yang terdegradasi dengan perbandingan rata-rata mol radikal hidroksil yang dihasilkan dengan mol amonia yang terdegradasi sebesar 1 : 1,12. Hal ini dapat terjadi karena dalam elektrolisis plasma radikal hidroksil yang terbentuk tidak hanya mendegradasi limbah namun ada juga yang berekombinasi membentuk H_2O_2 (Liu, 2010).

BAB 5

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari kesimpulan ini adalah :

1. Konsentrasi elektrolit KOH yang paling optimum untuk pengolahan limbah air yang mengandung amonia menggunakan Contact Glow Discharge Electrolysis (CGDE) adalah 0,02 molar dengan persen degradasi 81,99 %.
2. Semakin besar konsentrasi amonia pada pengolahan limbah menggunakan CGDE, akan menyebabkan persentasi degradasi akan menurun namun semakin banyak jumlah amonia yang terdegradasi.
3. Penambahan katalis Fe^{2+} dalam suasana basa akan menurunkan laju degradasi amonia dan menaikkan tingkat konsumsi energi untuk mendegradasi amonia sehingga menurunkan efektifitas proses.
4. Kondisi yang paling optimum untuk pengolahan limbah air yang mengandung amonia dengan CGDE menggunakan elektrolit KOH adalah dengan menggunakan larutan KOH dengan konsentrasi 0,02 molar tanpa menggunakan katalis.

Beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah :

1. Perlunya dilakukan percobaan pengolahan limbah air yang mengandung amonia dengan metode CGDE menggunakan larutan elektrolit yang bersifat asam dan netral.
2. Perlunya dilakukan percobaan pengolahan limbah air yang mengandung amonia dengan metode CGDE dengan sistem kontinyu pada berbagai variasi larutan elektrolit.
3. Perlunya dilakukan analisa kualitatif dan kuantitatif gas hasil proses CGDE pada percobaan pengolahan limbah air yang mengandung amonia pada sistem kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

Buxton George (1987). *Critical Review of Rate Constants for Reactions of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms and Hydroxyl Radicals (.OH/.O-) in Aqueous Solution*. Leeds: Cookridge Radiation Research Centre.

Cotton Alber, Wilkinson.(1989) . *Kimia Anorganik Dasar*. Depok:UI press.

Dorfmann. F Leon. (1973). *Reactivity of Hidroxyl Radical In Aqueus Solution*. Ohio : Ohio State University

Firmansyah Deni (2011). *Identifikasi laju Reaksi Penyisihan Timbal, Tembaga, Amonia, dan Linear Alkil Benzena Sulfonat Dalam Limbah Cair Melalui Proses Hibrida Ozonasi Dan Filtrasi Membran*. . Depok : Program Studi Teknik Kimia , Fakultas Teknik . Universitas Indonesia

Gao Jinzhang, et al (2008). . *Analysis of Energetic Species Caused By Contact Glow Discharge Electrolysis in Aqueous Solution*. Lanzou : Nothwest Normal University

Gao Jinzhang, Xiaoyan Wang, Zhongai Hu, Hualing Deng, Jingguo Hou, Xiaoquan Lu, Jingwan Kang (2002). . *Plasma degradation of dyes in water with contact glow discharge electrolysis*. Lanzou : Nothwest Normal University

<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=Ammonia>

<http://www.sciencegeek.net/VirtualLabs/Conductivity.html>

Huang li, Liang Li, Wen Bodong, Yan Liu, Hui Qihou. (2008). *Removal of Ammonia by OH Radical in Aqueous Phase*. Shanghai : Fudan University

Jin Xinlong, Xiaoyan Wang, Junjie Yue, Yaqi Cai, Hongyu Zhang (2010). *The effect of electrolyte constituents on contact glow discharge electrolysis*. Tianjin : Tianjin University of Technology

Karamah., Eva., F, Syafrizal, Adinda Nirmala. (2010) , *Pengolahan Limbah Campuran Logam Fe, Cu, Ni dan Amonia Menggunakan Metode Flotasi-Filtrasi dengan Zeolit Alam Lampung Sebagai Bahan Pengikat*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan.

