



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PREPARASI PERMUKAAN PADA MODIFIKASI  
PLASTIK MENGGUNAKAN NANOPARTIKEL EMAS UNTUK  
SENSOR OKSIGEN**

**SKRIPSI**

**Siti Rosyidah  
0806326954**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI KIMIA  
DEPOK  
JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PREPARASI PERMUKAAN PADA MODIFIKASI  
PLASTIK MENGGUNAKAN NANOPARTIKEL EMAS UNTUK  
SENSOR OKSIGEN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains**

**Siti Rosyidah  
0806326954**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI KIMIA  
DEPOK  
JANUARI 2012**

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Siti Rosyidah

NPM : 0806326954

Tanda Tangan : 

Tanggal : 10 Januari 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Siti Rosyidah  
NPM : 0806326954  
Program Studi : Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Preparasi Permukaan pada Modifikasi Plastik Menggunakan Nanopartikel Emas untuk Sensor Oksigen

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

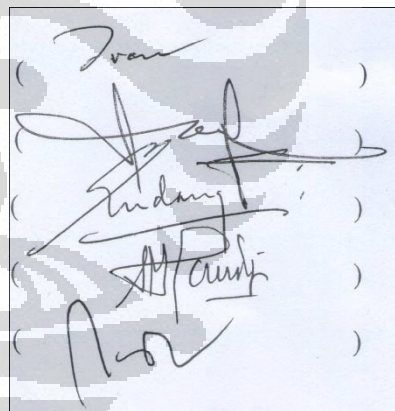
Pembimbing I : Dr. Ivandini T. A S.Si., M.Si

Pembimbing II : Dr. Endang Saepudin

Penguji : Prof. Dr. Endang Asijati M.Sc

Penguji : Dra. Sri Handayani M.Kes

Penguji : Ir. Widyastuti Samadi M.Si



Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 10 Januari 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul “Pengaruh Preparasi Permukaan pada Modifikasi Plastik Menggunakan Nanopartikel Emas untuk Sensor Oksigen” ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Dalam penulisan skripsi ini begitu banyak bantuan yang diberikan. Oleh karena itu penulis berterimakasih kepada semua pihak yang turut membantu dalam terselesaikannya skripsi ini.

Penulis pun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ivandini Tribidasari A. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Endang Saepudin selaku pembimbing II yang dengan sabar membimbing dan memberikan masukan, saran, arahan, serta diskusi yang sangat berarti bagi penulis selama penelitian berlangsung hingga tersusunnya skripsi ini.
2. Bapak Dr. Jarnuzi Gunluardi selaku pembimbing akademis yang memberikan saran dan bimbingan bagi penulis.
3. Bapak Dr. Ridla Bakri, M.Phil selaku ketua Departemen Kimia.
4. Ibu Dr.rer.nat. Widajanti Wibowo selaku ketua KBI Kimia Fisik, Ibu Dra.Tresye Utari, M.Si selaku koordinator penelitian, Ibu Ir. Widyastuti Samadi, M.Si selaku koordinator pendidikan, Bapak Drs. Sunardi selaku manajer instrumentasi dan Bapak Ir. Hedi Surachman, M.Si selaku manajer laboratorium penelitian.
5. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan kepada penulis.
6. Mba Ina, Mba Cucu, Mba Emma dan Mba Tri yang telah membantu dalam peminjaman alat dan penyediaan bahan.
7. Bapak Marji, Mas Edi, Bapak Trisno, Bapak Amin, Bapak Kiri, serta seluruh karyawan dan karyawan Departemen Kimia FMIPA UI. Terima kasih atas bantuannya selama ini.

