



**OPTIMALISASI SENSOR ELEKTROKIMIA GAS N₂O
MENGUNAKAN ELEKTRODA PLATINA (Pt)**

SKRIPSI

Asa':	Hadiah	Klass
	Pembelian	615. 91
Terima Tarif :	02 JAN 2008	PUR
No. Induk :		0
Oleh :	KLASIR E YATI	SCS

S

e.1

Agustinus Eko Purwoko
NIM 021810301080

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2007



**OPTIMALISASI SENSOR ELEKTROKIMIA GAS N_2O
MENGUNAKAN ELEKTRODA PLATINA (Pt)**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Oleh :

Agustinus Eko Purwoko
NIM 021810301080

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2007

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Bapak TH. Sakiman dan Ibu V. Sri Eko B., yang telah memberikan dorongan material dan spiritual serta pengorbanan selama ini,..... aku sayang kalian;
2. Adekku, Dwi dan Vindy, terima kasih atas kebersamaan kalian, jadi teman saat aku sepi;
3. Bapak Drs. Siswoyo, MSc. PhD. dan Bapak Tri Mulyono, SSi., MSi., yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing selama penelitian;
4. Cipluk, yang selalu beri aku support. Terima kasih atas sayang, cinta, perhatian, lawa, tangis, segalanya. Thank's My Lophe..
5. Almamaterq Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember.

MOTTO

Jangan terlampau memperdulikannya bicara tentang baik buruk mu, perihal apapun harus menurut kemampuan diri sendiri, bukalah payung, biarkan kabar angin yang seperti hujan tidak sampai memukul di bagian belakang lehermu.

(Lenny Go Law Hong)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agustinus Eko Purwoko

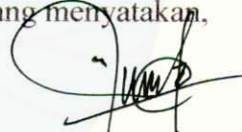
NIM : 021810301080

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Optimalisasi Sensor Elektrokimia Gas N₂O Menggunakan Elektroda Platina (Pt)* adalah bebar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2007

Yang menyatakan,



Agustinus Eko Purwoko
NIM 021810301080

SKRIPSI

**OPTIMALISASI SENSOR ELEKTROKIMIA GAS N₂O
MENGUNAKAN ELEKTRODA PLATINA (Pt)**

Oleh

Agustinus Eko Purwoko
NIM 021810301080



Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Siswoyo, MSc, PhD.

Dosen Pembimbing Anggota : Tri Mulyono, SSi, MSi.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Optimalisasi Sensor Elektrokimia Gas N₂O Menggunakan Elektroda Platina (Pt)* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas MIPA Universitas Jember pada:

Hari : KAMIS

Tanggal : 27 DEC 2007

Tempat : Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember

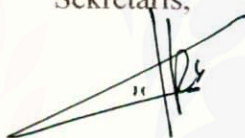
Tim Penguji

Ketua,



Drs. Siswoyo, MSc, PhD.
NIP. 132 056 180

Sekretaris,



Tri Mulyono, SSi, MSi.
NIP. 132 026 031

Dosen Penguji I,



Drs. Zulfikar, PhD.
NIP. 131 660 785

Dosen Penguji II,



Drs. Mukh. Mintadi, MSc.
NIP. 131 945 804

Mengesahkan

Dekan FMIPA UNEJ,



Prof. Drs. Kusno, DEA, PhD.
NIP. 131 592 357

RINGKASAN

Optimalisasi Sensor Elektrokimia Gas N₂O Menggunakan Elektroda Platina (Pt); Agustinus Eko Purwoko, 021810301080, 2007: 68 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Nitrous oksida atau dinitrogen oksida (N₂O), dikenal sebagai gas gelak dan merupakan oksida nitrogen yang berlimpah di atmosfer. Gas ini digunakan secara luas sebagai gas anastesi dan analgesik dalam bidang pengobatan dan juga sebagai zat aditif bahan bakar dalam bidang otomotif. Gas ini berpotensi untuk merusak lapisan ozon dan mengakibatkan pemanasan global sehingga usaha pemantauan dan pengendalian terhadap konsentrasi dan laju emisinya menjadi sangat penting. Metode analisis N₂O yang sering digunakan saat ini adalah spektrometri inframerah dan kromatografi gas. Metode ini membutuhkan tenaga yang terampil dan biaya operasional yang mahal.

Berbagai macam metode bermunculan untuk menganalisis keberadaan gas N₂O, hal ini memiliki tujuan untuk memperbaiki metode-metode yang sudah ada sebelumnya. Metode elektroanalisis banyak menarik perhatian para peneliti dengan alasan metode ini sederhana, murah, dan mudah dibangun jika dibandingkan dengan metode kromatografi dan spektrometri inframerah (Siswoyo, *et al.*, 2000), salah satu teknik yang digunakan yaitu dengan menggunakan teknik voltametri.

Permasalahan yang dipelajari dalam penelitian ini adalah 1) bagaimana pengaruh variasi konsentrasi elektrolit dan *scan rate* pada pengukuran gas N₂O secara elektrokimia, 2) bagaimana karakteristik sensor gas menggunakan teknik polarisasi voltametri siklik dan *differential pulse voltammetry*, 3) bagaimana karakteristik sensor gas N₂O menggunakan membran dan tanpa membran.

Tujuan penelitian ini adalah 1) mengetahui pengaruh variasi *scan rate* dan konsentrasi elektrolit pada pengukuran gas N₂O secara elektrokimia, 2) mengetahui karakteristik sensor gas N₂O menggunakan teknik polarisasi voltametri siklik dan

differential pulse voltammetry, 3) mengetahui karakteristik sensor gas N_2O menggunakan membran dan tanpa membran.

Variasi konsentrasi elektrolit tetrabutylammoniumperchlorat/dimetilsulphoksida (TBAP/DMSO) yang digunakan adalah 0,010; 0,025; 0,050; 0,075; 0,100 M dan variasi *scan rate* yaitu 40, 80, 100, 200 mV/detik. Alat yang digunakan berupa potensiostat Amel 433A dengan sel tiga elektrodanya terdiri dari elektroda kerja platina (Pt), elektroda pembanding perak (Ag), dan elektroda pelengkap adalah emas (Au). Pengukuran dilakukan pada rentang potensial 0 - (-2800) mV.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon sensor optimum pada konsentrasi elektrolit 0,025 M dan *scan rate* 80 mV/detik. Karakterisasi sensor yang meliputi daerah kerja, sensitivitas dan batas deteksi dengan teknik polarisasi *differential pulse voltammetry* tidak berhasil dibandingkan teknik polarisasi voltametri siklik karena puncak reduksi N_2O yang terekam tidak stabil. Karakterisasi sensor dengan teknik polarisasi voltametri siklik didapatkan: Daerah linier, tanpa menggunakan membran 1,514 – 4,878g/L dengan kelinieran sebesar 0,9729, menggunakan membran 0,4125 – 1,329 g/L dengan kelinieran 0,9877. Batas deteksi, tanpa menggunakan membran 0,7706 g/L, menggunakan membran 0,14020 g/L. Sensitivitas, tanpa menggunakan membran $-3274,7 \text{ nA(g/L)}^{-1}$, menggunakan membran $-466,77 \text{ nA(g/L)}^{-1}$.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Optimalisasi Sensor Elektrokimia Gas N₂O Menggunakan Elektroda Platina (Pt)*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Prof. Drs. Kusno, DEA, PhD., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember,
2. Drs. Siswoyo, M.Sc., PhD., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember,
3. Drs. Zulfikar PhD., selaku ketua Laboratorium Kimia Analitik jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember,
4. Drs. Siswoyo, M.Sc., PhD., selaku Dosen Pembimbing Utama, Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, Drs. Zulfikar, PhD., Tanti Haryati, S.Si., Asnawati, S.Si., M.Si dan Drs. Mukh. Mintadi, M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi ini,
5. Dwi Indarti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan mengarahkan kemajuan akademik selama menjadi mahasiswa,
6. Bapak dan Ibu Dosen Pembina matakuliah, Staf administrasi dan Teknisi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, khususnya Mas Budi dan Bu Hartik, maaf kalau sering ganggu di kantor,

7. Phi2, partner di LAB. Terima kasih sudah banyak membantu, kasih nasehat kalau aku mulai patah semangat. Semangat & sukses !!,
8. Teman-teman'02, terima kasih banyak atas kebersamaan kalian selama ini. Aku tidak pernah lupa kebaikan kalian,
9. Teman-teman'03, '04, '05, terima kasih bantuan kalian selama ini. Kalau ada sikap yang tidak berkenan, maafin aku ya ?,
10. Teman-teman penelitian di LAB Barat dan Timur, terima kasih atas masukannya. Ayo semangat Jangan menyerah...,
11. Bapak/ Ibu Kosan Batu Raden, Kalimantan XVI, Kalimantan 57, terima kasih banyak sudah memberi tumpangan istirahat selama kuliah,
12. Semua pihak yang banyak membantu yang tidak dapat penulis disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari skripsi ini jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan sumbangan bagi ilmu pengetahuan khususnya dibidang Kimia Analitik.

Jember, Desember 2007

Penulis

DAFTAR ISI

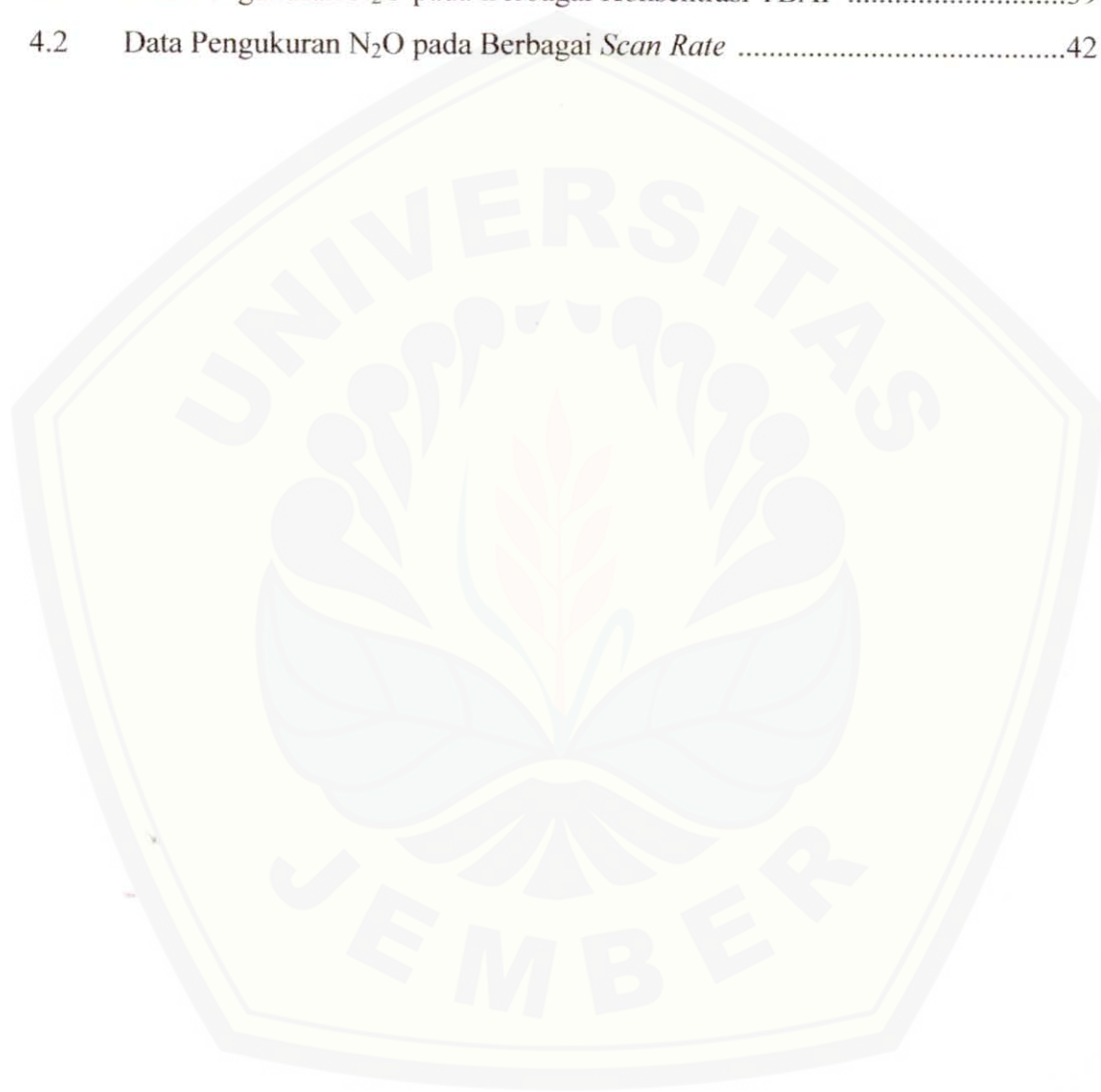
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Elektrokimia	4
2.2 Komponen-Komponen Sel Elektrokimia	6
2.2.1 Sel	7
2.2.2 Larutan Elektrolit	8
2.2.3 Elektroda	9
2.3 Mikroelektroda	11
2.4 Potensiostat	12
2.5 Sensor Elektrokimia	14

2.6	Voltammetri	15
2.6.1	Voltametri Siklik	18
2.6.2	<i>Differential Pulse Voltammetry</i>	20
2.7	<i>Polydimethylsiloxanes (PDMS)</i>	22
2.8	Nitrous Oksida (N₂O)	23
BAB 3. METODE PENELITIAN		25
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2	Diagram Alir Penelitian	25
3.2.1	Preparasi Sel Elektrokimia	26
3.2.2	Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum	26
3.2.3	Penentuan <i>Scan Rate</i> Optimum	27
3.2.4	Pembuatan Sensor Gas N ₂ O	27
3.2.5	Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (<i>Unshielded Electrode</i>)	28
3.2.6	Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt dengan Membran PDMS (<i>Membrane Covered</i>).....	29
3.3	Alat dan Bahan	29
3.3.1	Alat	29
3.3.2	Bahan	29
3.4	Prosedur Penelitian	30
3.4.1.	Preparasi Sel Elektrokimia.....	30
3.4.2.	Pembuatan Gas N ₂ O	30
3.4.3.	Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum	30
3.4.4.	Penentuan <i>Scan Rate</i> Optimum	31
3.4.5.	Pembuatan Sensor Gas N ₂ O	31
3.4.6.	Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (<i>Unshielded Electrode</i>)	32
3.4.7.	Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt dengan Membran PDMS (<i>Membrane Covered</i>)	32
3.4.8.	Karakterisasi Sensor Gas	33

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Preparasi Gas Nitrous Oksida	35
4.2 Optimalisasi Sensor	36
4.2.1 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum	36
4.2.2 Penentuan <i>Scan Rate</i> Optimum	40
4.3 Proses Elektroanalisis tanpa Menggunakan Membran	42
4.4 Proses Elektroanalisis Menggunakan Membran <i>Polydimethylsiloxane</i> (PDMS)	45
4.5 Karakterisasi Sensor	48
4.5.1 Daerah Linier	48
4.5.2 Batas Deteksi	48
4.5.3 Sensitivitas	49
BAB 5. PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

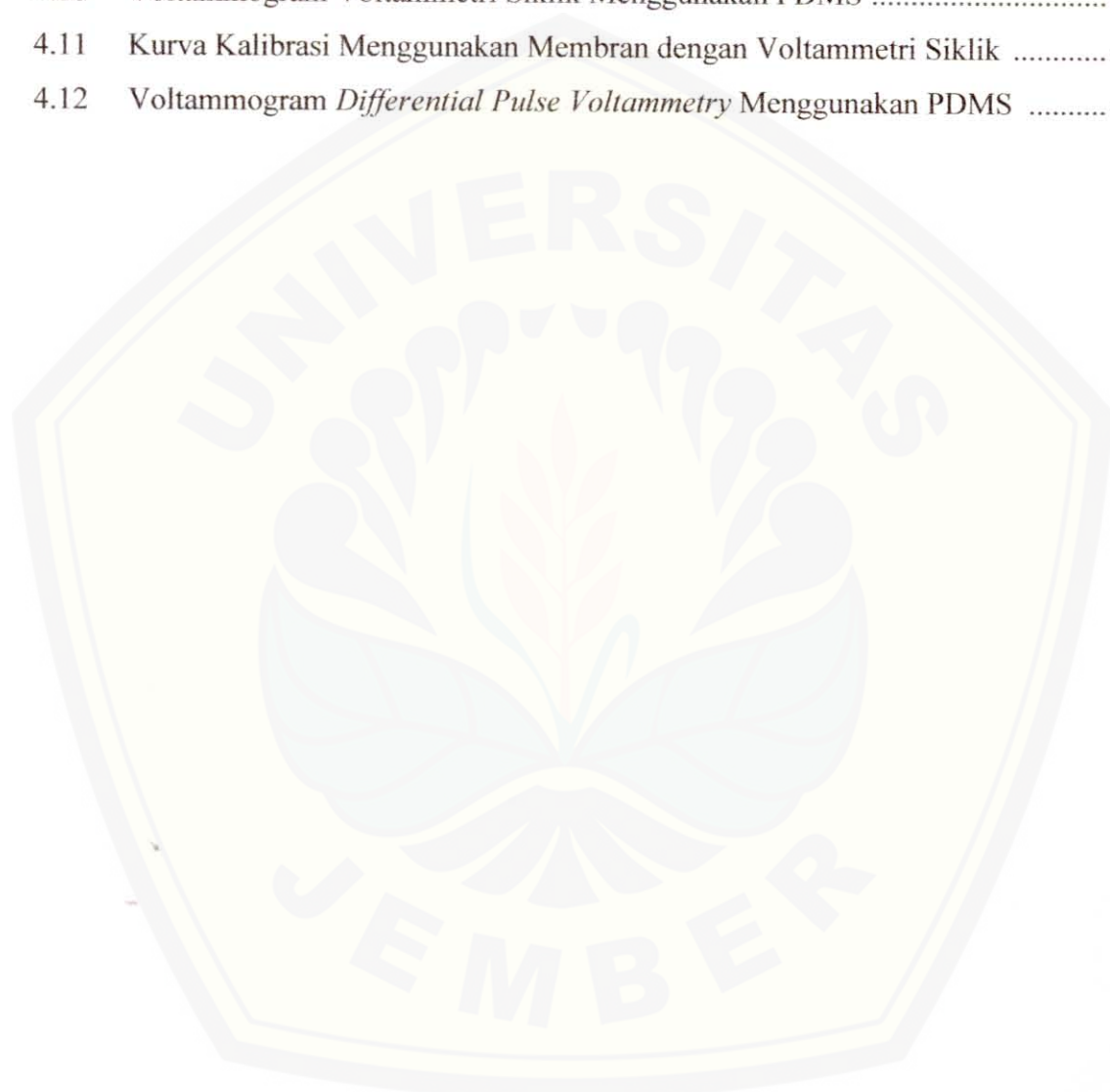
	Halaman
4.1 Data Pengukuran N_2O pada Berbagai Konsentrasi TBAP	39
4.2 Data Pengukuran N_2O pada Berbagai <i>Scan Rate</i>	42



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Rangkaian Sel Elektrokimia	7
2.2 Rentang Potensial Elektroda	9
2.3 Macam-Macam Bentuk Elektroda	12
2.4 Gambar Rangkaian Potensiostat	14
2.5 Variasi Eksitasi Potensial pada Teknik Voltametri	18
2.6 Voltametri Siklik (a) Potensial sebagai Fungsi Waktu (b) Arus sebagai Fungsi Potensial	19
2.7 Voltammogram <i>Differential Pulse Voltammetry</i> (a) Potensial sebagai Fungsi Waktu (b) Arus sebagai Fungsi Potensial	21
2.8 Struktur <i>Polydimethylsiloxane</i>	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Skema Preparasi Sel Elektrokimia	26
3.3 Skema Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum	26
3.4 Skema Penentuan <i>Scan Rate</i> Optimum	27
3.5 Skema Pembuatan Sensor Gas N ₂ O	27
3.6 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektroda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (<i>Unshielded Electrode</i>)	28
3.7 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektroda Kerja Pt Menggunakan Membran (<i>Membrane Covered</i>)	29
3.8 Skema Sensor Gas N ₂ O	31
3.9 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektroda Pt	32
4.1 Voltammogram Reduksi N ₂ O dengan Variasi Konsentrasi TBAP	38
4.2 Voltammogram Reduksi N ₂ O Setiap Konsentrasi TBAP	39
4.3 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Arus Reduksi N ₂ O	40
4.4 Voltammogram Reduksi N ₂ O dengan Variasi <i>Scan Rate</i>	41
4.5 Voltammogram Reduksi N ₂ O Setiap <i>Scan Rate</i>	41
4.6 Pengaruh <i>Scan Rate</i> terhadap Arus Reduksi N ₂ O	42

4.7	Voltammogram Voltammetri Siklik tanpa Membran	43
4.8	Kurva Kalibrasi tanpa Membran Menggunakan Voltammetri Siklik	44
4.9	Voltammogram <i>Differential Pulse Voltammetry</i> tanpa Membran	45
4.10	Voltammogram Voltammetri Siklik Menggunakan PDMS	46
4.11	Kurva Kalibrasi Menggunakan Membran dengan Voltammetri Siklik	47
4.12	Voltammogram <i>Differential Pulse Voltammetry</i> Menggunakan PDMS	47





BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nitrous oksida atau dinitrogen oksida (N_2O), dikenal sebagai gas gelak dan merupakan oksida nitrogen yang berlimpah di atmosfer. Gas ini digunakan secara luas sebagai gas anastesi dan analgesik dalam bidang pengobatan dan juga sebagai zat aditif bahan bakar dalam bidang otomotif. Gas ini berpotensi untuk merusak lapisan ozon dan mengakibatkan pemanasan global sehingga usaha pemantauan dan pengendalian terhadap konsentrasi dan laju emisinya menjadi sangat penting. Metode analisis N_2O yang sering digunakan saat ini adalah spektrometri inframerah dan kromatografi gas. Tetapi metode ini membutuhkan tenaga yang terampil dan biaya operasional yang mahal.