Kurahashi Masato, Katsura Shinji, Akira Mizuno (2005). *Radical formation due to discharge inside bubble in liquid*, Sapporo : Hokkaido University

Liu Yongjun (2009). *Simultaneous oxidation of phenol and reduction of Cr(VI) induced by contact glow discharge electrolysis*. Dalian : Dalian Maritime University

Matthew (2003). *Fenton and Modified Fenton Methods For Pollutant Degradation*. Louisiana: University of New Orleans

Mizuno. (2005). *Hydrogen Evolution by Plasma Electrolysis in Aqueous Solution*, Sapporo : Hokkaido University

Ratnawati, Indah Riwayati (2010) .*Penurunan Kandungan Ammonia Dalam Air dengan Teknik Elektrolisis Rekayasa Kimia dan Proses*. Semarang : UNDIP.

Saksono; Nelson, Abidin; J, Bismo; S,(2010) , *Hydrogen Production Systems Design Through Plasma Non-Thermal*, 2010 .Bali : The 1st International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, .

Saksono; Nelson, Feriansyah; R, Bismo; S,(2011) , *Hydrogen Production Using Non-Thermal Plasma Electrolysis in KOH solution*,.Bali:The 12th Internasional Conference on QIR,.

Saksono; Nelson, Mardiansyah, Setijo Bismo(2011) , *Elektrolisis Plasma Non-Termal dalam Larutan Elektrolit KOH – etanol*, . Semarang : Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses.

Sukarjo.(1997) *Kimia Fisika*.Jakarta : PT. Rineka Cipta

LAMPIRAN

1. Contoh Perhitungan persiapan limbah sintetis amonia.

1.1 Contoh Pembuatan larutan limbah sintetis

1.1.1 Membuat larutan sintetis amonia 100 ppm dari $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Diketahui :

- Konsentrasi amonia 100 ppm
- Volume = 1 liter
- Mr $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 132,14 \text{ gr/mol}$
- Berat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang ditimbang :

$$100 \text{ mg/liter} \times 1 \text{ liter} \times \frac{132,14 \text{ gr/mol}}{17 \times 2 \text{ gr/mol}}$$

$$= 388,6 \text{ mg} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}}$$

$$= 0,3886 \text{ gram}$$

1.2 Contoh Perhitungan Pembuatan larutan KOH

1.2.1 Contoh pembuatan larutan KOH 0,02 molar

Diketahui:

- Konsentrasi KOH 0,02 molar
- Volume = 1 liter
- Mr KOH= 56,1 gr/mol
- Berat KOH yang ditimbang :

$$0,02 \text{ mol/liter} \times 1 \text{ liter} \times 56,1 \text{ gram/mol}$$

$$= 1,122 \text{ gram}$$

1.3 Contoh Perhitungan penimbangan katalis Fe^{2+} dari FeSO_4

Diketahui :

- Konsentrasi katalis = 8,76 ppm
- Volume katalis 1 liter
- Mr $\text{FeSO}_4 = 278,02 \text{ gr/mol}$
- Ar $\text{Fe}^{2+} = 55,8 \text{ gr/mol}$
- Berat FeSO_4 yang ditimbang :
- $8,76 \text{ mg/liter} \times 1 \text{ liter} \times \frac{278,02 \text{ gr/mol}}{55,8 \text{ gr/mol}}$
- $= 43,64 \text{ mg} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}}$
- $= 0,04364 \text{ gram}$

2 Data penelitian

2.1 Contoh data pengukuran kinerja plasma (persen degradasi dan tingkat konsumsi energi) menggunakan data yang berasal dari spektrofotometer UV-Visibel

2.1.1 Contoh pengukuran larutan standar

Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Pengukuran larutan standar

Ppm sebagai "x" dan absorbansi sebagai "y"