8. Bapak, Ibu , Sali dan keluarga besar yang telah memberikan dukungan moral, materil dan doa dengan ikhlas.
9. Teman – teman : Merry, Yoyo, Umar, J.E , Linyo, Adi, Aryo, Bimo, Fadlina, Sania, Oca, Mumu, Dea, Rasti, Irna, One, Vina Oneng, Esti, Asef , Ina, Budi, Indo, Farid, Andreas, Daniel dan teman-teman 2008 lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas kebersamaannya selama ini.
10. Teman – teman seperjuangan penelitian lantai 3 dan 4 : Dinda, Vivi, Ka Riri, Ka Rosa, Elsa, Ka Bibah, Ka Uchie, Ibu/Bapak S2 dan S3 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini.
11. Rekan-rekan di lab afiliasi : Ka Rispa, Ka Puji, Ka Rasyid, Ka Alvin dan lainnya atas bimbingan dan bantuannya.
12. Teman-teman kimia angkatan 2006, 2007, 2008 dan 2009 yang selama ini terus memberikan semangat pada penulis dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas doa dan dukungannya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

**Penulis**

2012

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

---

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

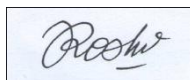
Nama : Siti Rosyidah  
NPM : 0806326954  
Program Studi : Kimia Fisik  
Departemen : Kimia  
Fakultas : MIPA  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Pengaruh Preparasi Permukaan pada Modifikasi Plastik Menggunakan Nanopartikel Emas untuk Sensor Oksigen

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 10 Januari 2012  
Yang menyatakan



( Siti Rosyidah )

## ABSTRAK

Nama : Siti Rosyidah

Program Studi : Kimia

Judul : Pengaruh Preparasi Permukaan pada Modifikasi Plastik Menggunakan Nanopartikel Emas untuk Sensor Oksigen

Pengembangan sensor oksigen dan sensor BOD dilakukan dengan menggunakan sel elektrokimia. Pengukuran kadar oksigen berbasis sel elektrokimia memberikan hasil pengukuran yang cepat dan praktis namun memiliki kekurangan yaitu kestabilan respon menurun setelah beberapa kali pengukuran. Oleh karena itu, dilakukan pembuatan *disposable sensor* menggunakan plastik termodifikasi nanopartikel emas. *Disposable sensor* diharapkan menjamin akurasi pengukuran. Nanopartikel emas disintesis dengan menggunakan zat penstabil dodekanatiol dan zat pereduksi  $\text{NaBH}_4$ . Karakterisasi dengan PSA menunjukkan ukuran nanopartikel Au yang dihasilkan mempunyai diameter 30,7 nm. Preparasi plastik dilakukan menggunakan KOH 2,5 M kemudian plastik direndam dalam larutan nanopartikel Au-tiol selama 24 jam dan dikeringkan. Karakterisasi permukaan plastik termodifikasi nanopartikel emas dilakukan dengan SEM-EDS. Deteksi nilai oksigen dilakukan dengan dengan teknik *Multi Pulse Amperometry* pada potensial -455mV. Nilai potensial tersebut didapat dari *Cyclic Voltametry* larutan oksigen dalam buffer fosfat pH 7 pada rentang -1000 mV sampai 1000 mV. Hasil pengukuran amperometri menunjukkan penurunan arus reduksi seiring dengan meningkatnya kadar  $\text{O}_2$  dengan nilai regresi  $R^2 = 0,950$ . Pengukuran amperometri untuk sensor BOD dilakukan dengan kehadiran mikroba bebas (*free cell*) *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181. Hasil pengukuran arus menunjukkan korelasi linier dengan peningkatan konsentrasi glukosa ( $R^2 = 0,921$ ) yang mengindikasikan plastik termodifikasi nanopartikel emas dapat digunakan sebagai elektroda kerja pada sensor oksigen dan sensor BOD.

Kata Kunci : oksigen, BOD, *Cyclic Voltametry*, *Multi Pulse Amperometry*, plastik, nanopartikel emas, *disposable*

xv + 67 hal : 32 gambar ; 2 tabel ; 8 lampiran

Daftar Pustaka : 30 (1985-2011)



## ABSTRACT

Name : Siti Rosyidah  
Program Study : Chemistry  
Title : Preparation of Surface Modification Effect on Plastic Using Gold Nanoparticles for Oxygen Sensor