Beberapa peneliti telah mencoba mendesain sensor gas berbasis elektrokimia. Pendeteksian gas N_2O bersamaan dengan gas O_2 dan halotan dengan metode elektrokimia ditemukan oleh Albery dan Hahn (1983) menggunakan logam emas, platina, dan perak sebagai elektroda kerja yang diterapkan dalam bidang kesehatan. Selanjutnya McPeak dan Hahn (1997), menggunakan elektroda emas, larutan elektrolit tetraetilammonium perklorat/ dimetilsulphoksida (TEAP/DMSO) dan membran PTFE untuk pendeteksian gas N_2O . Andersen, *et al.* (2001), telah melakukan penelitian gas N_2O dengan sensor elektrokimia menggunakan membran silikon dan larutan askorbat sebagai larutan elektrolitnya. Teknik polarisasi yang pada umumnya digunakan adalah dengan voltametri siklik.

Berdasarkan uraian di atas, jelas bahwa gas nitrous oksida dapat diukur dengan menggunakan metode elektrokimia, meskipun limit deteksinya masih bermasalah dalam pengukuran gas nitrous oksida pada konsentrasi rendah. Sehingga usaha untuk memonitoring gas N_2O di lingkungan memungkinkan untuk dapat dilakukan dengan menggunakan metode sensor elektrokimia dengan syarat limit deteksinya dapat

diturunkan. Metode ini diperkirakan lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode yang lain diantaranya pengoperasian dan pemeliharaan yang mudah, biaya produksi yang murah, perangkat instrumen yang sederhana dan memungkinkan untuk dapat diterapkan secara langsung di lapangan.

Dalam penelitian ini, akan diteliti penggunaan salah satu material elektroda yaitu Pt dengan menitik beratkan pada aspek 1) teknik polarisasi 2) variasi *scan rate* dan konsentrasi elektrolitnya 3) karakteristik sensor gas menggunakan membran dan tanpa membran. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji lebih dalam karakteristik sensor elektrokimia sebagai langkah awal untuk optimalisasi fungsi sensor untuk aplikasi di lapangan. Teknik polarisasi yang digunakan yaitu *differential pulse voltammetry* dan dibandingkan dengan metode standar voltametri siklik yang sering dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) bagaimana pengaruh variasi konsentrasi elektrolit dan *scan rate* pada pengukuran gas N_2O secara elektrokimia?,
- 2) bagaimana karakteristik sensor gas menggunakan teknik polarisasi voltametri siklik dan *differential pulse voltammetry*?,
- 3) bagaimana karakteristik sensor gas N_2O menggunakan membran dan tanpa membran?.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) elektroda yang digunakan adalah mikroelektroda Pt,
- 2) elektroanalisis dilakukan tanpa mengatur temperatur reaksi (dilakukan pada temperatur kamar) dan pH sistem tidak dikontrol,
- 3) elektroanalisis menggunakan potensiostat Amel model 433 - A,

- 4) membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran PDMS (*polydimethylsiloxane*) dengan ketebalan tertentu.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) mengetahui pengaruh variasi *scan rate* dan konsentrasi elektrolit pada pengukuran gas N_2O secara elektrokimia,
- 2) mengetahui karakteristik sensor gas N_2O menggunakan teknik polarisasi voltametri siklik dan *differential pulse voltammetry*,
- 3) mengetahui karakteristik sensor gas N_2O menggunakan membran dan tanpa membran.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

- 1) pengembangan sensor gas secara elektrokimia, khususnya gas N_2O ,
- 2) usaha alternatif memonitoring lingkungan,
- 3) peningkatan kapasitas Laboratorium Kimia Analitik dalam rekayasa sensor.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

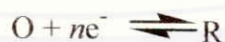
2.1 Elektrokimia

Salah seorang yang mengembangkan elektrokimia adalah Michael Faraday (1791-1867), yang meletakkan dasar-dasar metode elektrokimia. Satu diantara serangkaian temuannya sepanjang tahun 1833-1834 yang dipublikasikan adalah hukum Faraday tentang elektrolisis. Hukum ini mengatur hubungan antara jumlah listrik yang melalui larutan dan jumlah logam yang dibebaskan pada permukaan elektroda. Kesimpulan Faraday dalam temuannya ini dinyatakan dalam bentuk 2 hukum :

- Jumlah penguraian kimia yang dihasilkan oleh arus listrik berbanding lurus dengan jumlah listrik yang melalui larutan elektrolit.
- Jumlah zat yang berbeda yang dihasilkan oleh jumlah listrik yang sama, berbanding lurus dengan berat ekivalen zat tersebut (Suharman dan Mulja, 1995).

Jika arus secara langsung dialirkan pada larutan, suatu reaksi oksidasi terjadi pada anoda dengan transfer elektron dari spesi tereduksi ke elektroda, sedangkan reduksi terjadi pada katoda dengan transfer elektron dari elektroda ke spesi teroksidasi (Khopkar, 1990).

Reaksi reduksi/ oksidasi (redoks) dapat dituliskan dalam bentuk $\frac{1}{2}$ reaksinya, seperti penulisan di bawah ini:



Dimana O adalah spesi yang dioksidasi dan R adalah spesi yang tereduksi. Sistem yang dikontrol secara termodinamik, potensial elektroda dapat diukur dengan menentukan konsentrasi spesi elektroaktif pada permukaan elektroda berdasarkan persamaan Nerst:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[R]}{[O]} \dots\dots\dots 1$$

Dimana E° adalah potensial standar dari reaksi redoks, R konstanta gas (8,314 J/K mol), T temperatur (K), n bilangan yang menyatakan transfer elektron dalam reaksi, F konstanta Faraday (96.487 coulombs) (Wang, 1994).

Sel elektrokimia dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a) Sel Galvani

Sel galvanic adalah sel elektrokimia yang dapat menghasilkan listrik karena terjadinya reaksi kimia yang spontan.

b) Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang menggunakan listrik sebagai sumber energi untuk terjadinya reaksi kimia.

Sel elektrokimia dapat bersifat reversibel dan irreversibel. Reversibel jika arah dari reaksi elektrokimia dapat berbalik ketika arah dari aliran elektron diubah. Irreversibel jika pengubahan arah arus menyebabkan perbedaan $\frac{1}{2}$ reaksi yang terjadi pada salah satu atau kedua elektroda (Skoog, *et al.*, 1992).

Metode elektrokimia dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok, salah satunya didasarkan pada hubungan arus, potensial dan komposisi larutan. Kuantitas yang diukur adalah potensial terhadap konsentrasi yang diteliti. Termasuk di dalamnya adalah:

a) Metode Penunjukkan Sistem Stasioner

Metode ini menggunakan sejumlah kecil arus listrik, bahkan hampir nol. Arus listrik, potensial dan konsentrasi merupakan variabel yang diukur sehingga $f(I, E, C) = 0$,

Dimana I = arus listrik, E = potensial, C = konsentrasi (Suharman dan Mulja, 1995).

Arus Faraday nol pada metode ini digunakan untuk mengukur aktivitas ion atau konsentrasi. Metode ini dikenal sebagai metode potensiometri. Metode ini merupakan aplikasi langsung dari persamaan Nerst dengan cara pengukuran potensial dua elektroda tidak terpolarisasi pada kondisi arus nol (Khopkar, 1990).

b) Metode Penunjuk Sistem Transisional

1) Kuantitas yang diukur hubungan potensial terhadap waktu pada arus tetap.

Metode khronopotensiometri yang diukur penambahan potensial elektroda kerja sebagai fungsi waktu sepanjang elektrolisis.

2) Kuantitas yang diukur adalah berat endapan yang terbentuk.

Metode ini disebut metode elektrogravimetri, yang didasarkan pada oksidasi elektrolisis atau reduksi oksidasi suatu analit dalam periode tertentu untuk mengubah secara kuantitatif pada keadaan yang teroksidasi. Produk elektrolisis pada metode ini ditimbang sebagai deposit pada elektroda.

3) Kuantitas yang diukur adalah konduktan atau resisten.

Pengukuran dilakukan dengan titrasi konduktometri dengan mencatat harga rata-rata titik akhir titrasi. Setelah mencatat perubahan volume yang digunakan, data konduktan diplot sebagai fungsi volume titran.

4) Kuantitas yang diukur adalah kuat arus-potensial.

Metode yang digunakan adalah polarografi dan voltametri. Data yang diukur dari polarografi adalah kurva arus dan potensial dengan menggunakan elektroda kerja Hg tetes. Voltametri kemudian direkam data elektrolisis sebagai fungsi potensial elektroda kerja.

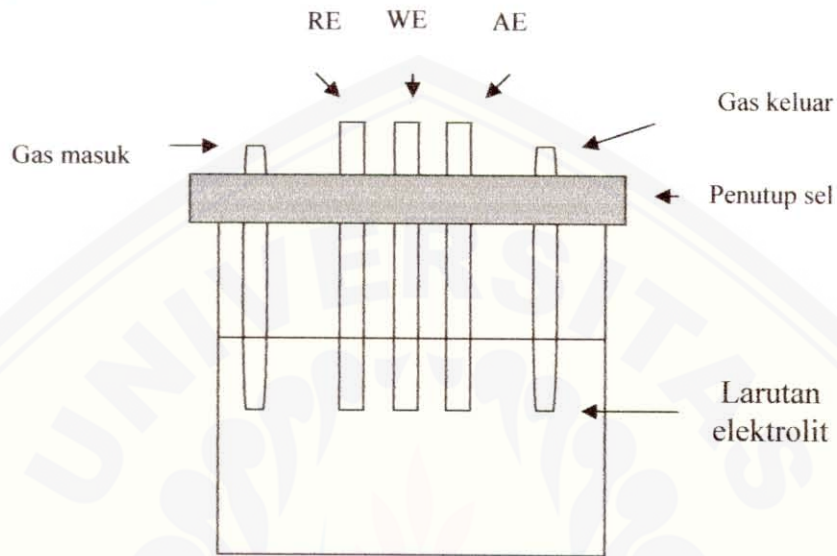
5) Kuantitas yang diukur adalah arus dengan konsentrasi zat uji.

Metode yang digunakan adalah titrasi amperometri. Metode ini hampir sama dengan voltametri hanya saja pada voltametri, potensial yang digunakan *discan*, pada amperometri potensialnya sudah pasti (tertentu) (Suharman dan Mulja, 1995).

2.2 Komponen-Komponen Sel Elektrokimia

Sebuah sel elektrokimia terdiri dari dua atau tiga konduktor yang disebut elektroda, masing-masing elektroda dicelupkan kedalam larutan elektrolit. Agar arus listrik mengalir dalam sistem larutan, diperlukan elektroda yang dihubungkan secara eksternal dengan kawat logam dan dua larutan elektrolit diupayakan saling berhubungan (bukan dicampurkan), biasanya digunakan istilah jembatan garam yang

berfungsi untuk memungkinkan terjadinya perpindahan ion-ion dari satu larutan ke larutan yang lain (Suharman dan Mulja, 1995). Rangkaian sel elektrokimia secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Sel Elektrokimia

2.2.1 Sel

Wadah sel elektrokimia biasanya digunakan tabung gelas dan ditutup dengan penutup yang cocok. Penutupnya terdapat lubang sebagai tempat elektroda dan lubang udara (sebagai lubang *inlet/outlet*). Reaksi yang akan diselidiki terdapat gas O_2 yang terlarut, maka terjadi reduksi oksigen, sedangkan oksigen ini dianggap sebagai pengganggu, maka larutan dideoksigenasi melalui lubang udara tersebut dengan mengalirkan gas inert seperti nitrogen, argon dan helium selama analisis (Fifield dan Haines, 1995).

Bahan wadah yang digunakan untuk pembuatan sel elektrokimia harus dapat dipakai pada range temperatur yang lebar, bentuknya stabil, tahan terhadap larutan, pelarut organik dan reagen, dan tahan lama. Syarat yang paling penting adalah terbuat dari bahan yang transparan, sehingga larutan dan elektrodanya dapat diamati (Sawyer, *et al.*, 1995). Bahan penyusun dari sel yang umum digunakan adalah gelas, teflon, quartz.

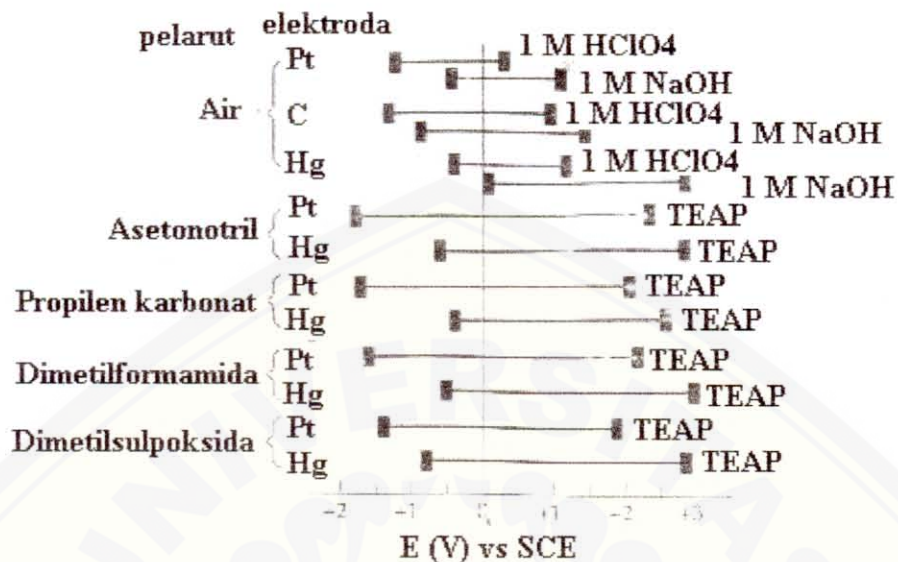
2.2.2 Larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah kombinasi dari pelarut dan elektrolit pendukung. Pemilihan larutan elektrolit bergantung pada aplikasinya. Pemilihan pelarut diatur terutama yang berhubungan dengan kelarutan dari analit dan aktivitas redoksnya dan sifat pelarutnya seperti konduktivitas listrik, aktivitas elektrokimia dan reaktivitas kimia. Pelarut harus tidak bereaksi dengan analit atau dengan produk dan harus tidak mengalami reaksi elektrokimia pada range potensial berlebih.

Air digunakan sebagai pelarut tetapi dapat juga digunakan medium lain yaitu pelarut organik seperti asetonitril, propilen karbonat, dimetil formamida (DMF), dimetil sulfoloksida (DMSO), metanol (Wang, 1994).

Semua pelarut organik murni yang disebutkan di atas pada dasarnya adalah nonkonduktor, tanpa penambahan elektrolit, hambatannya menjadi besar sehingga potensial yang dibutuhkan untuk melewati arus juga besar (Sawyer, *et al.*, 1995). Elektrolit pendukung ini dibutuhkan dalam teknik elektrokimia dan khususnya voltametri untuk mengurangi hambatan dari larutan, untuk menghilangkan efek elektromigrasi dan untuk mempertahankan agar kekuatan ion konstan (Wang, 1994). Fungsi utama dari elektrolit pendukung adalah sebagai medium penghantar. Kombinasi antara pelarut dan elektrolit pendukung harus dipilih untuk memberikan nilai hambatan sekecil mungkin (Sawyer, *et al.*, 1995).

Larutan elektrolit dalam larutan berair biasanya digunakan KCl dan HCl. Komponen dalam sistem buffer dapat juga bertindak sebagai elektrolit pendukung. Pelarut organik dipilih untuk elektrolit yang berasal dari garam tetraalkilammonium, R_4N^+ dengan anionnya seperti ClO_4^- , BF_4^- , PF_6^- dan BPh_4^- karena garam-garam ini tidak mudah dioksidasi maupun direduksi pada elektroda (Rieger, 1994). Berikut merupakan rentang potensial dari elektroda dengan variasi pelarut dan elektrolit pendukungnya,



Gambar 2.2 Rentang Potensial Elektroda

2.2.3 Elektroda

Elektroda yang umum digunakan dalam sel elektrokimia terdiri dari tiga elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektroda kounter/elektroda pelengkap.

a Elektroda Pembanding (*Reference Electrode*)

Proses analisis elektrokimia diperlukan suatu elektroda dengan harga potensial setengah sel yang diketahui konstan dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang akan diselidiki. Suatu elektroda yang memenuhi persyaratan diatas disebut elektroda pembanding (*reference electrode*). Pasangan elektroda pembanding adalah elektroda indikator (*working electrode*) yang potensialnya bergantung pada konsentrasi zat yang akan diselidiki (Hendayana, dkk., 1994).

Sifat-sifat elektroda pembanding yang penting adalah:

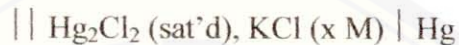
- elektroda pembanding harus reversibel dan sesuai dengan persamaan Nerst.
- tegangannya harus konstan setiap waktu.

- potensialnya harus kembali ke nilai dasarnya setelah arus kecil dilewatkan melalui elektroda (Sawyer, *et al.*, 1995).

Elektroda pembanding yang sering digunakan adalah elektroda kalomel dan elektroda Ag/AgCl.

1) Elektroda Kalomel (*Saturated Calomel Electrode*, SCE)

Setengah sel elektroda kalomel dapat dituliskan sebagai:



dengan x menunjukkan konsentrasi KCl di dalam larutan. Reaksi elektroda dapat dituliskan sebagai:

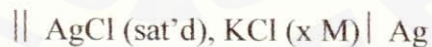


$$E_{kal} = E^\circ_{kal} - \frac{RT}{nF} \ln[\text{Cl}^-] \dots\dots\dots 2$$

Elektroda kalomel jenuh biasanya banyak digunakan oleh pakar kimia analitik karena banyak tersedia di pasaran dan konsentrasi klorida tidak mempengaruhi harga potensial elektroda. Harga potensial SCE adalah 0,244 V pada 25°C dibandingkan terhadap elektroda hidrogen standar, SHE (*Standart Hydrogen Electrode*).

2) Elektroda Perak/Perak Klorida

Elektroda pembanding yang mirip dengan elektroda kalomel adalah suatu elektroda perak yang dicelupkan ke dalam larutan KCl yang dijenuhkan dengan AgCl. Setengah sel elektroda perak dapat ditulis:



Reaksi setengah selnya adalah



$$E_{AgCl} = E^\circ_{AgCl} - \frac{RT}{nF} \ln[\text{Cl}^-] \dots\dots\dots 3$$

Biasanya elektroda ini terbuat dari suatu larutan jenuh atau 3,5 M KCl yang harga potensialnya adalah 0,199 V (jenuh) dan 0,205 V (3,5 M) pada 25°C. Elektroda ini dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi sedangkan elektroda kalomel tidak (Hendayana, dkk., 1994).

b Elektroda Pelengkap (*Auxiliary/Counter Electrode*)

Elektroda ini berfungsi untuk melengkapi sirkuit arus, yang memungkinkan muatan mengalir melalui sel. Arus yang mengalir ke dalam larutan melalui elektroda kerja meninggalkan larutan melewati elektroda pelengkap. Elektroda tunggal juga sering digunakan dengan fungsi ganda yaitu sebagai elektroda kerja dan elektroda pelengkap ketika arus yang mengalir ke dalam sel itu kecil.