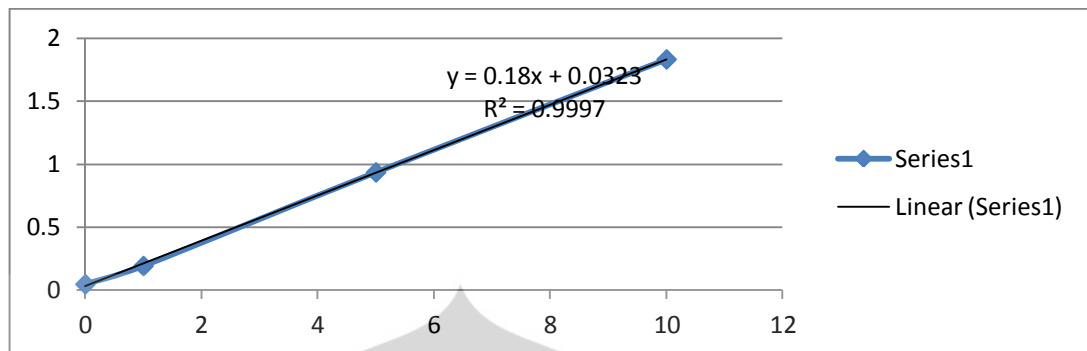
0 ppm = 0,048

1 ppm = 0,193

5 ppm = 0,936

10 ppm = 1,833

Contoh kurva kalibrasi



2.1.2 Contoh perhitungan persentasi degradasi

Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Data pengukuran absorbansi sampel hasil sampling pada menit tertentu

0 menit = 0,765

15 menit = 0,559

30 menit = 0,431

60 menit = 0,252

90 menit = 0,164

Dengan persamaan least square :

$$Y = 0,18 x + 0,032$$

Dengan "Y" = absorbansi sampel

"X" = konsentrasi amonia setelah diencerkan dalam labu ukur 25 ml.

Maka konsentrasi sampel amonia dalam sampel adalah = "X" x (25/1)

Dimana (25/1) adalah faktor pengenceran

$$\text{Maka } X = \frac{Y - 0,032}{0,018}$$

Maka konsentrasi limbah amonia pada 0 menit (absorbansi 0,765) :

$$X = \frac{0,765 - 0,032}{0,18} = 4,0722$$

Konsentrasi limbah pada menit ke 0 (konsentrasi awal) = $4,0722 \times 25 = 101,8$ ppm

Dan konsentrasi limbah amonia pada 90 menit (absorbansi 0,164) :

$$X = \frac{0,164 - 0,032}{0,18} = 0,733$$

Konsentrasi limbah pada menit ke 90 (konsentrasi akhir) = $0,733 \times 25 = 18,33$ ppm

-Maka persentase degradasinya adalah :

% degradasi pada menit ke "a" =

$$\frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi amonia pada menit ke "a"}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \%$$

% degradasi pada menit ke 90 =

$$\frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi amonia pada menit ke 90}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \%$$

$$= \frac{101,8 - 18,33}{101,8} \times 100 \% = 81,99 \%$$

2.1.3 Contoh perhitungan tingkat konsumsi energi :

Pada menit ke 90 , disertai data-data berikut ini :

Arus rata-rata pada saat elektrolisis plasma menit ke 90 : 0,291 ampere

Konsentrasi amonia sisa = 18,33 ppm (Mr Amonia = 17,03 gr/mol)

Volume larutan = 379 ml.

Maka untuk mendapatkan tingkat konsumsi energi (kj/mol) =

- ppm amonia yang terdegradasi = konsentrasi amonia awal – konsentrasi amonia sisa = 101,8 ppm-18,33 ppm
= 83,5 ppm
- konsentrasi amonia yang terdegradasi = $\frac{W \text{ amonia terdegradasi}}{MR} \times \frac{V}{1000}$
- $= \frac{83,5 \text{ mg}}{17,03} \times \frac{379 \text{ ml}}{1000}$
- Tingkat konsumsi energi = $\frac{W}{C \text{ amonia}} = \frac{700 \times 90 \times 60 \times 0,291}{1,86}$
- = 592,1 kj/mol

3 Rangkuman data

3.1 variasi konsentrasi elektrolit

3.1.1. Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Tanpa penambahan katalis