Development of oxygen sensor conducted using electrochemical cells. Measurement of oxygen levels based electrochemical cells provide rapid results and practical measurements. However it has lack on the response stability which decreased after several measurements. Therefore, disposable sensor is being made using plastic modified by gold nanoparticle. Disposable sensors will ensure the accuracy of measurement. Gold nanoparticles synthesized by using a dodecanethiol as stabilizing agent and  $\text{NaBH}_4$  as reducing agent. Characterization PSA indicates the size of Au nanoparticles with a diameter of 30.7 nm. Preparation plastic conducted using KOH 2,5 M then soaked in a solution of Au-thiol nanoparticles for 24 hours and drying up. Characterization of plastic surface modified with SEM-EDS instrument. Detection of the oxygen conducted by Multi Pulse Amperometry on potential -455 mV. Potential value is obtained from Voltametry Cyclic of oxygen solution in phosphate buffer pH 7 in the range of -1000 mV to 1000 mV. The measurement results showed that amperometric reduction current decreased with increasing levels of  $\text{O}_2$  which show regression value  $R^2 = 0.950$ . Amperometry measurement conducted for BOD sensor in the presence of free cell *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181. The results of current measurements showed a linear correlation with increasing concentrations of glucose ( $R^2 = 0.921$ ) that indicate plastic modified by gold nanoparticle can be used as a working electrode in the oxygen sensor and the BOD sensor.

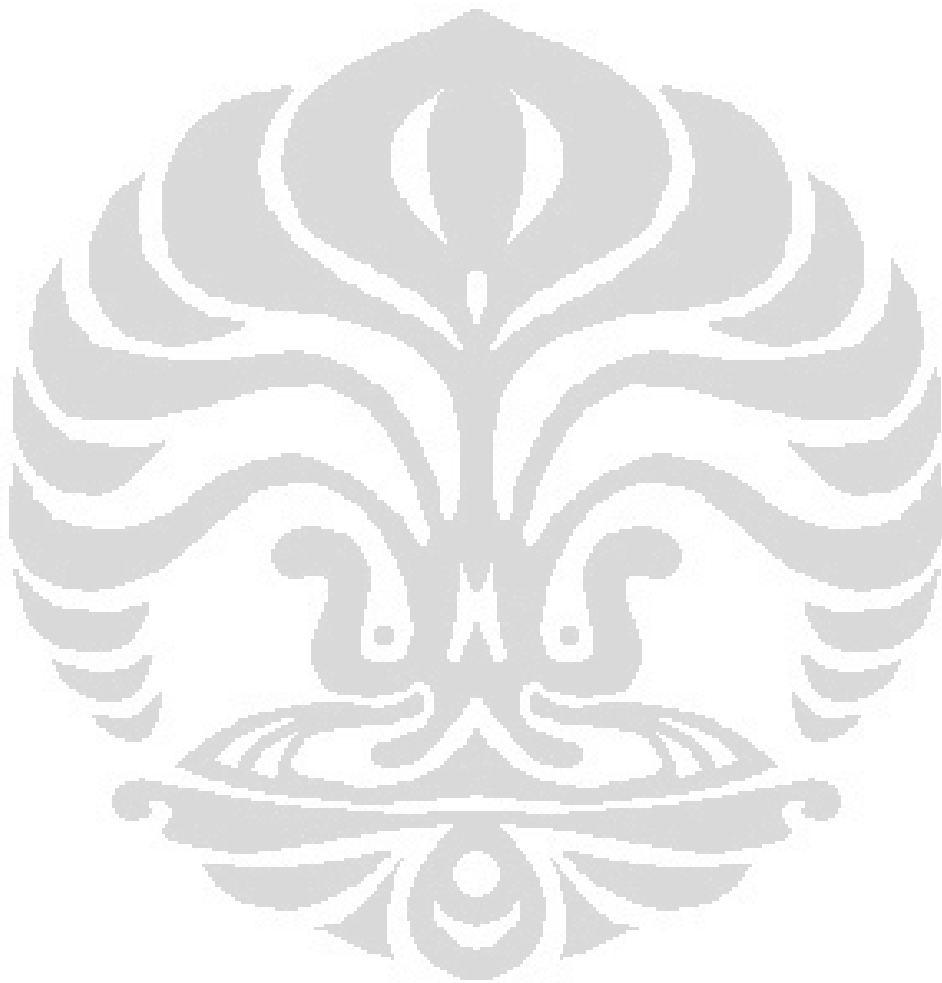
Keywords : oxygen, BOD, Cyclic Voltametry, Multi Pulse Amperometry, plastic, gold nanoparticles, disposable  
xv + 67 pages : 32 pictures ; 2 tables ; 8 appendixes  
References : 30 (1985-2011)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Hipotesis .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Sensor Kimia .....	4
2.2 Elektrokimia .....	4
2.3 Voltametri .....	7
2.3.1 Amperometri ( <i>Multi Pulse Amperometry</i> ) .....	8
2.3.2 Voltametri Siklis .....	9
2.4 Nanopartikel .....	9
2.4.1 Nanopartikel Emas (Au) .....	11
2.5 Polipropilena .....	11
2.6 <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i> .....	12
2.6.1 Oksigen .....	12
2.6.2 Khamir .....	14
2.7 Spektrofotometer UV-Visible .....	15
2.8 FTIR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> ) .....	17
2.9 SEM-EDS ( <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> ) .....	17
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	19
3.1.1 Alat .....	19
3.1.2 Bahan .....	19
3.2 Prosedur Kerja .....	19
3.2.1 Pembuatan Larutan .....	19
3.2.1.1 Pembuatan larutan H <sub>Au</sub> Cl <sub>4</sub> 0,01 M .....	19
3.2.1.2 Pembuatan larutan tetraoktilamonium bromida 0,05 M .....	20