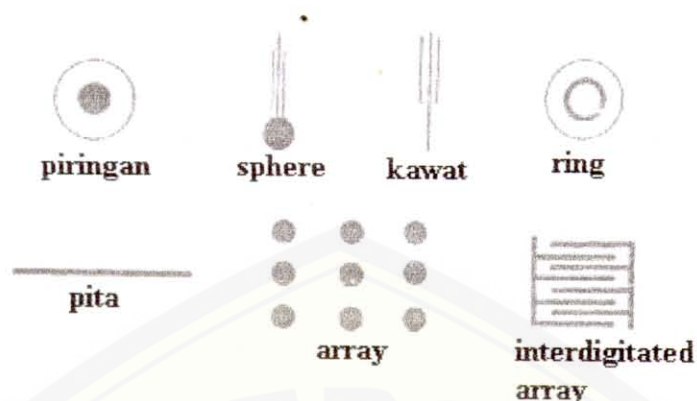
c Elektroda Kerja (*Working/Indicator Electrode*)

Elektroda kerja adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi analit dan juga tempat terjadinya transfer muatan. Karakteristik yang ideal dari elektroda kerja ini adalah range potensial yang lebar, hambatannya kecil dan permukaan yang reproduksibel. Jendela potensial dari masing-masing elektroda tergantung pada bahan elektroda dan komposisi dari elektrolit. Rentang potensial dapat disesuaikan dengan elektroda dan larutan elektrolit yang digunakan, nampak seperti pada gambar 2.2 (Fifield dan Haines, 1995).

Elektroda logam padat seperti platina (Pt), emas (Au) dan perak (Ag) digunakan sebagai elektroda kerja dalam pendeteksian gas nitrous oksida. Elektroda platinum mempunyai rentang potensial antara +2,0 V sampai -1,5 V vs SCE dalam tetrabutylammonium perklorat/dimetilsulfoksida (Fifield dan Haines, 1995).

2.3 Mikroelektroda

Elektroda ini dibuat dari bahan yang sama seperti makroelektroda yang lain tetapi diameternya tidak lebih dari 50 μm . Elektroda ini berukuran lebih kecil dari lapisan difusi, oleh sebab itu, transportasi massa dari analit ke permukaan elektroda dipertinggi, perbandingan *signal to noise* ditambah dan mungkin pengukuran dibuat dalam media dengan hambatan yang besar (Fifield dan Haines, 1995). Macam-macam bentuk dari mikroelektroda adalah seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3 Macam-Macam Bentuk Elektroda

2.4 Potensiostat

Teknik elektrokimia untuk keperluan analisis kuantitatif instrumental membutuhkan pengetahuan dan alat-alat tambahan untuk mengolah data. Hal ini berkenaan dengan kenyataan bahwa pembangkit sinyal analitik yang dihasilkan dalam komponen instrumen memerlukan pengolahan agar dapat memberikan data yang mudah dibaca dan diolah untuk bahan informasi (Suharman dan Mulja, 1995).

Potensiostat merupakan perangkat elektronik yang mengontrol perbedaan potensial antara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Kedua elektroda berada dalam sel elektrokimia. Kebanyakan potensiostat digunakan untuk mengukur arus yang mengalir antara elektroda kerja dan elektroda kounter. Variabel yang dikontrol dalam potensiostat adalah potensial sel dan variabel yang diukur adalah arus sel.

Komponen-komponen yang terdapat pada potensiostat antara lain:

a) Pembangkit Sinyal

Pembangkit sinyal ini menghasilkan perbedaan potensial antara elektroda pembanding dan elektroda kerja. Perbedaan potensial dibentuk dari potensial tunggal atau potensial yang dikontrol oleh komputer., *Output* digital ke analog (D/A) itu mengubah bilangan yang dihasilkan komputer ke dalam potensial pada potensiostat modern. Pemilihan yang tepat dari urutan bilangan memungkinkan komputer menghasilkan potensial yang konstan, potensial yang linier dan gelombang sinus-

datar (*sinusoidal*). Dengan penggunaan teknik ini bilangan dari eksitasi potensial menghasilkan variasi yang berbeda dari voltametri.

b) Elektrometer

Sirkuit elektrometer mengukur perbedaan potensial antara elektroda pembanding dan elektroda kerja. *Outputnya* mempunyai dua fungsi utama yaitu sinyal *feedback* dalam sirkuit potensiostat dan sinyal ini yang diukur sewaktu-waktu saat potensial sel dibutuhkan. Elektrometer yang ideal mempunyai arus *input* nol dan impedansi *input* yang tidak terbatas.

c) Pengubah Arus ke Potensial (*The I/E Converter*)

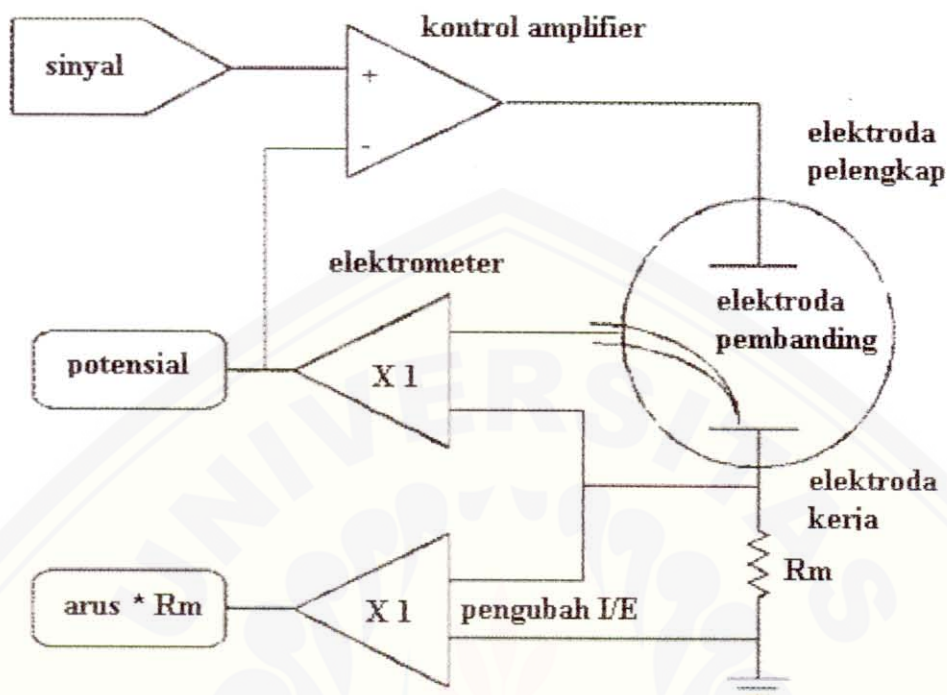
Pengubah arus ke potensial adalah sirkuit pengikut arus untuk mengukur arus sel dan menampilkan sebagai potensial. Potensial *output*, E_{out} , diperoleh dari arus sel X resistor *feedback*.

d) Amplifier Daya (*The Power Amplifier*)

Amplifier daya atau pengontrol amplifier dari potensiostat mengatur potensial dari elektroda pelengkap ke elektroda kerja sehingga dicapai perbedaan yang tepat pada potensial elektroda pembanding ke elektroda kerja. Pengontrol amplifier membandingkan potensial sel yang diukur dengan potensial yang diharapkan dan mengendalikan arus yang masuk ke dalam sel untuk memaksa potensialnya menjadi sama. Potensial yang diukur adalah *input* yang masuk ke dalam *input* negatif dari pengontrol amplifier.

e) Perekam (*The recorder*)

Perangkat sederhana untuk menampilkan dan merekam *output* dari potensiostat dalam bentuk perekam gambar atau voltmeter digital.



Gambar 2.4 Gambar Rangkaian Potensiostat

2.5 Sensor Elektrokimia

Perangkat elektrokimia dasar terdiri dari sel dengan dua atau tiga elektroda yang dicelupkan dalam atau kontak dengan elektrolit ketika gas dialirkan menyebabkan reaksi pada salah satu *interface* elektroda-elektrolit atau dalam elektrolit, arus atau potensial yang mungkin dihasilkan berhubungan dengan konsentrasi gas tersebut. Reaksi yang terjadi pada elektroda kerja harus diimbangi dengan reaksi yang bersesuaian pada elektroda pelengkap. Elektroda pembanding digunakan untuk menambah stabilitas dan meminimalkan efek polarisasi. Sensor mungkin dibuat selektif terhadap gas tertentu dengan menggunakan membran yang cocok (Fifield dan Haines, 1995).

Gas analit akan berdifusi melalui membran dan membentuk kesetimbangan dengan larutan elektrolit. Bagian ruang dalam (antara membran dan elektroda kerja) yang terdapat lapisan tipis (5-15 μ m) larutan elektrolit, gas akan mengalami reaksi kimia, pembentukan atau pelepasan ion akan dideteksi oleh elektroda kerja. Aktifitas

dari ion ini sebanding dengan jumlah dari gas yang terlarut dalam sampel, respon elektroda berhubungan secara langsung dengan konsentrasi gas dalam sampel (Wang, 1994). Pendeteksian gas nitrous oksida dalam penelitian ini digunakan membran *polydimethylsiloxane* (PDMS) sebagai membran yang permeabel terhadap nitrous oksida. Contoh desain sensor gas pada penelitian ini adalah sensor Clark untuk pendeteksian gas oksigen (O_2).

2.6 Voltammetri

Voltammetri adalah salah teknik dalam analisis elektrokimia yang didasarkan pada kurva arus tegangan yang diperoleh secara elektrolisis. Peristiwa redoks digunakan di dalam metode ini, terutama reduksi ion-ion logam dan senyawa organik sehingga dapat ditentukan jenis maupun konsentrasinya dengan metode ini (Hendayana, dkk., 1994). Voltammetri dikembangkan berdasarkan prinsip polarografi yang dikenal menggunakan tetesan air raksa (*Dropping Mercury Electrode*, DME) sebagai elektroda kerja, sedangkan untuk voltammetri digunakan mikroelektroda sebagai elektroda kerja. Elektroda yang terpolarisasi disebut elektroda kerja (*Working Electrode*, WE), elektroda pasangannya yang tidak terpolarisasi adalah elektroda pembanding (*Reference Electrode*, RE) yang berupa kalomel (*Saturated Calomel Electrode*, SCE) atau Ag/ AgCl. Elektroda tambahan (*Counter/ Auxilary Electrode*, CE) juga diperlukan selain dua elektroda kerja dan elektroda pembanding yang ikut mendukung proses-proses pertukaran elektron atau aliran arus dalam sel terutama untuk sistem yang menghasilkan arus yang cukup besar.

Teknik voltammetri diklasifikasikan sebagai teknik elektrokimia dinamik (tidak pada arus nol) dan pengukuran arus sebagai fungsi dari potensial. Analisis voltammetri dilakukan dengan mempolarisasi elektroda dalam sel elektrokimia pada serangkaian rentang potensial tertentu dan mengamati perubahan arus yang dihasilkan oleh sel akibat adanya proses oksidasi/ reduksi analit.

Oksidasi atau reduksi pada permukaan elektroda pada dasarnya tranfer elektron atau tansfer muatan. Teknik voltammetri yang diukur transfer muatan. Arus diukur

dalam ampere atau coulombs/detik, kecepatan alir muatan. Reaksi elektrokimia pada permukaan elektroda dikendalikan dengan pengaplikasian potensial pada elektroda. Potensial yang diaplikasikan disebut sinyal eksitasi dan arus yang diukur disebut sinyal hasil (Fifield dan Haines, 1995).

Respon dari sel elektrokimia sebagai lairan arus direkam dan biasanya ditampilkan sebagai kurva arus-potensial atau voltamogram. Sumbu horizontal sebagai potensial dalam volt sedangkan sumbu vertikal sebagai arus dalam μA . Arus konstan yang diperoleh setelah peningkatan arus secara tajam disebut arus batas (*limiting current*) sedangkan arus konstan yang diperoleh sebelum peningkatan arus secara tajam disebut arus residu (*residual current*). Arus batas (i_l) dihasilkan pada pengukuran analit, sedangkan arus residu dihasilkan pada pengukuran larutan blanko sebelum analit ditambahkan. Perbedaan antara arus batas dengan arus residu disebut arus difusi, i_d . Harga potensial ketika arus meningkat disebut potensial penguraian (*decomposition potential*) (Hendayana, dkk., 1994).

Harga potensial pada setengah arus difusi ($i_d/2$) disebut potensial setengah gelombang, $E_{1/2}$. Harga $E_{1/2}$ bergantung pada jenis zat yang direduksi, karena itu berguna untuk analisis kualitatif. Harga i_d bergantung pada konsentrasi zat yang direduksi karena itu harga berguna dalam analisis kuantitatif. Jadi metode ini dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif (Hendayana, dkk., 1994).

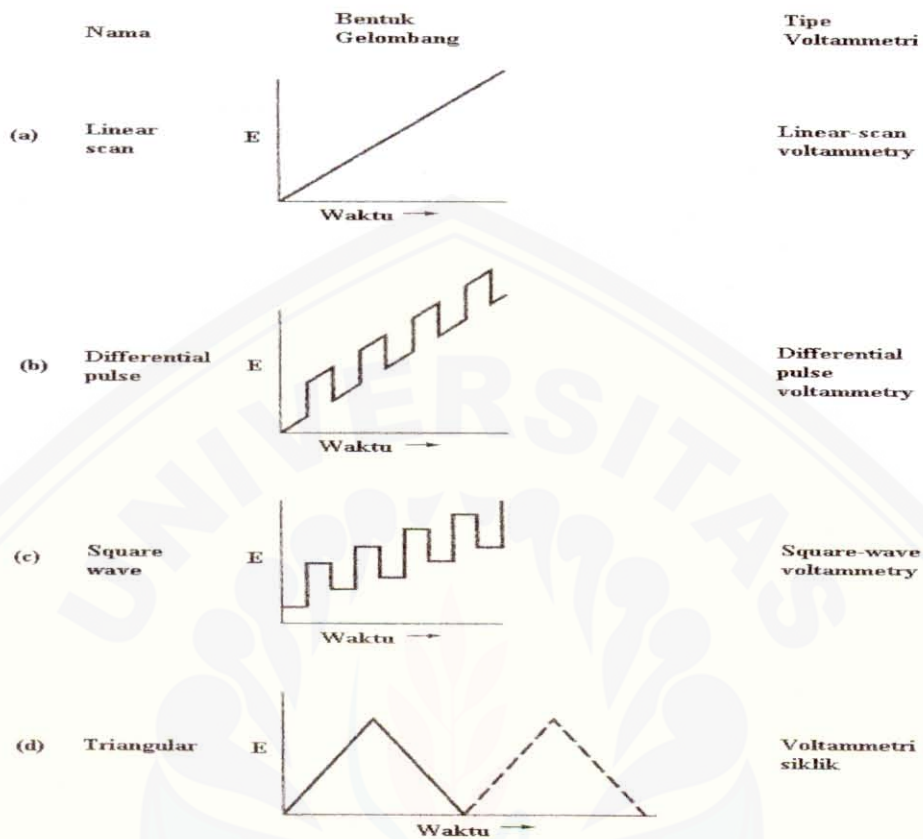
Selama elektrolisis, reaktan akan di bawa ke permukaan elektroda atau terjadinya transport massa dengan tiga mekanisme:

- a. Migrasi : perpindahan partikel bermuatan karena pengaruh medan listrik.
- b. Difusi : pergerakan spontan karena pengaruh gradien konsentrasi yaitu perbedaan konsentrasi antara lapisan cair pada permukaan elektroda dengan larutan kasar.
- c. Konveksi : pergerakan secara fisik karena pengaruh pengadukan atau pengaliran larutan, rotasi atau vibrasi elektroda (Wang, 1994).

Ketiga mekanisme di atas menyebabkan arus. Sehingga dalam voltammetri, pengaruh migrasi dan konveksi harus dihindarkan agar arus yang dihasilkan benar-benar arus difusi.

Pengaruh difusi dapat dihindarkan dengan penambahan suatu zat yang tidak aktif (*supporting electrolyte*) dalam sel voltammetri. Jumlah *supporting electrolyte* 50-100 kali konsentrasi yang dianalisis maka zat yang akan dianalisis akan dikelilingi partikel-partikel yang bermuatan listrik yang mampu menetralkan pengaruh elektroda yang bermuatan. Sedangkan pengaruh konveksi dapat dicegah dengan menghindari getaran pada sel voltammetri (Hendayana, dkk., 1994).

Potensial yang digunakan diterapkan pada elektroda dalam teknik voltammetri ini bisa bermacam-macam, yang menghasilkan bermacam-macam sehingga menghasilkan beberapa variasi teknik voltammetri diantaranya *cyclic voltammetry* (CV), *differential pulse voltammetry* (DPV), *linear sweep voltammetry* (LSV), *square wave voltammetry* (SWV). Bentuk gelombang yang umum dari sinyal eksitasi yang digunakan dalam voltammetri ditunjukkan dalam gambar 2.6. Sinyal eksitasi voltammetri klasik adalah *linear sweep voltammetry*, dimana potensial dc yang diaplikasikan ke sel bertambah secara linier (biasanya dengan range 2-3 V) sebagai fungsi waktu. Arus yang dihasilkan dalam sel kemudian dicatat sebagai fungsi waktu dan juga sebagai fungsi potensial yang digunakan. Sinyal eksitasi dengan tipe pulsa yaitu *differential pulse voltammetry*, *square wave voltammetry*. Arus diukur pada variasi waktu selama *lifetime* dari pulsa ini. Bentuk gelombang triangular disebut sebagai *cyclic voltammetry*. Potensial disikluskan antara 2 nilai, pertama penambahan secara linier hingga maksimum dan kemudian berkurang secara linier, dengan slope urutan angka yang sama. Proses ini mungkin diulang banyak kali, dengan arus akan direkam sebagai fungsi waktu (Skoog, *et al.*, 1992).



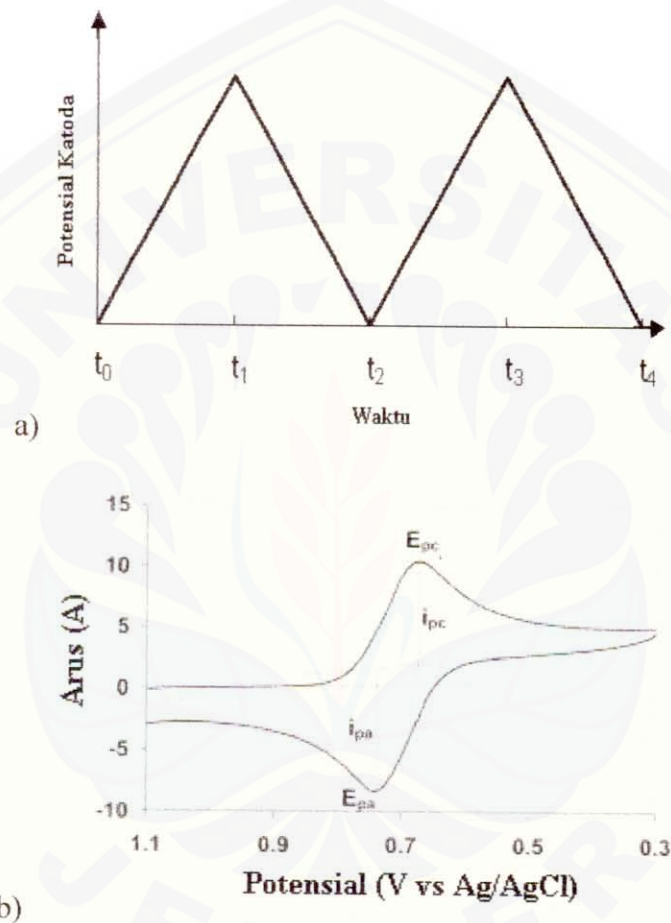
Gambar 2.5 Variasi Eksitasi Potensial pada Teknik Voltametri

2.6.1 Voltametri Siklik (CV)

Voltametri siklik menjadi penting dan digunakan secara luas dalam teknik elektroanalisis dalam bidang kimia. Penggunaannya antara lain untuk mempelajari proses reduksi oksidasi (redoks), untuk memahami intermediet reaksi dan untuk mendapatkan stabilitas dari produk reaksi (Kounaves, tanpa tahun).