Waktu	Absorbansi	konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,765	101,81	0,00	0,00
15	0,559	73,19	28,10	279085,13
30	0,431	55,42	45,57	346922,51
45	0,313	39,03	61,66	387527,72
60	0,252	30,56	69,99	458838,60
90	0,164	18,33	81,99	592131,62

3.1.2 Konsentrasi KOH 0,03 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Tanpa penambahan katalis

time	absorbance	Konsentasi Amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,763	101,528	0,0	0,000
15	0,542	70,833	30,23	272939,64
30	0,411	52,639	48,15	345334,92
45	0,326	40,833	59,78	420448,15
60	0,252	30,556	69,90	483121,93
90	0,195	22,639	77,70	657039,64

3.1.3 Konsentrasi KOH 0,01 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Tanpa penambahan katalis

time	Absorbance	konsentrasi amonia (ppm)	%degradation	kjoule/mol
0	0,765	101,81	0	0
15	0,657	86,81	14,73	468432,24
30	0,57	74,72	26,60	522829,64
45	0,492	63,89	37,24	564472,63
60	0,455	58,75	42,29	667924,87
90	0,39	49,72	51,16	834680,55

3.2 Variasi konsentrasi limbah

3.2.1. Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Tanpa penambahan katalis

Waktu	absorbansi	konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kJoule/mol
0	0,813	108,47	0,00	0,00
15	0,559	73,19	32,52	226344,64
30	0,431	55,42	48,91	303330,16
45	0,313	39,03	64,02	350325,06
60	0,252	30,56	71,83	419579,68
90	0,164	18,33	83,10	548337,60

3.2.2 Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 150 ppm

Tanpa penambahan katalis

waktu	absorbansi	(konsentrasi amonia (ppm))	% degradation	kJoule/mol
0	1,12	150,69	0,00	0,00
15	0,878	117,08	22,30	211160,31
30	0,698	92,08	38,89	244027,91
45	0,484	62,36	58,62	244740,34
60	0,367	46,11	69,40	277748,33
90	0,25	29,86	80,18	363403,78

3.3 Variasi penambahan katalis

3.3.1. Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Tanpa penambahan katalis

Waktu	Absorbansi	konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,765	101,81	0,00	0,00
15	0,559	73,19	28,10	279085,13
30	0,431	55,42	45,57	346922,51
45	0,313	39,03	61,66	387527,72
60	0,252	30,56	69,99	458838,60
90	0,164	18,33	81,99	592131,62

3.3.2 Konsentrasi KOH 0,02 molar

Konsentrasi amonia 100 ppm

Dengan penambahan katalis

waktu (menit)	Absorbansi	konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,771	102,36	0	0
15	0,627	82,36	19,54	376997,8715
30	0,505	65,42	36,09	411286,1021
45	0,434	55,56	45,73	490689,1935
60	0,338	42,22	58,75	513135,7425
90	0,313	38,75	62,14	733359,53

3.4 Perbandingan elektrolisis biasa dan elektrolisis plasma

3.4.1 elektrolisis plasma

Waktu	absorbansi	konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,765	101,81	0,00	0,00
15	0,559	73,19	28,10	279085,13
30	0,431	55,42	45,57	346922,51
45	0,313	39,03	61,66	387527,72
60	0,252	30,56	69,99	458838,60
90	0,164	18,33	81,99	592131,62

3.4.2 Elektrolisis biasa

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi amonia (ppm)	% degradation	kjoule/mol
0	0,750	99,68	0	0
15	0,734	97,46	2,2	582857,75
30	0,720	95,51	4,2	852077,29
45	0,707	93,71	6,0	676116,08
60	0,695	92,04	7,7	1025908,76
90	0,688	91,07	8,6	972502,22

3.5 Konsentrasi H₂O₂

Waktu (menit)	konsentrasi H ₂ O ₂	
	0,02 M tanpa katalis (ppm)	0,02 M dengan katalis (ppm)
15	49,38	29,88
30	61,07	52,40
45	81,02	60,53
60	101,15	66,98
90	101,53	72,73