Voltametri siklik ini didasarkan pada variasi potensial yang digunakan pada elektroda kerja. Potensiostat mengukur arus yang dihasilkan dari potensial yang diaplikasikan selama *scanning* potensial. Hasil yang diplotkan antara arus dengan potensial disebut voltammogram siklik (Wang, 1994). Potensial awal bergerak ke arah negatif menuju ke potensial akhir yang dicapai dan terbentuk $\frac{1}{2}$ siklus yang menyatakan sebagai O direduksi menjadi R. Arus yang dihasilkan pada proses ini

disebut arus katodik. Kemudian scan akan berbalik ke arah positif dan R akan dioksidasi kembali menjadi O. Arus yang dihasilkan disebut sebagai arus anodik (Rieger, 1994).



Gambar 2.6 Voltametri Siklik (a) Potensial sebagai Fungsi Waktu (b) Arus sebagai Fungsi Potensial

Bentuk dari gelombang ini adalah triangular yang menyatakan potensial sebagai fungsi dari waktu. Sedangkan untuk larutannya tidak perlu pengadukan, sebab itu transport massa yang dikontrol adalah difusinya (Fifiel dan Haines, 1995).

Parameter yang penting pada voltametri siklik adalah arus puncak dan potensial puncak yaitu keduanya dari puncak katoda dan puncak anoda. Reaksi

dikatakan reversibel jika proses transfer elektron lebih cepat dibandingkan proses lainnya semisal difusi, sehingga selisih antara potensial puncak dituliskan:

$$\begin{aligned}\Delta E_p &= E_{p \text{ anoda}} - E_{p \text{ katoda}} \\ &= 2,303 \frac{RT}{nF} = \frac{0,0592}{n} V \text{ pada } 25^\circ\text{C} \dots\dots\dots 4\end{aligned}$$

dengan n jumlah elektron. Jika reaksi irreversibel maka $\Delta E_p > \frac{0,0592}{n} V$

Potensial reduksi formal (E) untuk pasangan reversibel:

$$E = \frac{E_{p \text{ anoda}} + E_{p \text{ katoda}}}{2} \dots\dots\dots 5$$

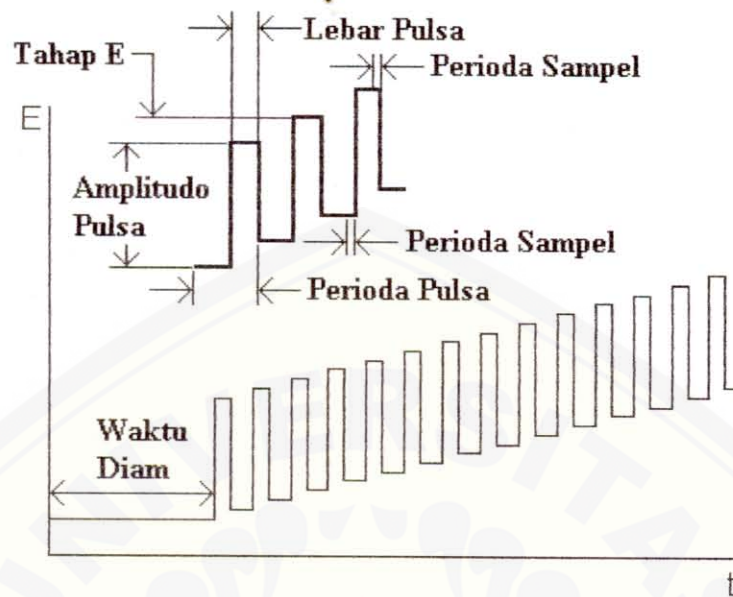
Sedangkan arus puncak dapat dihitung dengan persamaan Randles-Sevcik:

$$i_p = 2,686 \times 10^5 n^{3/2} A C D^{1/2} v^{1/2} \dots\dots\dots 6$$

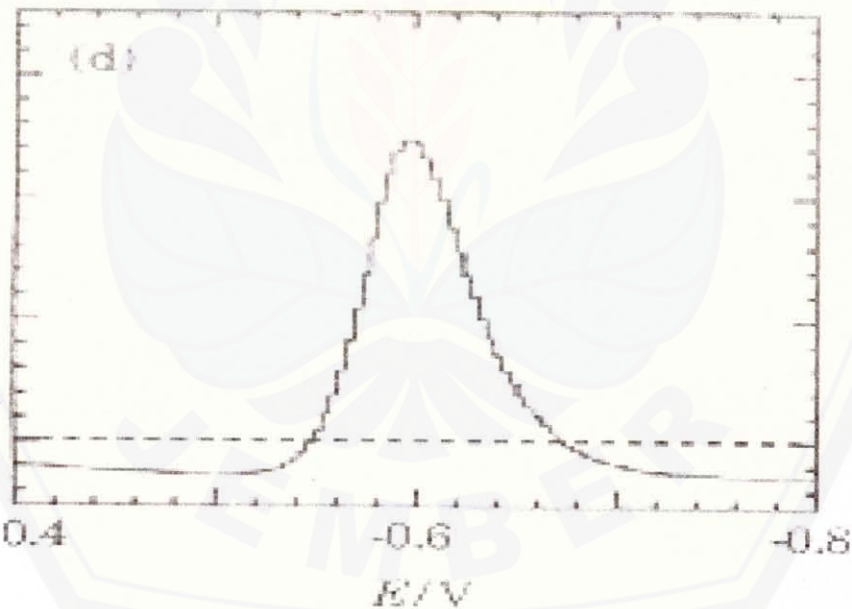
dimana i_p adalah arus puncak (A), A luas elektroda (cm^2), D koefisien difusi (cm^2/s), C konsentrasi (mol/cm^3), v kecepatan scan (v/s) (Kounaves, tanpa tahun).

2.6.2 Differential Pulse Voltammetry (DPV)

Metode ini banyak digunakan untuk pengukuran spesi organik dan anorganik dalam tingkat renik karena limit deteksi yang kecil. Sederetan pulsa yang sudah ditentukan dari pulsa amplitudo (10 – 100 mV) disuperimposkan secara perlahan pada perubahan potensial. Pengukuran arus dilakukan pada 2 titik pada masing-masing pulsa, titik pertama (1) sebelum aplikasi dari pulsa dan kedua (2) pada akhir pulsa (setelah 40 ms). Perbedaan antara pengukuran arus pada titik ini ($\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$) pada masing-masing pulsa dibedakan dan diplotkan terhadap potensial yang digunakan (Kounaves, tanpa tahun).



a)



b)

Gambar 2.7 Voltamogram *Differential Pulse Voltammetry*, (a) Potensial sebagai Fungsi Waktu (b) Arus sebagai Fungsi Potensial

Tujuan dari teknik pulsa ini adalah untuk meminimalkan jumlah arus kapasitatif dalam pengukuran arus. Pemilihan 2 titik pengukuran arus pada awal dan akhir pulsa untuk mengurangi arus nonfaraday (*capacitative charging current*)

(Sawyer, *et al.*, 1995). Hasil voltammogram *differential pulse* terdiri dari arus puncak. Tinggi puncak ini proporsional dengan konsentrasi analit. Reaksi yang reversibel maka potensial puncak diperkirakan sama dengan potensial standar $\frac{1}{2}$ reaksi (Skoog, *et al.*, 1992).

$$i_p = \frac{nFAD^{1/2}C}{\sqrt{\pi m}} \left(\frac{1-\sigma}{1+\sigma} \right) \dots\dots\dots 7$$

dimana $\sigma = \exp(nF/RT \Delta E/2)$, ΔE adalah amplitudo pulsa.

Sedangkan untuk potensial puncak digunakan untuk identifikasi spesi:

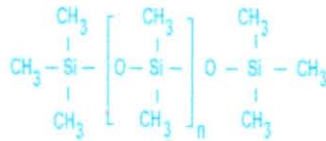
$$E_p = E_{1/2} - \Delta E/2 \dots\dots\dots 8$$

(Wang, 1994).

2.7 *Polydimethylsiloxane* (PDMS)

Polydimethylsiloxane merupakan polimer anorganik karena pada rantai utamanya tidak ada ikatan antar atom karbon. Ikatan antara silikon dengan oksigen sangat kuat, tetapi sangat fleksibel. PDMS dapat bertahan pada temperatur tinggi tanpa terjadi dekomposisi dan mempunyai temperatur transisi glas yang rendah sehingga membuatnya sebagai bahan performa tinggi dan dapat menghantar listrik. PDMS bersifat tidak mudah menguap, mempunyai tegangan permukaan yang rendah, tahan pada temperatur -60 dan 300°C .

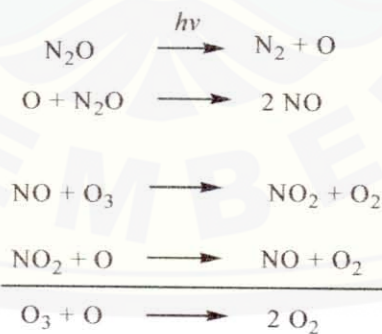
PDMS merupakan karet silikon tidak berpori yang sebagian besar bersifat lentur dan permeabel karena ikatannya yang fleksibel. Tidak seperti polimer glas digunakan untuk pemisahan glas permanen, PDMS lebih permeabel terhadap uap organik daripada gas sederhana karena kelarutan mereka, sehingga dapat juga digunakan dalam pemisahan gas dari larutan (Wu, *et al.*, 2003). Membran PDMS bersifat hidrofobik tetapi tidak hanya berikatan dengan senyawa polar saja tetapi dengan senyawa non polar juga dapat berikatan sangat kuat (Boscaini, *et al.*, 2003).

Gambar 2.8 Struktur *Polydimethylsiloxane*

2.8 Nitrous Oksida (N₂O)

Dinitrogen oksida (N₂O), lebih dikenal secara luas dengan sebutan nitrous oksida. Gas ini ditemukan oleh Joseph Priesley pada tahun 1772, gas ini tidak berwarna dengan bau sedikit manis. Tidak reaktif dibandingkan dengan nitrogen oksida yang lain pada suhu kamar. Gas N₂O pada suhu tinggi bertindak sebagai pengoksidasi.

Akhir-akhir ini telah diketahui bahwa gas nitrous oksida termasuk salah satu gas penyebab efek rumah kaca yang sifatnya lebih reaktif dari karbon dioksida, dan menyebabkan terjadinya pemanasan global. Di stratosfer, nitrous oksida diuraikan oleh sinar radiasi ultra violet menghasilkan nitrogen oksida (NO) radikal dan akan merusak lapisan ozon.



Gas ini mudah larut dalam air, alkohol, asam sulfat dan minyak. Gas ini mempunyai struktur:



Sifat fisik dari nitrous oksida antara lain:

- a. Massa molar: 44,0128 g/mol
- b. Titik leleh: $-90,81^{\circ}\text{C}$ pada 1 atm
- c. Titik didih: $-88,46^{\circ}\text{C}$ pada 1 atm
- d. Densitas gas: 1,799 g/L pada 25°C dan tekanan 1 atm
- e. Kelarutan: 56,7 mL/100 mL pada 25°C dan pada tekanan 1 atm
- f. Viskositas: 1488,9 paskal pada 20°C

(Matson, *et al.*, 2002).

Proses elektrokimia dengan teknik voltametri, nitrous oksida akan direduksi pada permukaan elektrodanya dengan reaksi berikut:



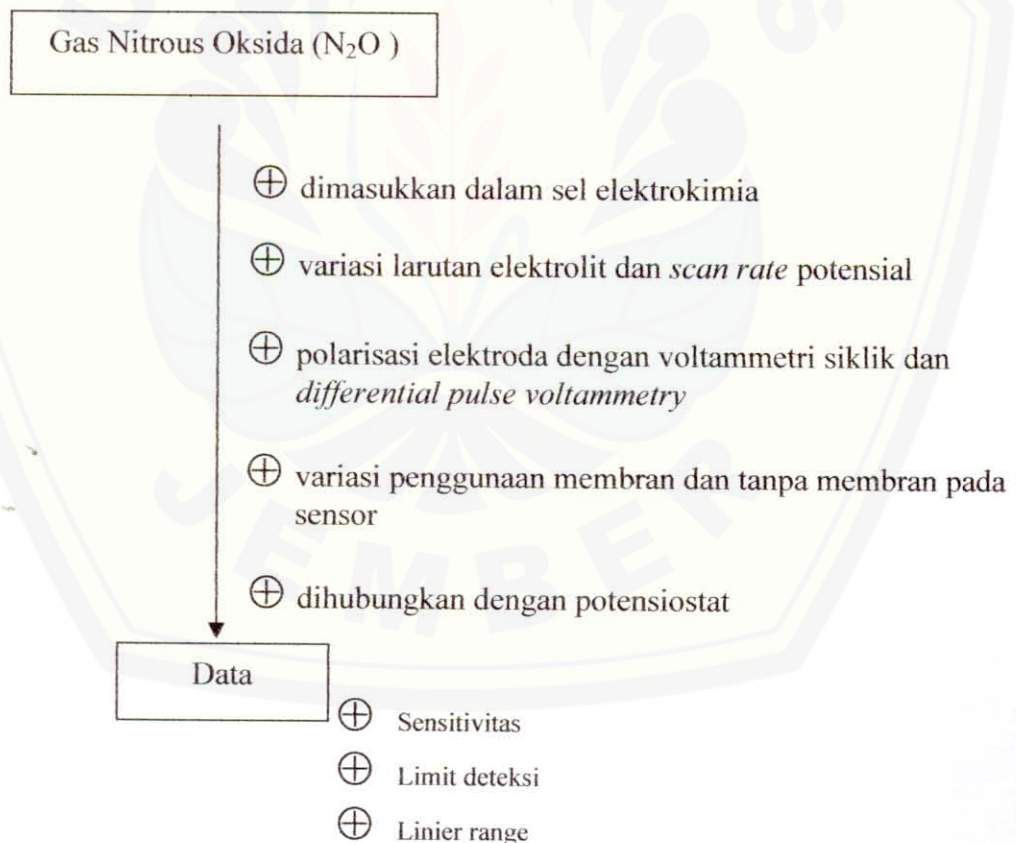


BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

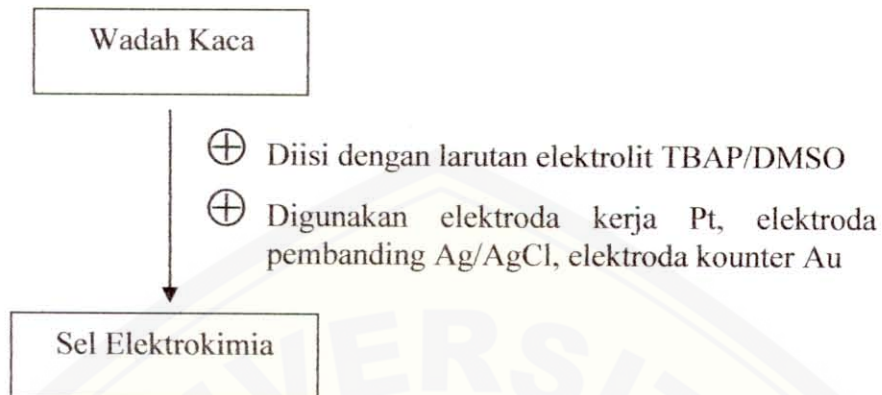
Pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, mulai bulan Februari sampai dengan Agustus 2007.

3.2 Diagram Alir Penelitian



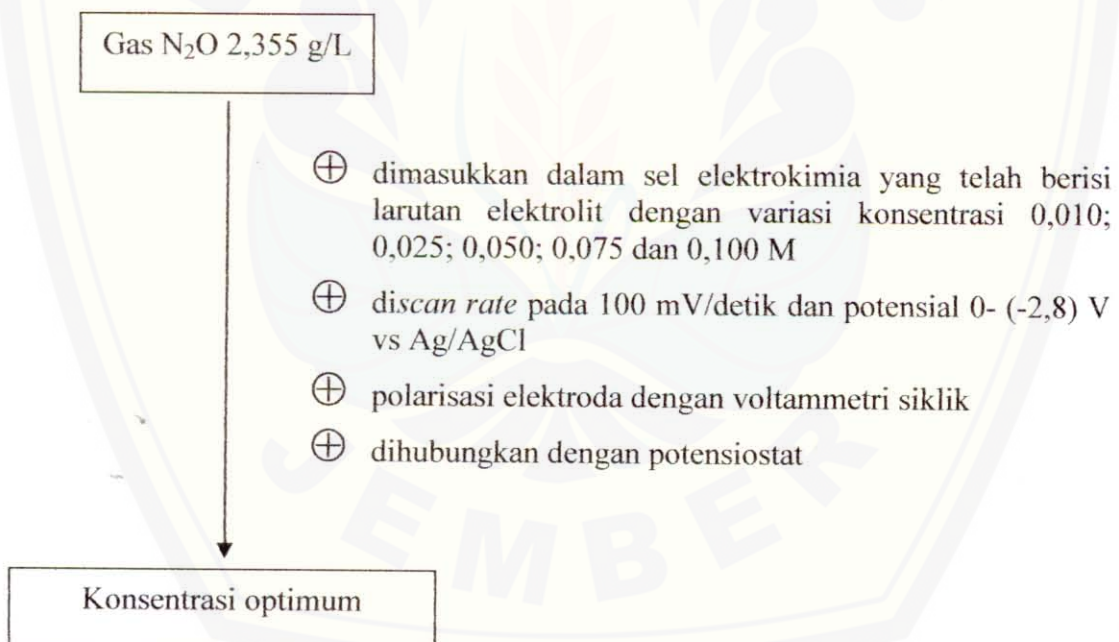
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Preparasi Sel Elektrokimia



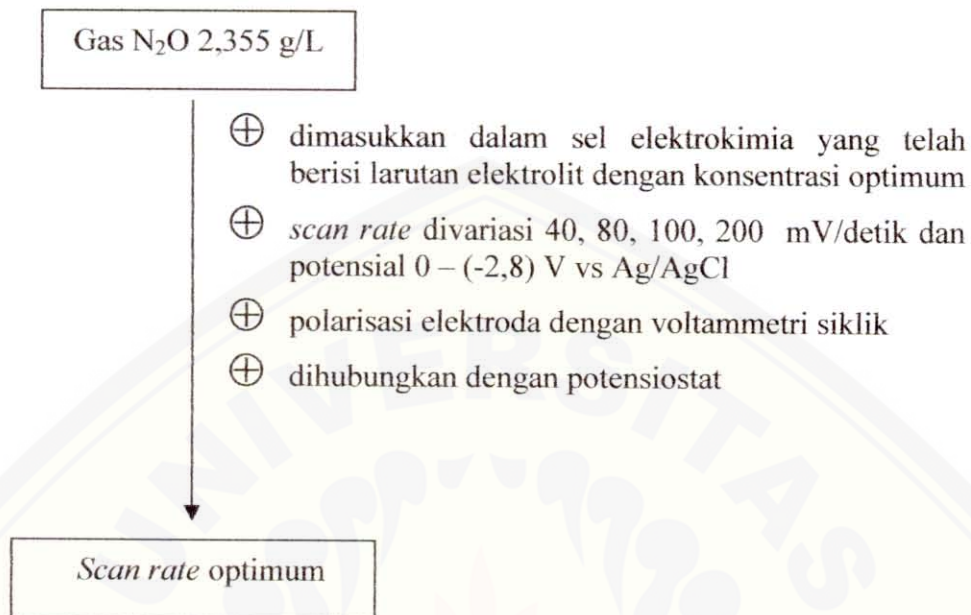
Gambar 3.2 Skema Preparasi Sel Elektrokimia

3.2.2 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum



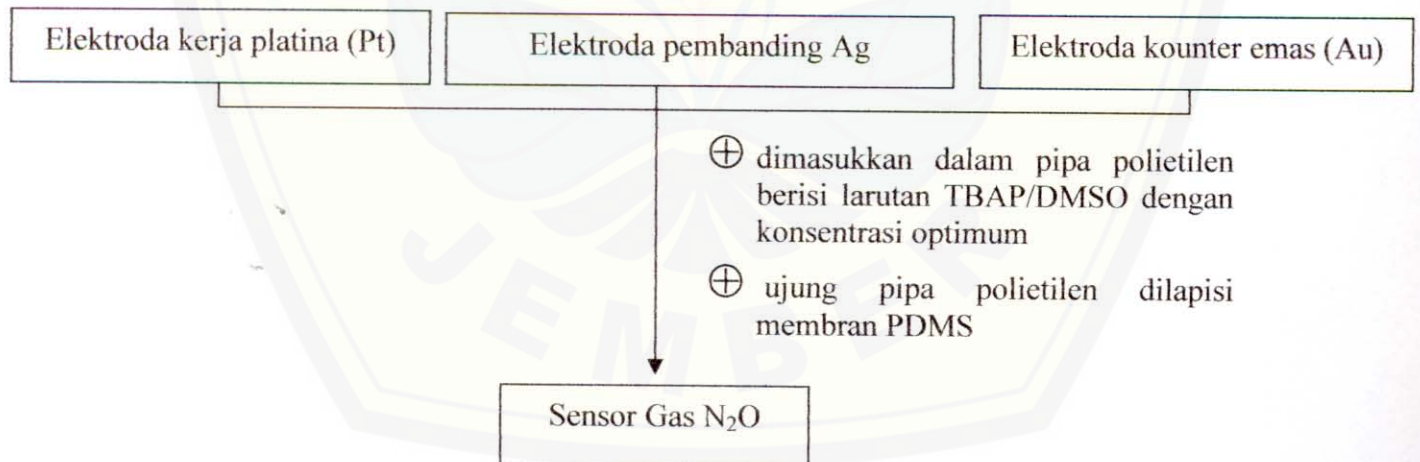
Gambar 3.3 Skema Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum

3.2.3 Penentuan *Scan Rate* Optimum



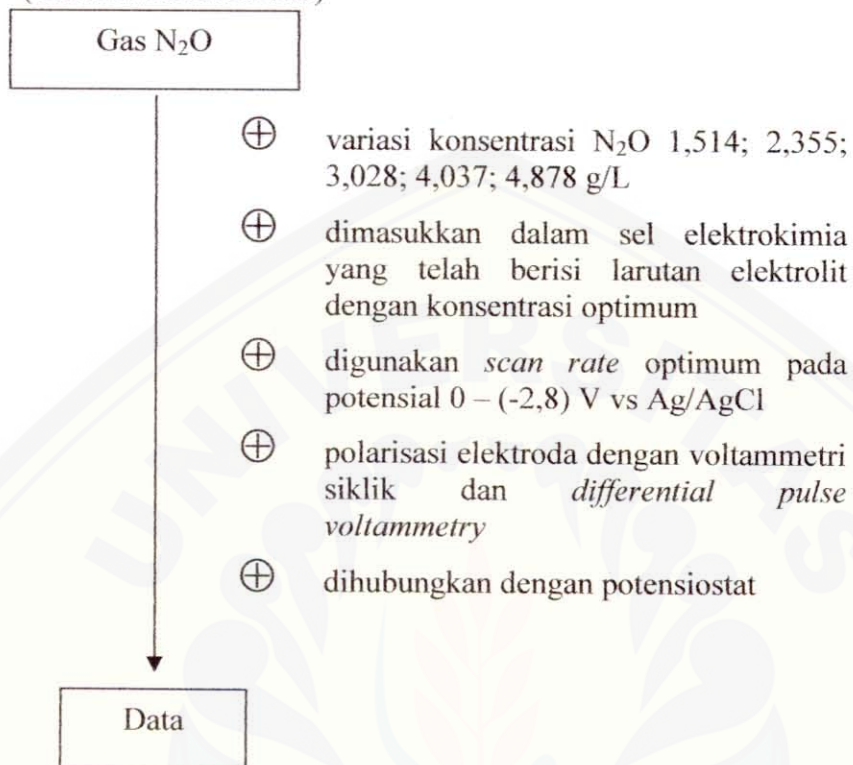
Gambar 3.4 Skema Penentuan *Scan Rate* Optimum

3.2.4 Pembuatan Sensor Gas N₂O



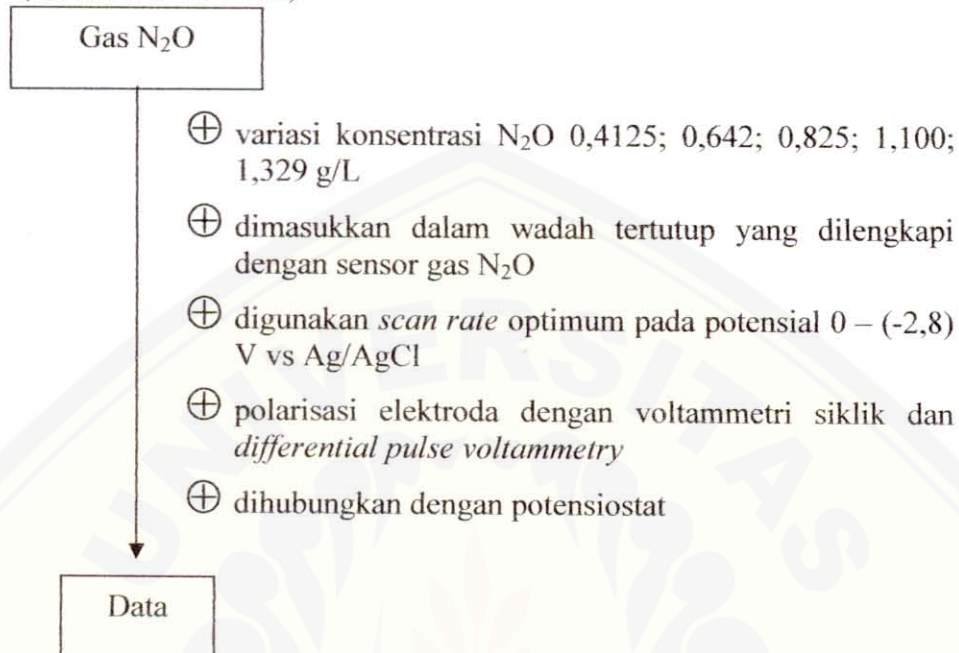
Gambar 3.5 Skema Pembuatan Sensor Gas N₂O

3.2.5 Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (*Unshielded Electrode*)



Gambar 3.6 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (*Unshielded Electrode*)

3.2.6 Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt dengan Membran PDMS (*Membrane Covered*)



Gambar 3.7 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt dengan Membran PDMS (*Membrane Covered*)

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, potentiostat AMEL model 433-A terhubung dengan komputer, serta software *analyzer* AMEL 433 yang bekerja di bawah Windows, selang, kompresor, aerator, stirer magnetik, selotip, O-ring, bunsen, gunting, karet, aluminium foil, grind, statif.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas nitrous oksida (N_2O), gas kering (*dry air*), elektroda Platina (Pt), elektroda emas (Au), elektroda perak (Ag), membran PDMS, larutan tetrabutylammonium perklorat (TBAP) dalam larutan dimetilsulfoloksida (DMSO), aquades.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia terdiri dari elektroda kerja (WE) Pt, elektroda pembanding (RE) Ag, elektroda kounter (CE) Au. Larutan elektrolit dalam sel elektrokimia digunakan larutan elektrolit tak berair tetrabutylammonium perklorat (TBAP) dalam dimetilsulphoksida (DMSO).

3.4.2 Pembuatan Gas N₂O

Gas N₂O dibuat dari pemanasan ammonium nitrat (NH₄NO₃). Perhitungan konsentrasi N₂O didapatkan dari perhitungan stoikiometri NH₄NO₃. Elektroanalisis menggunakan membran dan tanpa membran digunakan NH₄NO₃ dengan variasi yang sama yaitu 1 g, 1,5 g, 2 g, 2,5 g, 3 g tetapi setelah dikonversi berat N₂O per volum untuk setiap perlakuan berbeda. Untuk proses tanpa menggunakan membran konsentrasi N₂O yang didapat 1,514 g/L, 2,355 g/L, 3,028 g/L, 4,037 g/L, 4,878 g/L sedangkan yang menggunakan membran didapat 0,4125 g/L, 0,642 g/L, 0,825 g/L, 1,100 g/L, 1,329 g/L.

3.4.3 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum

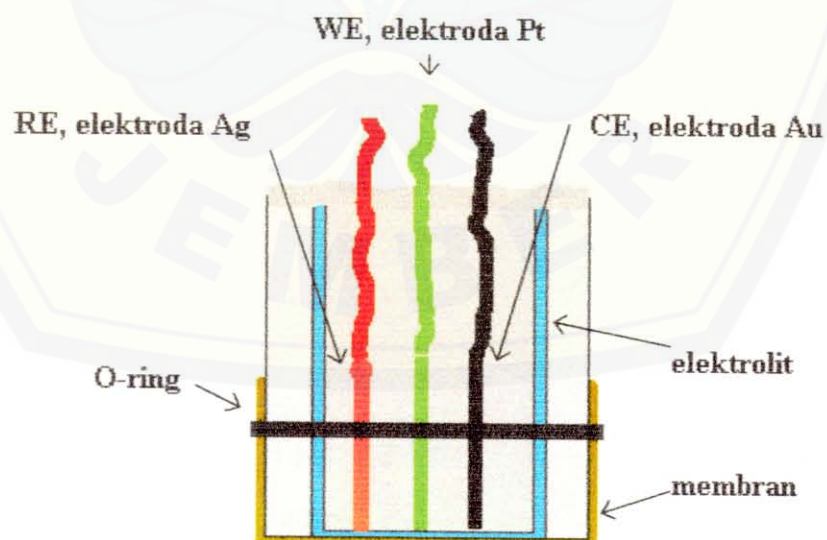
Gas nitrous oksida dimasukkan ke dalam sel elektrokimia dengan konsentrasi 2.355 g/L. Kemudian sel elektrokimia dihubungkan dengan potensiostat. Pengukuran arus reduksi dilakukan dengan teknik voltametri siklik, pada potensial 0 sampai (-2,8) V vs Ag/AgCl. *Scan rate* dibuat konstan 100 mV/detik sedangkan konsentrasi elektrolit divariasikan 0,010 M; 0,025 M; 0,050 M; 0,075 M dan 0,100 M. Metode *differential pulse voltammetry* pulsa amplitudonya 10 mV. Nilai yang didapatkan dicatat sebagai nilai arus reduksi optimum maka konsentrasinya digunakan sebagai konsentrasi optimum.

3.4.4 Penentuan *Scan Rate* Optimum

Gas nitrous oksida dimasukkan ke dalam sel elektrokimia dengan konsentrasi 2,355 g/L. Sel elektrokimia kemudian dihubungkan dengan potensiostat. Pengukuran arus reduksi dilakukan dengan teknik voltametri siklik, pada potensial 0 sampai (-2,8) V vs Ag/AgCl. Metode *differential pulse voltammetry* pulsa amplitudonya 10 mV. Konsentrasi elektrolit dibuat konstan pada konsentrasi optimumnya sedangkan *scan rate* divariasikan 40, 80, 100, dan 200 mV/detik. Nilai yang didapatkan dicatat sebagai nilai arus reduksi optimum maka *scan ratenya* digunakan sebagai *scan rate* optimum.

3.4.5 Pembuatan Sensor Gas N₂O

Elektroda Pt, elektroda pembanding Ag dan elektroda kounter Au diletakkan dalam sebuah pipa polietilen. Ruang kosong dalam pipa tersebut diisi larutan elektrolit dengan konsentrasi optimum. Salah satu ujung pipa tersebut ditutup dengan membran PDMS dan diikat dengan menggunakan O-ring. Penempatan membran ini memisahkan antara analit gas dengan larutan elektrolit, lihat gambar 3.8.



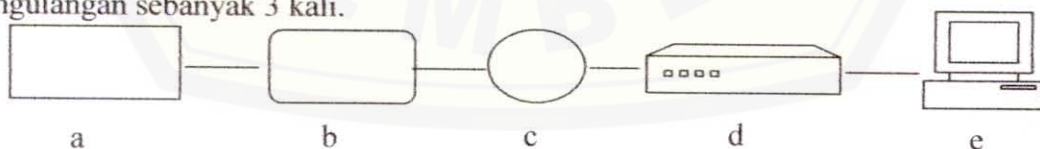
Gambar 3.8 Skema Sensor Gas N₂O

3.4.6 Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt tanpa Menggunakan Membran (*Unshielded Electrode*)

Gas nitrous oksida dimasukkan ke dalam sel elektrokimia dengan variasi konsentrasi 1,514; 2,355; 3,028; 4,037; 4,878 g/L. Konsentrasi elektrolit dalam sel elektrokimia digunakan konsentrasi elektrolit optimum. Gas N_2O kemudian dilewatkan dalam erlenmeyer yang berisi silika gel kemudian dialirkan ke dalam sel elektrokimia, pengukuran arus reduksi nitrous oksida menggunakan Potentiostat Amel model 433-A. Potensial yang digunakan 0 sampai (-2,8) V vs Ag/AgCl, sedangkan *scan ratenya* digunakan *scan rate* optimum. Teknik polarisasi yang digunakan menggunakan teknik voltametri siklik dan *differential pulse voltammetry*, dengan pengulangan sebanyak 3 kali.

3.4.7 Elektroanalisis Menggunakan Elektoda Kerja Pt dengan Membran PDMS (*Membrane Covered*)

Gas nitrous oksida dimasukkan dalam sebuah wadah tertutup yang dilengkapi dengan sensor gas N_2O dengan variasi konsentrasi yang digunakan 0,4125; 0,642; 0,825; 1,100; 1,329 g/L. Arus reduksi nitrous oksida kemudian diukur dengan menggunakan Potentiostat Amel model 433-A pada potensial 0 sampai (-2,8) V vs Ag/AgCl dan pada *scan rate* optimum. Teknik polarisasi yang digunakan menggunakan teknik voltametri siklik dan *differential pulse voltammetry*, dengan pengulangan sebanyak 3 kali.



- | | | | |
|----|-------------------------|----|--------------|
| a. | Gas N_2O | d. | Potensiostat |
| b. | Silika gel | e. | Komputer |
| c. | Wadah dilengkapi sensor | | |

Gambar 3.9 Skema Elektroanalisis Menggunakan Elektroda Pt

3.4.8 Karakterisasi Sensor Gas

Penentuan karakterisasi sensor gas melalui pengamatan data yang dihasilkan dalam setiap pengukuran meliputi: sensitivitas, limit deteksi dan *linear range*.

a. Penentuan *Linear Range*

Linear range merupakan daerah (range) konsentrasi analit tertentu pada grafik arus dengan konsentrasi yang memberikan respon linier dimana kenaikan arus akan berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi (Skoog, 1994). Evaluasi *linear range* akan ditetapkan pada range konsentrasi

$$y = bx + a \quad (1)$$

dimana, b = slope atau kemiringan dari kurva kalibrasi
 a = intersep atau perpotongan terhadap sumbu y
 (Caulcutt dan Boddy, 1983)

b. Penentuan Limit Deteksi

Penentuan limit deteksi dari sensor ini dapat dilakukan dengan dua cara. Limit deteksi dapat ditentukan dengan mencatat sinyal yang masih bisa dideteksi konsentrasi analit paling rendah. Cara yang pertama adalah mencari nilai penyimpangan dari kurva kalibrasi ($S_{y/x}$) nilai $S_{y/x}$ ini ditentukan dengan persamaan

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n-2}} \quad (2)$$

langkah berikutnya adalah dengan memasukkan nilai $S_{y/x}$ dalam persamaan LOD:

$$\text{LOD} = Y - 3 \text{ SD} \quad (3)$$

Dimana; $\text{SD} = S_{y/x}$ = standar deviasi dari kurva kalibrasi

Y = intersep dari kurva kalibrasi

c. Sensitivitas

Menurut Ingle dan Crouch (1988), sensitivitas dinyatakan sebagai slope dari grafik yang diperoleh dengan range tertentu. Sensitivitas merupakan ratio perubahan sinyal tiap unit perubahan konsentrasi analit (Kateman dan Buydens, 1993). Sensitivitas dapat dinyatakan sebagai slope dari kurva yang diperoleh dengan range tertentu (Miller dan Miller, 1991). Hal ini sesuai dengan aturan IUPAC, bahwa sensitivitas yang dinyatakan dengan slope merupakan sensitivitas kurva. Nilai sensitivitas yang besar berarti bahwa perubahan konsentrasi yang kecil dari analit dapat memberikan respon yang berarti. Sensitivitas dari sensor ini dapat ditentukan dengan pengukuran dari sinyal sensor (arus) yang diperoleh dari konsentrasi analit yang sudah ditentukan.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a. Respon sensor optimum pada konsentrasi elektrolit 0,025 M dan *scan rate* 80 mV/detik.
- b. Karakterisasi sensor yang meliputi daerah kerja, sensitivitas dan batas deteksi dengan teknik polarisasi *differential pulse voltammetry* tidak berhasil dibandingkan teknik polarisasi voltametri siklik karena puncak reduksi N₂O yang terekam tidak stabil.
- c. Karakterisasi sensor dengan teknik polarisasi voltametri siklik didapatkan:
 - Daerah linier
Tanpa membran 1,514 – 4,878g/L dengan kelinieran sebesar 0,9729, menggunakan membran 0,4125 – 1,329 g/L dengan kelinieran 0,9877.
 - Batas deteksi
Tanpa membran 0,7706 g/L , menggunakan membran 0,14020 g/L.
 - Sensitivitas
Tanpa membran -3274,7 nA(g/L)⁻¹, menggunakan membran -466,77 nA(g/L)⁻¹.

5.2 Saran

Pengukuran gas N₂O pada penelitian ini masih banyak kekurangannya, diantaranya metode polarisasi *differential pulse voltammetry* sebagai metode alternatif yang tidak berhasil, gas N₂O yang digunakan melalui reaksi pemanasan, larutan elektrolit yang digunakan menggunakan pelarut yang pekat. Maka untuk menambah unjuk kerja sensor pada penelitian lebih lanjut digunakan gas N₂O yang

murni, larutan elektrolit yang disesuaikan dengan pelarut dan elektrolitnya sehingga didapatkan kesesuaian dengan teknik polarisasi yang digunakan. Menjaga kondisi permukaan elektroda selama elektroanalisis sehingga didapatkan hasil yang maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Albery, J. W. and Hahn, C. E. W. 1983. *Electrochemical Methhode of Determining Oxigen, Halothane and Nitrous Oxide US Patent 4400242.*
- Bard, A. W. and L. R. Faulker. 1980. *Electrochemical Metodes Fundamentals and Applications.* Singapore: John Wiley and Sons. Inc
- Caulcut, R. and Boddy, R. 1983. *Statistic for Analytical Chemistry.* London: Chapman and Hall.
- Fifield, F. W (Ed) and Haines, P. J (Ed). 1995. *Environmental Analytical Chemistry.* London : Chapman and Hall.
- Gosser, David. K. Jr. 1993. *Cyclic Voltammety Simulation and Analysis of Reaction Mechanism.* USA; VCH Publisher
- Hahn, C. E. W., 1998. Tutorial review : Electrochemical Analysis of Clinical Blood Gases, Gases and Vapours. *Analyst Vol. 123 (57R-86R).*
- Hahn, C. E. W., and Clark D. 1995. *Determining gas Concentration World Inielectual property,* Organitation Patent No. WO 95 00838
- Hendayana, S. dkk. 1994. *Kimia Analitik Instrumen.* Semarang: IKIP Semarang.
- Katemān, G. dan Buydens, L. 1993. *Quality Control in Analytical Chemistry.* USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Kaunaves, Samuel P. tanpa tahun. *Voltammetric Techniques.* Chapter 37. <http://www.prenhall.com/settle/chapters/ch37.pdf>.
- Kellner, et al., 1998 *Analytical Chemistry: The Autentic Text to The FECS Curriculum Analytical Chemistry.* New york: Wiley – VHC,Inc
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik.* Jakarta: Universitas Indonesia.

- McPeak, H., and Hahn, C. E. W., 1997. The Development of New Microelektrode Gas Sensor: an Odyssey. Part III. O₂ and N₂O Reduction at Unshielded and Membrane Covered Gold Microdisc Electrodes, *J Electroanal, Chem.* 427, 179-188.
- Miller and Miller. 1991. *Statistika Untuk Kimia Analitik edisi kedua*. Bandung : Penerbit ITB.
- Reiger, P. H. 1994. *Electrochemistry*. 2nd Edition. USA: Chapman and Hall, Inc.
- Sawyer, D. T. *et al.* 1995. *Experimental Electrochemistry for Chemist*. 2nd Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Siswoyo, dkk. 2005. *Kajian Awal Penggunaan Logam Ag, Au, dan Pt Sebagai Elektroda Kerja untuk Deteksi Gas N₂O Secara Voltametrik*, *Jurnal Kimia Lingkungan*, 7 (1) 45-52
- Skoog, D A and Leary, J J. 1992. *Prisiple of Instrumental analysis*. 4th Edition. London: Saunders College Publishing.
- Skoog, D.A. *et al.* 1992. *Fundamental Analytical Chemistry*. 7nd Edition. USA: Saunders College Publishing.
- Suharman, Mulja, M. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Underwood, A.L. 1999. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Pujaatmaka edisi kelima. Jakarta: Erlangga..
- Wang, Joseph. 1994. *Electrochemical Analysis*. USA: Wiley-VHC, Inc
- www.gamry.com
- www.wikipedia.org

LAMPIRAN

A. Scanning Potensial Differential Pulse Voltammetry Tanpa Membran

1,514 g/L		2,355 g/L		3,028 g/L		4,037 g/L		4,878 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
0,00	-1109,00	-0,13	-1870,00	-0,13	-2198,00	-0,13	-1316,00	-0,13	-1696,00
-14,38	-1253,00	-14,50	-1856,00	-14,50	-2036,00	-14,63	-1315,00	-14,50	-1582,00
-28,75	-1430,00	-28,88	-1848,00	-28,88	-1874,00	-29,00	-1301,00	-72,00	-1153,00
-43,13	-1635,00	-43,25	-1848,00	-43,25	-1694,00	-43,38	-1288,00	-86,38	-1129,00
-57,50	-1836,00	-57,63	-1854,00	-57,63	-1538,00	-57,88	-1282,00	-100,75	-1117,00
-71,88	-2047,00	-72,00	-1872,00	-115,13	-1045,00	-72,25	-1278,00	-115,13	-1130,00
-86,25	-2047,00	-86,38	-1888,00	-129,50	-1048,00	-86,63	-1274,00	-129,50	-1153,00
-100,63	-2047,00	-100,75	-1920,00	-143,88	-1040,00	-101,13	-1280,00	-143,88	-1199,00
-158,13	-3234,00	-115,13	-1952,00	-158,25	-997,00	-115,50	-1288,00	-158,25	-1290,00
-172,50	-2942,00	-129,50	-1992,00	-172,63	-945,00	-129,88	-1300,00	-172,63	-1442,00
-186,88	-2704,00	-143,88	-2040,00	-187,00	-897,00	-144,38	-1318,00	-187,00	-1612,00
-201,25	-2482,00	-158,25	-2090,00	-201,38	-841,00	-158,75	-1335,00	-201,38	-1780,00
-215,63	-2318,00	-172,63	-2146,00	-215,75	-787,00	-173,13	-1354,00	-215,75	-1976,00
-230,00	-2164,00	-187,00	-2228,00	-273,25	-668,00	-187,63	-1384,00	-230,13	-2047,00
-244,38	-2096,00	-201,38	-2308,00	-287,63	-718,50	-202,00	-1416,00	-287,63	-3424,00
-258,75	-2070,00	-215,75	-2388,00	-302,00	-756,00	-216,38	-1450,00	-302,00	-3424,00
-273,13	-2148,00	-230,13	-2472,00	-316,38	-802,50	-230,88	-1489,00	-316,38	-3520,00
-287,50	-2280,00	-244,50	-2552,00	-330,75	-860,00	-245,25	-1531,00	-330,75	-3664,00
-301,88	-2480,00	-258,88	-2628,00	-345,13	-897,00	-259,63	-1578,00	-345,13	-3826,00
-316,25	-2712,00	-273,25	-2704,00	-359,50	-954,00	-274,13	-1636,00	-359,50	-3968,00
-330,63	-2958,00	-287,63	-2776,00	-373,88	-974,00	-288,50	-1698,00	-373,88	-4086,00
-345,00	-3164,00	-302,00	-2848,00	-388,25	-986,00	-302,88	-1752,00	-431,38	-5695,00
-359,38	-3360,00	-316,38	-2928,00	-402,63	-1023,50	-317,38	-1807,00	-445,75	-5120,00
-373,75	-3430,00	-330,75	-3006,00	-460,13	-1586,00	-331,75	-1842,00	-460,13	-4655,00
-388,13	-3430,00	-345,13	-3080,00	-474,50	-1597,00	-346,13	-1878,00	-474,50	-4230,00
-402,50	-3318,00	-359,50	-3156,00	-488,88	-1601,00	-360,50	-1914,00	-488,88	-3865,00
-416,88	-3158,00	-373,88	-3222,00	-503,25	-1645,00	-374,88	-1952,00	-546,38	-2406,00
-431,25	-2976,00	-388,25	-3284,00	-517,63	-1703,00	-389,25	-1994,00	-606,75	-2478,00
-445,63	-2816,00	-402,63	-3388,00	-532,00	-1746,00	-403,75	-2047,00	-575,13	-2488,00
-460,00	-2660,00	-417,00	-3472,00	-546,38	-1822,00	-461,38	-2758,00	-589,50	-2512,00
-474,38	-2528,00	-431,38	-3572,00	-560,75	-1872,00	-475,75	-2650,00	-603,88	-2570,00
-488,75	-2412,00	-445,75	-3688,00	-575,25	-1955,00	-490,13	-2594,00	-618,25	-2664,00
-503,13	-2390,00	-460,13	-3800,00	-589,63	-2046,00	-504,63	-2574,00	-632,63	-2812,00
-517,50	-2424,00	-474,50	-3904,00	-647,13	-3206,00	-519,00	-2584,00	-647,00	-2970,00
-531,88	-2548,00	-488,88	-4032,00	-661,50	-3278,00	-533,38	-2632,00	-661,38	-3198,00
-546,25	-2732,00	-546,38	-5995,00	-675,88	-3408,00	-547,75	-2696,00	-675,75	-3490,00
-560,63	-2946,00	-560,75	-5600,00	-690,25	-3564,00	-562,13	-2800,00	-690,13	-3840,00
-575,00	-3136,00	-575,13	-5325,00	-704,63	-3796,00	-576,50	-2904,00	-704,50	-4094,00
-589,38	-3316,00	-589,50	-5120,00	-719,00	-4048,00	-590,88	-3096,00	-762,00	-7765,00
-603,75	-3456,00	-603,88	-4940,00	-776,50	-6690,00	-605,25	-3278,00	-776,38	-7780,00
-618,13	-3548,00	-618,25	-4830,00	-790,88	-6440,00	-619,63	-3484,00	-790,75	-7930,00
-632,50	-3528,00	-632,63	-4750,00	-805,25	-6325,00	-634,00	-3708,00	-805,13	-8150,00
-646,88	-3440,00	-647,00	-4680,00	-819,63	-6275,00	-648,38	-3924,00	-819,50	-8420,00
-661,25	-3256,00	-661,38	-4600,00	-834,00	-6215,00	-662,75	-4094,00	-833,88	-8745,00
-675,63	-3036,00	-675,75	-4530,00	-848,38	-6155,00	-720,25	-6945,00	-848,25	-9030,00
-690,00	-2780,00	-690,13	-4460,00	-862,75	-6050,00	-734,63	-6775,00	-862,63	-9215,00
-704,38	-2564,00	-704,50	-4330,00	-877,13	-5940,00	-749,00	-6755,00	-877,00	-9235,00
-718,75	-2352,00	-718,88	-4210,00	-891,50	-5795,00	-763,38	-6825,00	-891,38	-9040,00

Lanjutan Lampiran A.

1,514 g/L		2,355 g/L		3,028 g/L		4,037 g/L		4,878 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-733,13	-2158,00	-733,25	-4090,00	-905,88	-5590,00	-777,75	-6930,00	-905,75	-8660,00
-747,50	-1996,00	-747,63	-3925,00	-920,25	-5250,00	-792,13	-7120,00	-920,13	-8075,00
-761,88	-1920,00	-805,13	-2606,00	-934,63	-4870,00	-806,50	-7300,00	-934,50	-7340,00
-776,25	-1888,00	-819,50	-2594,00	-949,00	-4435,00	-820,88	-7500,00	-948,88	-6550,00
-790,63	-1940,00	-833,88	-2542,00	-963,38	-3985,00	-835,25	-7645,00	-963,25	-5785,00
-805,00	-2016,00	-848,25	-2480,00	-1020,88	-1812,00	-849,63	-7700,00	-977,63	-5085,00
-819,38	-2128,00	-862,63	-2442,00	-1035,25	-1722,00	-864,00	-7610,00	-992,00	-4435,00
-833,75	-2216,00	-877,00	-2390,00	-1049,63	-1618,00	-878,38	-7390,00	-1006,38	-3880,00
-848,13	-2308,00	-891,38	-2336,00	-1064,00	-1520,00	-892,75	-7025,00	-1063,88	-1734,00
-862,50	-2396,00	-905,75	-2302,00	-1078,38	-1412,00	-907,13	-6560,00	-1078,25	-1684,00
-876,88	-2476,00	-920,13	-2296,00	-1092,75	-1320,00	-921,63	-6070,00	-1092,63	-1584,00
-891,25	-2480,00	-934,50	-2284,00	-1150,25	-882,00	-936,00	-5580,00	-1107,00	-1478,00
-905,63	-2452,00	-948,88	-2288,00	-1164,63	-888,00	-950,38	-5120,00	-1121,38	-1398,00
-920,00	-2356,00	-963,25	-2328,00	-1179,00	-883,00	-964,88	-4680,00	-1135,75	-1340,00
-934,38	-2252,00	-977,63	-2368,00	-1193,38	-871,00	-979,25	-4300,00	-1193,25	-1060,00
-948,75	-2118,00	-992,00	-2408,00	-1207,75	-857,00	-993,63	-4000,00	-1207,63	-1105,00
-963,13	-2008,00	-1006,38	-2472,00	-1222,13	-845,00	-1051,38	-2490,00	-1222,00	-1134,00
-977,50	-1904,00	-1020,75	-2552,00	-1236,50	-843,00	-1065,75	-2530,00	-1236,38	-1154,00
-991,88	-1800,00	-1035,13	-2628,00	-1250,88	-842,00	-1080,13	-2542,00	-1250,75	-1169,00
-1006,25	-1720,00	-1049,50	-2680,00	-1265,25	-851,00	-1094,63	-2540,00	-1265,13	-1176,00
-1020,63	-1718,00	-1063,88	-2724,00	-1279,63	-858,00	-1109,00	-2526,00	-1279,50	-1181,00
-1035,00	-1746,00	-1078,25	-2768,00	-1294,00	-862,00	-1123,38	-2504,00	-1293,88	-1184,00
-1049,38	-1856,00	-1092,63	-2788,00	-1308,38	-862,00	-1137,88	-2488,00	-1308,25	-1184,00
-1063,75	-1980,00	-1107,00	-2784,00	-1322,75	-865,00	-1152,25	-2464,00	-1322,63	-1182,00
-1078,13	-2132,00	-1121,38	-2728,00	-1337,13	-866,00	-1166,63	-2440,00	-1337,00	-1179,00
-1092,50	-2276,00	-1135,75	-2684,00	-1351,50	-865,00	-1181,13	-2432,00	-1351,38	-1176,00
-1106,88	-2408,00	-1150,13	-2644,00	-1365,88	-867,00	-1195,50	-2412,00	-1365,75	-1171,00
-1121,25	-2544,00	-1164,50	-2588,00	-1380,25	-870,00	-1209,88	-2392,00	-1380,13	-1168,00
-1135,63	-2646,00	-1178,88	-2510,00	-1394,63	-871,00	-1224,25	-2380,00	-1394,50	-1162,00
-1150,00	-2676,00	-1193,25	-2446,00	-1409,00	-874,00	-1238,63	-2366,00	-1408,88	-1158,00
-1164,38	-2660,00	-1207,63	-2376,00	-1423,38	-879,00	-1253,00	-2352,00	-1423,25	-1158,00
-1178,75	-2568,00	-1222,00	-2272,00	-1437,75	-880,00	-1267,38	-2348,00	-1437,63	-1158,00
-1193,13	-2460,00	-1236,38	-2196,00	-1452,13	-884,00	-1281,75	-2340,00	-1452,00	-1160,00
-1207,50	-2324,00	-1250,75	-2108,00	-1466,50	-888,00	-1296,13	-2332,00	-1466,38	-1164,00
-1221,88	-2200,00	-1265,13	-2004,00	-1480,88	-893,00	-1310,50	-2328,00	-1480,75	-1174,00
-1236,25	-2088,00	-1279,50	-1908,00	-1495,25	-900,00	-1324,88	-2328,00	-1495,13	-1184,00
-1250,63	-1974,00	-1293,88	-1804,00	-1509,63	-908,00	-1339,25	-2328,00	-1509,50	-1207,00
-1265,00	-1886,00	-1308,25	-1740,00	-1524,00	-916,00	-1353,63	-2334,00	-1523,88	-1237,00
-1279,38	-1880,00	-1322,63	-1690,00	-1538,38	-926,00	-1368,00	-2336,00	-1538,25	-1278,00
-1293,75	-1920,00	-1337,00	-1646,00	-1552,75	-938,00	-1382,38	-2340,00	-1552,63	-1339,00
-1308,13	-2032,00	-1351,38	-1624,00	-1567,13	-952,00	-1396,75	-2350,00	-1567,00	-1423,00
-1322,50	-2172,00	-1365,75	-1632,00	-1581,50	-974,00	-1411,13	-2360,00	-1581,38	-1536,00
-1336,88	-2344,00	-1380,13	-1696,00	-1595,88	-1001,00	-1425,50	-2368,00	-1595,75	-1693,00
-1351,25	-2528,00	-1394,50	-1760,00	-1610,25	-1035,00	-1439,88	-2384,00	-1610,13	-1896,00
-1365,63	-2702,00	-1408,88	-1824,00	-1624,63	-1082,00	-1454,25	-2404,00	-1624,50	-2047,00
-1380,00	-2902,00	-1423,25	-1910,00	-1639,00	-1145,00	-1468,63	-2434,00	-1682,00	-3946,00
-1394,38	-3080,00	-1437,63	-2032,00	-1653,38	-1227,00	-1483,00	-2472,00	-1696,38	-4094,00
-1408,75	-3208,00	-1452,00	-2148,00	-1667,75	-1341,00	-1497,38	-2528,00	-1710,75	-4094,00
-1423,13	-3308,00	-1466,38	-2288,00	-1682,13	-1480,00	-1511,75	-2598,00	-1725,13	-4094,00
-1437,50	-3336,00	-1480,75	-2480,00	-1696,50	-1640,00	-1526,13	-2694,00	-1782,63	-9070,00
-1451,88	-3344,00	-1495,13	-2672,00	-1710,88	-1813,00	-1540,50	-2822,00	-1797,00	-9215,00

Lanjutan Lampiran A.

1,514 g/L		2,355 g/L		3,028 g/L		4,037 g/L		4,878 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-1466,25	-3332,00	-1509,50	-2884,00	-1725,25	-2001,00	-1554,88	-2988,00	-1811,38	-9525,00
-1480,63	-3316,00	-1523,88	-3132,00	-1782,75	-3558,00	-1569,25	-3196,00	-1825,75	-9950,00
-1495,00	-3316,00	-1538,25	-3408,00	-1797,13	-3752,00	-1583,63	-3444,00	-1840,13	-10235,00
-1509,38	-3304,00	-1552,63	-3696,00	-1811,50	-4026,00	-1598,00	-3716,00	-1897,63	-15790,00
-1523,75	-3328,00	-1567,00	-3976,00	-1825,88	-4094,00	-1612,38	-4018,00	-1912,00	-15440,00
-1538,13	-3444,00	-1581,38	-4094,00	-1883,38	-8135,00	-1669,88	-7200,00	-1926,38	-15250,00
-1552,50	-3642,00	-1638,88	-7080,00	-1897,75	-8170,00	-1684,25	-7200,00	-1940,75	-15200,00
-1566,88	-3980,00	-1653,25	-6810,00	-1912,13	-8360,00	-1698,63	-7385,00	-1955,13	-15230,00
-1581,25	-4094,00	-1667,63	-6705,00	-1926,50	-8650,00	-1713,00	-7740,00	-1969,50	-15310,00
-1638,75	-9575,00	-1682,00	-6715,00	-1940,88	-9005,00	-1727,38	-8260,00	-1983,88	-15430,00
-1653,13	-10125,00	-1696,38	-6810,00	-1955,25	-9400,00	-1741,75	-8950,00	-1998,25	-15560,00
-1667,50	-10235,00	-1710,75	-7030,00	-1969,63	-9810,00	-1756,13	-9740,00	-2012,63	-15720,00
-1681,88	-10235,00	-1725,13	-7320,00	-1984,00	-10230,00	-1770,50	-10235,00	-2027,00	-15910,00
-1739,38	-15850,00	-1739,50	-7640,00	-2041,50	-14830,00	-1828,00	-17760,00	-2041,38	-16110,00
-1753,75	-14990,00	-1753,88	-8030,00	-2055,88	-14290,00	-1842,38	-17970,00	-2055,75	-16300,00
-1768,13	-14330,00	-1768,25	-8440,00	-2070,25	-13940,00	-1856,75	-18360,00	-2070,13	-16510,00
-1782,50	-13960,00	-1782,63	-8840,00	-2084,63	-13730,00	-1871,13	-18870,00	-2084,50	-16730,00
-1796,88	-13940,00	-1797,00	-9220,00	-2099,00	-13640,00	-1885,50	-19430,00	-2098,88	-16960,00
-1811,25	-14240,00	-1811,38	-9580,00	-2113,38	-13620,00	-1899,88	-20010,00	-2113,25	-17190,00
-1825,63	-14920,00	-1825,75	-9920,00	-2127,75	-13650,00	-1957,38	-28140,00	-2127,63	-17410,00
-1840,00	-15840,00	-1840,13	-10235,00	-2142,13	-13740,00	-1971,75	-26980,00	-2142,00	-17640,00
-1854,38	-16920,00	-1897,63	-14680,00	-2156,50	-13870,00	-1986,13	-26220,00	-2156,38	-17870,00
-1868,75	-18080,00	-1912,00	-14270,00	-2170,88	-14000,00	-2000,50	-25720,00	-2170,75	-18100,00
-1883,13	-19220,00	-1926,38	-14090,00	-2185,25	-14160,00	-2014,88	-25400,00	-2185,13	-18320,00
-1897,50	-20290,00	-1940,75	-14120,00	-2199,63	-14340,00	-2029,25	-25200,00	-2199,50	-18550,00
-1955,00	-28280,00	-1955,13	-14400,00	-2214,00	-14520,00	-2043,63	-25160,00	-2213,88	-18760,00
-1969,38	-26180,00	-1969,50	-14750,00	-2228,38	-14720,00	-2058,00	-25120,00	-2228,25	-19000,00
-1983,75	-24340,00	-1983,88	-15280,00	-2242,75	-14930,00	-2072,38	-25160,00	-2242,63	-19230,00
-1998,13	-22720,00	-1998,25	-15960,00	-2257,13	-15140,00	-2086,75	-25280,00	-2257,00	-19440,00
-2012,50	-21440,00	-2012,63	-16660,00	-2271,50	-15360,00	-2101,13	-25360,00	-2271,38	-19640,00
-2026,88	-20380,00	-2027,00	-17480,00	-2285,88	-15590,00	-2115,50	-25480,00	-2285,75	-19840,00
-2041,25	-19760,00	-2041,38	-18390,00	-2300,25	-15790,00	-2129,88	-25680,00	-2300,13	-20040,00
-2055,63	-19600,00	-2055,75	-19310,00	-2314,63	-16020,00	-2144,25	-25840,00	-2357,63	-29180,00
-2070,00	-19940,00	-2070,13	-20270,00	-2329,00	-16220,00	-2158,63	-26000,00	-2372,00	-27500,00
-2084,38	-20740,00	-2127,88	-30540,00	-2343,38	-16430,00	-2173,00	-26260,00	-2386,38	-26160,00
-2098,75	-21880,00	-2142,25	-29560,00	-2357,75	-16600,00	-2187,38	-26520,00	-2400,75	-25140,00
-2113,13	-23200,00	-2156,63	-28860,00	-2372,13	-16770,00	-2201,75	-26760,00	-2415,13	-24360,00
-2127,50	-24680,00	-2171,00	-28360,00	-2386,50	-16930,00	-2216,13	-27040,00	-2429,50	-23800,00
-2141,88	-26120,00	-2185,38	-28000,00	-2400,88	-17110,00	-2230,50	-27240,00	-2443,88	-23400,00
-2156,25	-27420,00	-2199,75	-27720,00	-2415,25	-17270,00	-2244,88	-27480,00	-2458,25	-23080,00
-2170,63	-28440,00	-2214,25	-27720,00	-2429,63	-17430,00	-2259,25	-27720,00	-2472,63	-22880,00
-2185,00	-29040,00	-2228,63	-27560,00	-2444,00	-17560,00	-2273,63	-27920,00	-2487,00	-22760,00
-2199,38	-29160,00	-2243,00	-27320,00	-2458,38	-17710,00	-2288,00	-28140,00	-2501,38	-22720,00
-2213,75	-28760,00	-2257,50	-27180,00	-2472,75	-17930,00	-2302,38	-28360,00	-2515,75	-22700,00
-2228,13	-28080,00	-2271,88	-26880,00	-2487,13	-18070,00	-2316,75	-28560,00	-2530,13	-22700,00
-2242,50	-27120,00	-2286,25	-26440,00	-2501,50	-18160,00	-2331,13	-28720,00	-2544,50	-22720,00
-2256,88	-26080,00	-2300,63	-26040,00	-2515,88	-18240,00	-2345,50	-28880,00	-2558,88	-22800,00
-2271,25	-25060,00	-2315,00	-25560,00	-2530,25	-18360,00	-2359,88	-29080,00	-2573,25	-22860,00
-2285,63	-24200,00	-2329,38	-25000,00	-2544,63	-18480,00	-2374,25	-29360,00	-2587,63	-22860,00
-2300,00	-23640,00	-2343,75	-24620,00	-2559,00	-18560,00	-2388,63	-29640,00	-2602,00	-22800,00
-2314,38	-23440,00	-2358,13	-24160,00	-2573,38	-18670,00	-2403,00	-29820,00	-2616,38	-22700,00

B. Scanning Potensial Voltametri Siklik Menggunakan Membran

0,4125 g/L		0,642 g/L		0,825 g/L		1,100 g/L		1,329 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-10,00	683,50	-9,63	578,00	-9,63	614,00	-9,50	684,50	-9,50	556,50
-20,00	638,50	-19,63	549,00	-19,63	586,00	-19,50	661,00	-19,50	539,00
-30,00	618,50	-29,63	512,00	-29,63	552,50	-29,50	635,00	-29,50	521,00
-40,00	598,00	-39,63	482,00	-39,63	518,00	-39,50	607,00	-39,50	498,00
-50,00	567,00	-49,63	472,00	-49,63	498,50	-49,50	582,00	-49,50	474,00
-60,00	535,50	-59,63	450,00	-59,63	480,00	-59,50	568,00	-59,50	461,00
-70,00	526,50	-69,63	418,00	-69,63	455,00	-69,50	550,00	-69,50	452,00
-80,00	514,50	-79,63	407,00	-79,63	429,00	-79,50	528,00	-79,50	434,00
-90,00	490,50	-89,63	401,00	-89,63	417,00	-89,50	506,00	-89,50	413,00
-100,00	464,50	-99,63	378,50	-99,63	402,00	-99,50	495,00	-99,50	395,00
-110,00	460,00	-139,63	322,20	-109,63	379,50	-109,50	482,00	-139,50	339,20
-120,00	452,50	-149,63	311,20	-149,63	318,40	-119,50	463,00	-149,50	329,80
-130,00	432,50	-159,63	315,60	-159,63	302,40	-129,50	443,00	-159,50	325,40
-140,00	409,50	-169,63	300,80	-169,63	299,60	-139,50	434,00	-169,50	312,20
-150,00	408,00	-179,63	277,80	-179,63	286,40	-149,50	424,50	-179,50	293,80
-160,00	403,00	-189,63	281,20	-189,63	266,80	-159,50	409,00	-189,50	279,60
-170,00	384,50	-199,63	279,20	-199,63	256,20	-169,50	389,50	-199,50	275,60
-210,00	344,80	-209,63	261,20	-209,63	255,60	-209,50	344,00	-209,50	266,40
-220,00	325,00	-219,63	248,00	-219,63	243,40	-219,50	335,20	-219,50	250,60
-230,00	325,60	-229,63	256,60	-229,63	224,80	-229,50	331,60	-229,50	232,00
-240,00	325,20	-239,63	245,80	-239,63	218,80	-239,50	319,80	-239,50	226,40
-250,00	310,00	-249,63	224,80	-249,63	219,00	-249,50	304,40	-249,50	224,20
-260,00	291,00	-259,63	225,20	-259,63	207,20	-259,50	294,40	-259,50	213,20
-270,00	291,80	-269,63	229,60	-269,63	190,20	-269,50	292,00	-269,50	196,60
-280,00	293,00	-279,63	214,80	-279,63	189,20	-279,50	282,00	-279,50	187,80
-290,00	278,80	-289,63	199,20	-289,63	188,00	-289,50	268,40	-289,50	188,40
-300,00	260,80	-299,63	209,00	-299,63	176,40	-299,50	257,20	-299,50	181,40
-310,00	262,00	-309,63	203,40	-309,63	162,00	-309,50	255,60	-309,50	169,40
-320,00	264,80	-319,63	186,80	-319,63	164,40	-319,50	248,20	-319,50	156,00
-330,00	251,60	-329,63	182,00	-329,63	162,40	-329,50	235,60	-329,50	139,30
-340,00	234,00	-339,63	190,80	-339,63	150,60	-339,50	224,00	-339,50	132,00
-350,00	235,20	-349,63	179,40	-379,63	132,30	-349,50	222,40	-379,50	133,40
-360,00	239,20	-359,63	161,20	-389,63	121,40	-359,50	216,80	-389,50	132,00
-370,00	226,60	-369,63	168,00	-399,63	122,60	-369,50	205,20	-399,50	124,50
-380,00	209,20	-379,63	169,00	-409,63	122,00	-379,50	192,60	-409,50	113,80
-390,00	209,60	-389,63	153,80	-419,63	113,20	-389,50	190,80	-419,50	111,60
-400,00	214,00	-429,63	128,30	-429,63	103,20	-399,50	187,20	-429,50	112,30
-410,00	201,60	-439,63	117,60	-439,63	105,30	-409,50	176,40	-439,50	106,40
-420,00	183,40	-449,63	121,70	-449,63	103,60	-419,50	162,80	-449,50	94,50
-430,00	182,20	-459,63	110,80	-459,63	93,60	-429,50	158,60	-459,50	86,80
-440,00	186,80	-469,63	90,30	-469,63	84,00	-469,50	123,30	-469,50	87,20
-450,00	174,40	-479,63	86,00	-479,63	86,00	-479,50	118,50	-479,50	82,70
-460,00	155,60	-489,63	85,40	-489,63	82,00	-489,50	107,80	-489,50	71,70
-500,00	139,50	-499,63	69,90	-499,63	69,60	-499,50	91,60	-529,50	38,75
-510,00	133,00	-539,63	38,25	-539,63	38,35	-509,50	75,10	-539,50	21,65
-520,00	143,00	-549,63	31,85	-549,63	26,25	-549,50	8,05	-579,50	-25,54
-530,00	146,30	-589,63	39,16	-589,63	-14,90	-559,50	-7,85	-589,50	-40,94
-540,00	143,70	-599,63	40,96	-599,63	-19,98	-599,50	-40,94	-629,50	-102,35
-550,00	148,80	-639,63	102,40	-609,63	-29,52	-609,50	-40,94	-669,50	-158,40
-560,00	174,40	-679,63	187,40	-619,63	-40,94	-649,50	-162,40	-679,50	-173,20
-570,00	197,80	-689,63	201,50	-659,63	-82,30	-659,50	-172,10	-689,50	-178,40

Lanjutan Lampiran B.

0,4125 g/L		0,642 g/L		0,825 g/L		1,100 g/L		1,329 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-580,00	204,80	-729,63	298,80	-669,63	-87,00	-669,50	-184,40	-699,50	-185,00
-620,00	399,40	-739,63	332,40	-679,63	-85,75	-679,50	-190,20	-709,50	-196,80
-630,00	409,60	-749,63	345,00	-689,63	-90,80	-689,50	-188,00	-719,50	-204,70
-670,00	748,00	-759,63	348,40	-699,63	-99,55	-699,50	-189,90	-759,50	-240,80
-680,00	831,50	-769,63	373,20	-709,63	-97,40	-709,50	-194,80	-769,50	-244,80
-690,00	896,50	-779,63	392,40	-719,63	-90,80	-719,50	-196,40	-779,50	-240,80
-700,00	947,00	-789,63	393,40	-729,63	-90,40	-729,50	-189,80	-789,50	-246,40
-710,00	995,00	-799,63	394,40	-739,63	-92,60	-739,50	-186,20	-799,50	-256,40
-720,00	1024,00	-809,63	409,60	-749,63	-83,00	-749,50	-186,30	-809,50	-264,80
-760,00	1172,00	-849,63	428,00	-759,63	-70,70	-759,50	-185,60	-819,50	-262,20
-770,00	1192,00	-859,63	421,00	-769,63	-64,90	-769,50	-176,40	-829,50	-261,80
-780,00	1197,00	-869,63	405,50	-779,63	-61,20	-779,50	-168,40	-839,50	-268,40
-790,00	1200,00	-879,63	415,50	-789,63	-46,15	-789,50	-164,60	-849,50	-279,20
-800,00	1216,00	-889,63	418,00	-799,63	-30,85	-799,50	-161,90	-859,50	-280,60
-810,00	1222,00	-899,63	403,00	-839,63	10,32	-809,50	-151,00	-869,50	-274,80
-820,00	1215,00	-909,63	391,50	-849,63	16,36	-819,50	-138,80	-879,50	-277,20
-830,00	1203,00	-949,63	366,00	-859,63	19,08	-829,50	-132,00	-889,50	-285,00
-840,00	1208,00	-959,63	369,80	-869,63	28,98	-839,50	-128,40	-899,50	-290,80
-850,00	1204,00	-969,63	352,80	-879,63	36,98	-849,50	-118,00	-909,50	-286,60
-860,00	1188,00	-979,63	330,00	-889,63	37,24	-859,50	-104,80	-919,50	-284,60
-870,00	1165,00	-989,63	332,20	-899,63	34,86	-869,50	-97,80	-929,50	-288,80
-880,00	1160,00	-999,63	324,00	-909,63	39,58	-879,50	-95,40	-939,50	-298,20
-890,00	1150,00	-1009,63	299,20	-919,63	40,96	-889,50	-88,80	-949,50	-297,80
-900,00	1124,00	-1019,63	281,60	-959,63	26,62	-899,50	-77,70	-959,50	-291,80
-910,00	1094,00	-1029,63	282,00	-969,63	16,34	-939,50	-64,45	-969,50	-292,40
-920,00	1080,00	-1039,63	263,20	-979,63	5,58	-949,50	-61,80	-979,50	-300,00
-930,00	1063,00	-1049,63	232,00	-989,63	2,74	-959,50	-65,15	-989,50	-304,40
-940,00	1030,00	-1059,63	223,20	-999,63	-3,42	-969,50	-69,10	-999,50	-299,20
-950,00	992,00	-1069,63	214,80	-1039,63	-20,47	-979,50	-66,60	-1009,50	-296,40
-960,00	969,00	-1079,63	186,60	-1049,63	-20,47	-989,50	-66,90	-1019,50	-300,40
-970,00	946,00	-1089,63	157,80	-1089,63	-102,35	-999,50	-72,90	-1029,50	-309,20
-980,00	907,00	-1129,63	74,90	-1099,63	-102,35	-1009,50	-81,50	-1039,50	-307,60
-990,00	860,00	-1139,63	64,30	-1109,63	-102,35	-1019,50	-83,40	-1049,50	-300,80
-1000,00	831,00	-1179,63	-25,05	-1149,63	-169,50	-1029,50	-86,20	-1059,50	-301,60
-1010,00	802,00	-1189,63	-49,90	-1159,63	-181,20	-1039,50	-94,60	-1069,50	-309,20
-1020,00	756,00	-1199,63	-81,35	-1169,63	-199,40	-1049,50	-102,35	-1079,50	-312,80
-1060,00	589,50	-1209,63	-94,80	-1179,63	-204,70	-1089,50	-143,50	-1089,50	-307,20
-1070,00	534,00	-1219,63	-102,35	-1219,63	-247,80	-1099,50	-153,10	-1099,50	-305,00
-1080,00	495,00	-1259,63	-191,00	-1229,63	-253,20	-1109,50	-159,20	-1109,50	-308,80
-1090,00	464,00	-1269,63	-204,70	-1239,63	-267,60	-1119,50	-171,60	-1119,50	-317,60
-1100,00	415,00	-1309,63	-300,80	-1249,63	-284,00	-1129,50	-189,20	-1129,50	-316,00
-1110,00	356,00	-1319,63	-311,20	-1259,63	-287,80	-1139,50	-202,90	-1139,50	-309,80
-1150,00	182,60	-1329,63	-332,60	-1269,63	-293,20	-1179,50	-260,00	-1149,50	-311,00
-1160,00	143,00	-1339,63	-365,60	-1279,63	-307,20	-1189,50	-268,00	-1159,50	-319,20
-1200,00	-23,90	-1349,63	-384,00	-1289,63	-323,60	-1199,50	-284,00	-1169,50	-323,20
-1210,00	-53,90	-1359,63	-397,60	-1299,63	-326,40	-1209,50	-305,20	-1179,50	-317,20
-1250,00	-102,35	-1369,63	-409,40	-1309,63	-332,80	-1219,50	-322,40	-1189,50	-315,60
-1260,00	-102,35	-1409,63	-551,00	-1319,63	-347,80	-1229,50	-332,20	-1199,50	-320,40
-1300,00	-409,40	-1419,63	-587,50	-1329,63	-363,60	-1239,50	-348,40	-1209,50	-329,60
-1310,00	-409,40	-1429,63	-613,00	-1339,63	-366,20	-1249,50	-369,20	-1219,50	-328,00
-1320,00	-409,40	-1439,63	-657,50	-1349,63	-373,20	-1259,50	-389,60	-1229,50	-322,40

Lanjutan Lampiran B.

0,4125 g/L		0,642 g/L		0,825 g/L		1,100 g/L		1,329 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-1360,00	-731,50	-1449,63	-713,00	-1359,63	-389,40	-1269,50	-402,00	-1239,50	-324,00
-1370,00	-777,00	-1459,63	-754,00	-1369,63	-405,40	-1309,50	-476,00	-1249,50	-333,60
-1380,00	-844,00	-1469,63	-800,50	-1409,63	-449,50	-1319,50	-491,00	-1259,50	-338,00
-1390,00	-925,00	-1479,63	-865,50	-1419,63	-451,50	-1329,50	-512,00	-1269,50	-332,40
-1400,00	-996,00	-1489,63	-935,00	-1429,63	-462,00	-1339,50	-537,00	-1279,50	-332,00
-1410,00	-1023,50	-1499,63	-990,00	-1439,63	-481,50	-1349,50	-552,00	-1289,50	-337,60
-1450,00	-1442,00	-1509,63	-1023,50	-1449,63	-497,50	-1359,50	-567,00	-1299,50	-347,20
-1460,00	-1558,00	-1549,63	-1428,00	-1459,63	-501,00	-1369,50	-588,00	-1309,50	-346,20
-1470,00	-1687,00	-1559,63	-1547,00	-1469,63	-513,00	-1379,50	-614,00	-1319,50	-341,20
-1480,00	-1806,00	-1569,63	-1650,00	-1479,63	-534,50	-1389,50	-632,00	-1329,50	-344,00
-1490,00	-1927,00	-1579,63	-1771,00	-1489,63	-551,00	-1399,50	-646,00	-1339,50	-354,40
-1500,00	-2047,00	-1589,63	-1910,00	-1499,63	-556,00	-1409,50	-667,00	-1349,50	-359,20
-1540,00	-2704,00	-1599,63	-2047,00	-1509,63	-570,00	-1419,50	-693,00	-1359,50	-353,60
-1550,00	-2890,00	-1639,63	-2690,00	-1519,63	-595,50	-1429,50	-714,00	-1369,50	-354,00
-1560,00	-3064,00	-1649,63	-2864,00	-1529,63	-613,50	-1439,50	-729,50	-1379,50	-360,80
-1570,00	-3246,00	-1659,63	-3066,00	-1539,63	-621,50	-1449,50	-751,00	-1389,50	-371,20
-1580,00	-3452,00	-1669,63	-3270,00	-1549,63	-639,00	-1459,50	-778,00	-1399,50	-370,40
-1590,00	-3664,00	-1679,63	-3464,00	-1559,63	-668,00	-1469,50	-800,00	-1409,50	-366,40
-1600,00	-3868,00	-1689,63	-3688,00	-1569,63	-689,00	-1479,50	-818,00	-1419,50	-370,20
-1610,00	-4084,00	-1699,63	-3924,00	-1579,63	-700,00	-1489,50	-841,00	-1429,50	-381,60
-1650,00	-5045,00	-1709,63	-4094,00	-1589,63	-723,50	-1499,50	-869,00	-1439,50	-386,40
-1660,00	-5320,00	-1749,63	-5195,00	-1599,63	-757,50	-1509,50	-896,00	-1449,50	-381,60
-1670,00	-5600,00	-1759,63	-5480,00	-1609,63	-783,00	-1519,50	-917,00	-1459,50	-383,00
-1680,00	-5860,00	-1769,63	-5780,00	-1619,63	-800,00	-1529,50	-944,00	-1469,50	-390,40
-1690,00	-6140,00	-1779,63	-6080,00	-1629,63	-830,00	-1539,50	-975,50	-1479,50	-401,80
-1700,00	-6440,00	-1789,63	-6380,00	-1639,63	-873,50	-1549,50	-1010,00	-1519,50	-416,00
-1710,00	-6755,00	-1799,63	-6715,00	-1649,63	-906,00	-1589,50	-1149,00	-1529,50	-422,00
-1720,00	-7040,00	-1809,63	-7060,00	-1659,63	-932,00	-1599,50	-1184,00	-1539,50	-419,00
-1730,00	-7355,00	-1819,63	-7380,00	-1669,63	-973,00	-1609,50	-1224,00	-1549,50	-421,50
-1740,00	-7680,00	-1829,63	-7720,00	-1679,63	-1023,50	-1619,50	-1272,00	-1559,50	-431,00
-1750,00	-8020,00	-1839,63	-8090,00	-1719,63	-1222,00	-1629,50	-1324,00	-1569,50	-444,00
-1760,00	-8340,00	-1849,63	-8460,00	-1729,63	-1275,00	-1639,50	-1373,00	-1579,50	-445,00
-1770,00	-8675,00	-1859,63	-8810,00	-1739,63	-1328,00	-1649,50	-1424,00	-1589,50	-444,00
-1780,00	-9040,00	-1869,63	-9190,00	-1749,63	-1396,00	-1659,50	-1488,00	-1599,50	-451,50
-1790,00	-9395,00	-1879,63	-9595,00	-1759,63	-1472,00	-1669,50	-1557,00	-1609,50	-466,00
-1800,00	-9745,00	-1889,63	-10000,00	-1769,63	-1539,00	-1679,50	-1620,00	-1619,50	-475,50
-1810,00	-10115,00	-1929,63	-11670,00	-1779,63	-1608,00	-1689,50	-1690,00	-1629,50	-474,00
-1850,00	-11650,00	-1939,63	-12110,00	-1789,63	-1695,00	-1699,50	-1770,00	-1639,50	-481,00
-1860,00	-12060,00	-1949,63	-12580,00	-1799,63	-1788,00	-1709,50	-1862,00	-1649,50	-494,00
-1870,00	-12460,00	-1959,63	-13020,00	-1809,63	-1868,00	-1719,50	-1948,00	-1659,50	-512,00
-1880,00	-12860,00	-1969,63	-13450,00	-1819,63	-1960,00	-1729,50	-2037,00	-1669,50	-517,50
-1890,00	-13270,00	-1979,63	-13920,00	-1829,63	-2047,00	-1769,50	-2502,00	-1679,50	-521,50
-1900,00	-13700,00	-1989,63	-14410,00	-1869,63	-2524,00	-1779,50	-2640,00	-1689,50	-535,00
-1910,00	-14110,00	-1999,63	-14900,00	-1879,63	-2662,00	-1789,50	-2788,00	-1699,50	-556,00
-1920,00	-14540,00	-2009,63	-15360,00	-1889,63	-2780,00	-1799,50	-2936,00	-1709,50	-572,00
-1930,00	-14960,00	-2019,63	-15870,00	-1899,63	-2918,00	-1809,50	-3084,00	-1719,50	-578,00
-1940,00	-15420,00	-2029,63	-16380,00	-1909,63	-3088,00	-1819,50	-3256,00	-1729,50	-593,00
-1950,00	-15860,00	-2039,63	-16870,00	-1919,63	-3240,00	-1829,50	-3440,00	-1739,50	-616,00
-1960,00	-16300,00	-2049,63	-17360,00	-1929,63	-3384,00	-1839,50	-3622,00	-1749,50	-642,00
-1970,00	-16750,00	-2059,63	-17880,00	-1939,63	-3546,00	-1849,50	-3800,00	-1759,50	-658,00
-1980,00	-17230,00	-2069,63	-18400,00	-1949,63	-3726,00	-1859,50	-4014,00	-1769,50	-673,50

Lanjutan Lampiran B.

0,4125 g/L		0,642 g/L		0,825 g/L		1,100 g/L		1,329 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-1990,00	-17680,00	-2079,63	-18890,00	-1959,63	-3906,00	-1899,50	-4920,00	-1779,50	-699,50
-2000,00	-18110,00	-2089,63	-19420,00	-1969,63	-4088,00	-1909,50	-5180,00	-1789,50	-734,00
-2010,00	-18550,00	-2099,63	-19950,00	-2009,63	-4880,00	-1919,50	-5445,00	-1799,50	-764,00
-2020,00	-19020,00	-2109,63	-20470,00	-2019,63	-5100,00	-1929,50	-5690,00	-1809,50	-785,50
-2030,00	-19440,00	-2149,63	-22900,00	-2029,63	-5345,00	-1939,50	-5970,00	-1819,50	-817,00
-2040,00	-19870,00	-2159,63	-23420,00	-2039,63	-5575,00	-1949,50	-6270,00	-1829,50	-857,00
-2050,00	-20290,00	-2169,63	-23980,00	-2049,63	-5805,00	-1959,50	-6570,00	-1839,50	-902,00
-2090,00	-22320,00	-2179,63	-24480,00	-2059,63	-6060,00	-1969,50	-6855,00	-1849,50	-937,00
-2100,00	-22800,00	-2189,63	-24960,00	-2069,63	-6320,00	-1979,50	-7160,00	-1859,50	-974,00
-2110,00	-23260,00	-2199,63	-25500,00	-2079,63	-6575,00	-1989,50	-7500,00	-1869,50	-1023,50
-2120,00	-23680,00	-2209,63	-26000,00	-2089,63	-6825,00	-1999,50	-7840,00	-1809,50	-1244,00
-2130,00	-24140,00	-2219,63	-26460,00	-2099,63	-7100,00	-2009,50	-8160,00	-1919,50	-1314,00
-2140,00	-24560,00	-2229,63	-26880,00	-2109,63	-7400,00	-2019,50	-8500,00	-1929,50	-1388,00
-2150,00	-25020,00	-2239,63	-27420,00	-2119,63	-7680,00	-2029,50	-8870,00	-1939,50	-1453,00
-2160,00	-25400,00	-2249,63	-28000,00	-2129,63	-7955,00	-2039,50	-9240,00	-1949,50	-1524,00
-2170,00	-25840,00	-2259,63	-28620,00	-2139,63	-8260,00	-2049,50	-9630,00	-1959,50	-1608,00
-2180,00	-26240,00	-2269,63	-29240,00	-2149,63	-8580,00	-2059,50	-10005,00	-1969,50	-1704,00
-2190,00	-26680,00	-2279,63	-29820,00	-2159,63	-8895,00	-2099,50	-11600,00	-1979,50	-1790,00
-2200,00	-27140,00	-2289,63	-30320,00	-2169,63	-9190,00	-2109,50	-12040,00	-1989,50	-1876,00
-2210,00	-27680,00	-2299,63	-30780,00	-2179,63	-9520,00	-2119,50	-12480,00	-1999,50	-1980,00
-2220,00	-28460,00	-2309,63	-31260,00	-2189,63	-9860,00	-2129,50	-12890,00	-2009,50	-2047,00
-2230,00	-28940,00	-2319,63	-31700,00	-2199,63	-10185,00	-2139,50	-13300,00	-2049,50	-2588,00
-2240,00	-29340,00	-2329,63	-32320,00	-2239,63	-11600,00	-2149,50	-13760,00	-2059,50	-2736,00
-2250,00	-29720,00	-2339,63	-32720,00	-2249,63	-11940,00	-2159,50	-14230,00	-2069,50	-2876,00
-2260,00	-30160,00	-2349,63	-33120,00	-2259,63	-12320,00	-2169,50	-14680,00	-2079,50	-3020,00
-2270,00	-30540,00	-2359,63	-33600,00	-2269,63	-12680,00	-2179,50	-15110,00	-2089,50	-3184,00
-2280,00	-31180,00	-2369,63	-34000,00	-2279,63	-13040,00	-2189,50	-15580,00	-2099,50	-3360,00
-2290,00	-31560,00	-2379,63	-34460,00	-2289,63	-13400,00	-2199,50	-16060,00	-2109,50	-3536,00
-2300,00	-32140,00	-2389,63	-34900,00	-2299,63	-13790,00	-2209,50	-16550,00	-2119,50	-3708,00
-2310,00	-32480,00	-2399,63	-35360,00	-2309,63	-14190,00	-2219,50	-17000,00	-2129,50	-3896,00
-2320,00	-32800,00	-2409,63	-35700,00	-2319,63	-14550,00	-2229,50	-17460,00	-2139,50	-4094,00
-2330,00	-34860,00	-2419,63	-36060,00	-2329,63	-14910,00	-2239,50	-17960,00	-2179,50	-4970,00
-2340,00	-35360,00	-2429,63	-36480,00	-2339,63	-15330,00	-2249,50	-18480,00	-2189,50	-5210,00
-2350,00	-35780,00	-2439,63	-37740,00	-2349,63	-15720,00	-2259,50	-18950,00	-2199,50	-5440,00
-2360,00	-36120,00	-2449,63	-38020,00	-2359,63	-16110,00	-2269,50	-19440,00	-2209,50	-5675,00
-2370,00	-36460,00	-2459,63	-38480,00	-2369,63	-16510,00	-2279,50	-19960,00	-2219,50	-5930,00
-2380,00	-36760,00	-2469,63	-38900,00	-2379,63	-16920,00	-2289,50	-20470,00	-2229,50	-6195,00
-2390,00	-36960,00	-2479,63	-39260,00	-2389,63	-17340,00	-2329,50	-22840,00	-2239,50	-6460,00
-2400,00	-37180,00	-2489,63	-39480,00	-2399,63	-17720,00	-2339,50	-23320,00	-2249,50	-6715,00
-2410,00	-37680,00	-2499,63	-40220,00	-2409,63	-18120,00	-2349,50	-23840,00	-2259,50	-6980,00
-2420,00	-38160,00	-2539,63	-41800,00	-2419,63	-18560,00	-2359,50	-24400,00	-2269,50	-7260,00
-2430,00	-38860,00	-2549,63	-43200,00	-2429,63	-18990,00	-2369,50	-24920,00	-2279,50	-7560,00
-2440,00	-39200,00	-2559,63	-43400,00	-2439,63	-19360,00	-2379,50	-25440,00	-2289,50	-7850,00
-2450,00	-40160,00	-2569,63	-43800,00	-2449,63	-19760,00	-2389,50	-25920,00	-2299,50	-8120,00
-2490,00	-42000,00	-2579,63	-44150,00	-2459,63	-20210,00	-2399,50	-26500,00	-2309,50	-8420,00
-2500,00	-42300,00	-2589,63	-44600,00	-2499,63	-22120,00	-2409,50	-27100,00	-2319,50	-8740,00
-2510,00	-42650,00	-2599,63	-44800,00	-2509,63	-22560,00	-2419,50	-27600,00	-2329,50	-9060,00
-2520,00	-43000,00	-2609,63	-45150,00	-2519,63	-22920,00	-2429,50	-28080,00	-2339,50	-9350,00
-2530,00	-43400,00	-2619,63	-45500,00	-2529,63	-23360,00	-2439,50	-28600,00	-2349,50	-9640,00
-2540,00	-43600,00	-2629,63	-45800,00	-2539,63	-23860,00	-2449,50	-29160,00	-2359,50	-9980,00
-2550,00	-43950,00	-2639,63	-46300,00	-2549,63	-24460,00	-2459,50	-29680,00	-2369,50	-10235,00

Lanjutan Lampiran B.

0,4125 g/L		0,642 g/L		0,825 g/L		1,100 g/L		1,329 g/L	
potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus	potensial	arus
-2560,00	-44400,00	-2649,63	-46500,00	-2559,63	-24840,00	-2469,50	-30120,00	-2409,50	-11640,00
-2570,00	-44800,00	-2659,63	-47000,00	-2569,63	-25240,00	-2479,50	-30640,00	-2419,50	-11980,00
-2580,00	-45200,00	-2669,63	-47250,00	-2579,63	-25660,00	-2489,50	-31220,00	-2429,50	-12300,00
-2590,00	-45350,00	-2679,63	-47800,00	-2589,63	-26060,00	-2499,50	-31720,00	-2439,50	-12630,00
-2600,00	-46000,00	-2689,63	-48000,00	-2599,63	-26380,00	-2509,50	-32220,00	-2449,50	-12980,00
-2610,00	-46350,00	-2699,63	-49000,00	-2609,63	-26780,00	-2519,50	-32720,00	-2459,50	-13360,00
-2620,00	-49100,00	-2709,63	-49750,00	-2619,63	-27200,00	-2529,50	-33840,00	-2469,50	-13700,00
-2630,00	-50450,00	-2719,63	-50000,00	-2629,63	-27640,00	-2539,50	-34440,00	-2479,50	-14030,00
-2640,00	-50600,00	-2729,63	-50200,00	-2639,63	-27980,00	-2549,50	-34920,00	-2489,50	-14380,00
-2650,00	-50750,00	-2739,63	-50400,00	-2649,63	-28420,00	-2559,50	-35400,00	-2499,50	-14760,00
-2660,00	-50750,00	-2749,63	-50550,00	-2659,63	-29180,00	-2569,50	-35920,00	-2509,50	-15120,00
-2670,00	-50750,00	-2759,63	-50900,00	-2669,63	-29600,00	-2579,50	-36400,00	-2519,50	-15460,00
-2680,00	-50850,00	-2769,63	-51200,00	-2679,63	-30000,00	-2589,50	-36880,00	-2529,50	-15800,00
-2690,00	-51750,00	-2779,63	-51350,00	-2689,63	-30400,00	-2599,50	-37360,00	-2539,50	-16180,00
-2700,00	-51900,00	-2789,63	-51400,00	-2699,63	-30860,00	-2609,50	-37960,00	-2549,50	-16560,00
-2710,00	-53250,00	-2799,63	-52600,00	-2709,63	-31560,00	-2619,50	-38520,00	-2559,50	-16940,00
-2720,00	-53600,00			-2719,63	-31920,00	-2629,50	-39180,00	-2569,50	-17280,00
-2730,00	-53800,00			-2729,63	-32320,00	-2639,50	-40220,00	-2579,50	-17620,00
-2740,00	-54000,00			-2739,63	-32700,00	-2679,50	-42200,00	-2589,50	-18030,00
-2750,00	-54050,00			-2749,63	-33040,00	-2689,50	-42600,00	-2599,50	-18400,00
-2760,00	-54800,00			-2759,63	-33360,00	-2699,50	-42950,00	-2609,50	-18760,00
-2770,00	-54950,00			-2769,63	-33980,00	-2709,50	-43550,00	-2619,50	-19080,00
-2780,00	-55750,00			-2779,63	-34360,00	-2719,50	-44100,00	-2629,50	-19440,00
-2790,00	-55850,00			-2789,63	-34680,00	-2729,50	-44400,00	-2639,50	-19820,00
-2800,00	-55950,00			-2799,63	-35540,00	-2739,50	-44800,00	-2649,50	-20190,00
						-2749,50	-45400,00	-2689,50	-22040,00
						-2759,50	-45600,00	-2699,50	-22480,00
						-2769,50	-46250,00	-2709,50	-22800,00
						-2779,50	-46800,00	-2719,50	-23160,00
						-2789,50	-47350,00	-2729,50	-23520,00
						-2799,50	-48800,00	-2739,50	-23900,00
								-2749,50	-24220,00
								-2759,50	-24560,00
								-2769,50	-24920,00
								-2779,50	-25280,00
								-2789,50	-25640,00
								-2799,50	-26000,00

C. Perhitungan Batas Deteksi

C.1. Elektroanalisis Tanpa Membran dengan Teknik Polarisasi Voltametri Siklik

konsentrasi	arus (y)	\hat{y}	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$
1,514	-663	-268,996	-394,004	155239,3
2,355	-2432	-3023,02	591,0185	349302,9
3,028	-5756	-5226,89	-529,108	279955,7
4,037	-7564	-8531,06	967,0639	935212,6
4,878	-11920	-11285,1	-634,913	403115
jumlah				2122825
slope	-3274,7		s y/x	841,1947
intersep	4688,9		y lod	2165,316
			x lod	0,770631

Persamaan kurva kalibrasi : $y = -3274,7x + 4688,9$

$$\begin{aligned}
 \text{Standar deviasi kurva kalibrasi (S}_{y/x}) &= \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2}} \\
 &= \sqrt{\frac{2122825}{3}} \\
 &= 841,1947 \\
 y \text{ LOD} &= \text{intersep} - (3XS_{y/x}) \\
 &= 4688,9 - (3 \times 841,1947) \\
 &= 2165,316 \\
 x \text{ LOD} &= \frac{y \text{ LOD} - \text{intersep}}{\text{slope}} \\
 &= \frac{2165,316 - 4688,9}{-3274,7} \\
 &= 0,7706 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

C.2. Elektroanalisis Menggunakan Membran dengan Teknik Polarisasi Voltametri Siklik

konsentrasi	arus (y)	\hat{y}	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$
0,413	-117,00	-124,7036	7,7036	59,34584
0,642	-218,15	-231,8273	13,6773	187,06963
0,825	-349,55	-317,2463	-32,3038	1043,53226
1,100	-446,40	-445,6080	-0,7920	0,62726
1,329	-540,80	-552,4983	11,6983	136,85092
jumlah				1427,42592
slope	-466,77		S y/x	21,81304
intersep	67,839		y LOD	2,39989
			x LOD	0,14020

Persamaan kurva kalibrasi : $y = -466,77x + 67,839$

$$\text{Standar deviasi kurva kalibrasi (S}_{y/x}\text{)} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

$$= \sqrt{\frac{1427,42592}{3}}$$

$$= 21,81304$$

$$y \text{ LOD} = \text{intersep} - (3 \times S_{y/x})$$

$$= 67,839 - (3 \times 21,81304)$$

$$= 2,39989$$

$$x \text{ LOD} = \frac{y \text{ LOD} - \text{intersep}}{\text{slope}}$$

$$= \frac{2,39989 - 67,839}{-466,77}$$

$$= 0,14020 \text{ g/L}$$

D. Perhitungan Konsentrasi N_2O 

1 mol $NH_4NO_3 \approx 1$ mol N_2O

massa = mol x Mr.

D.1. Elektroanalisis Tanpa Membran

a. pembakaran 0,9 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol } NH_4NO_3 &= \frac{0,9g}{80g/mol} \\ &= 0,01125mol \\ \text{massa } N_2O &= 0,01125mol \times 44g/mol \\ &= 0,495g \\ \text{konsentrasi } N_2O &= 0,495g / 0,327L \\ &= 1,514g/L \end{aligned}$$

b. pembakaran 1,4 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol } NH_4NO_3 &= \frac{1,4g}{80g/mol} \\ &= 0,0175mol \\ \text{massa } N_2O &= 0,0175mol \times 44g/mol \\ &= 0,77g \\ \text{konsentrasi } N_2O &= 0,77g / 0,327L \\ &= 2,355g/L \end{aligned}$$

c. pembakaran 1,8 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol } NH_4NO_3 &= \frac{1,8g}{80g/mol} \\ &= 0,0225mol \\ \text{massa } N_2O &= 0,0225mol \times 44g/mol \\ &= 0,99g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 0,99 \text{ g}/0,327\text{L} \\ &= 3,028 \text{ g/L}\end{aligned}$$

d. pembakaran 2,4 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned}\text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{2,4\text{g}}{80 \text{ g/mol}} \\ &= 0,03\text{mol} \\ \text{massa N}_2\text{O} &= 0,03\text{mol} \times 44 \text{ g/mol} \\ &= 1,32\text{g} \\ \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 1,32 \text{ g}/0,327\text{L} \\ &= 4,037 \text{ g/L}\end{aligned}$$

e. pembakaran 2,9 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned}\text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{2,9\text{g}}{80 \text{ g/mol}} \\ &= 0,03625\text{mol} \\ \text{massa N}_2\text{O} &= 0,03625\text{mol} \times 44 \text{ g/mol} \\ &= 1,595\text{g} \\ \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 1,595 \text{ g}/0,327\text{L} \\ &= 4,878 \text{ g/L}\end{aligned}$$

D.2. Elektroanalisis Menggunakan Membran

a. pembakaran 0,9 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned}\text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{0,9\text{g}}{80 \text{ g/mol}} \\ &= 0,01125\text{mol} \\ \text{massa N}_2\text{O} &= 0,01125\text{mol} \times 44 \text{ g/mol} \\ &= 0,495\text{g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 0,495 \text{ g}/1,2\text{L} \\ &= 0,4125 \text{ g}/\text{L} \end{aligned}$$

b. pembakaran 1,4 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{1,4\text{g}}{80 \text{ g}/\text{mol}} \\ &= 0,0175\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa N}_2\text{O} &= 0,0175\text{mol} \times 44 \text{ g}/\text{mol} \\ &= 0,77\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 0,77 \text{ g}/1,2\text{L} \\ &= 0,642 \text{ g}/\text{L} \end{aligned}$$

c. pembakaran 1,8 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{1,8\text{g}}{80 \text{ g}/\text{mol}} \\ &= 0,0225\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa N}_2\text{O} &= 0,0225\text{mol} \times 44 \text{ g}/\text{mol} \\ &= 0,99\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 0,99 \text{ g}/1,2\text{L} \\ &= 0,825 \text{ g}/\text{L} \end{aligned}$$

d. pembakaran 2,4 g NH_4NO_3

$$\begin{aligned} \text{mol NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{2,4\text{g}}{80 \text{ g}/\text{mol}} \\ &= 0,03\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa N}_2\text{O} &= 0,03\text{mol} \times 44 \text{ g}/\text{mol} \\ &= 1,32\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi N}_2\text{O} &= 1,32 \text{ g}/1,2\text{L} \\ &= 1,1 \text{ g}/\text{L} \end{aligned}$$

e. pembakaran 2,9 g NH_4NO_3

$$\text{mol NH}_4\text{NO}_3 = \frac{2,9\text{g}}{80\text{g/mol}}$$

$$= 0,03625\text{mol}$$

$$\text{massa N}_2\text{O} = 0,03625\text{mol} \times 44\text{g/mol}$$

$$= 1,595\text{g}$$

$$\text{konsentrasi N}_2\text{O} = 1,595\text{g}/1,2\text{L}$$

$$= 1,329\text{g/L}$$

E. Jumlah NH_4NO_3 yang Terkonversi

Massa NH_4NO_3 Awal (gram)	Massa NH_4NO_3 Terpakai (gram)			Rata-rata (gram)
	I	II	III	
1,0	0,9	0,9	0,8	0,9
1,5	1,4	1,5	1,4	1,4
2,0	1,8	1,9	1,8	1,8
2,5	2,4	2,4	2,4	2,4
3,0	3,0	2,8	2,9	2,9