3.2.1.3 Pembuatan larutan $\text{NaBH}_4$ 0,4 M .....	20
3.2.1.4 Pembuatan larutan buffer fosfat.....	20
3.2.1.4 Pembuatan larutan standar glukosa.....	20
3.2.2 Sintesis nanopartikel Au-tiol.....	20
3.2.3 Pengamatan kurva kestabilan nanopartikel Au.....	21
3.2.4 Modifikasi polipropilena dengan nanopartikel Au.....	21
3.2.4.1 Preparasi lembaran polipropilena.....	21
3.2.4.2 Modifikasi plastik polipropilena.....	21
3.2.5 Menentukan korelasi waktu aerasi terhadap kadar oksigen.....	21
3.2.5.1 Metode elektrokimia.....	21
3.2.5.2 Metode titrasi winkler.....	22
3.2.6 Uji sensor oksigen dan sensor BOD.....	22
3.2.6.1 Penentuan potensial kerja.....	22
3.2.6.2 Pengujian sensor $\text{O}_2$ .....	23
3.2.6.3 Pengujian elektroda plastik@NPAu sebagai sensor $\text{O}_2$ .....	23
3.2.6.4 Sterilisasi Alat.....	24
3.2.6.5 Penyiapan inokulum.....	24
3.2.6.6 Penentuan jumlah sel khamir yang digunakan dengan metode kamar hitung ( <i>Counting Chamber</i> ).....	25
3.2.6.7 Pengujian elektroda Au sebagai sensor BOD.....	25
3.2.6.8 Pengujian elektroda plastik@NPAu sebagai sensor BOD).....	26
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Nanopartikel Emas.....	27
4.1.1 Sintesis Nanopartikel Au-Tiol.....	27
4.1.2 Karakterisasi Nanopartikel Au-Tiol.....	31
4.1.2.1 Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis.....	31
4.1.2.2 Karakterisasi dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	33
4.2 Plastik.....	33
4.2.1 Preparasi Modifikasi Plastik dengan Nanopartikel Au-Tiol.....	33
4.2.2 Karakterisasi Plastik@NPAu menggunakan SEM-EDS.....	35
4.2.3 Karakterisasi Plastik@NPAu secara Elektrokimia.....	36
4.2.3.1 Sel Elektrokimia.....	36
4.2.3.2 Penentuan Konsentrasi Oksigen Terhadap Waktu Aerasi $\text{O}_2$ .....	38
4.2.3.2.1 Metode elektrokimia.....	38
4.2.3.2.2 Metode titrasi winkler.....	39
4.2.3.3 Penentuan respon arus terhadap variasi lamanya waktu aerasi $\text{O}_2$ .....	41
4.3 Aplikasi Plastik@NPAu sebagai sensor BOD.....	45
4.3.1 Penentuan jumlah sel khamir yang digunakan dengan metode kamar hitung ( <i>counting chamber</i> ).....	52
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	54

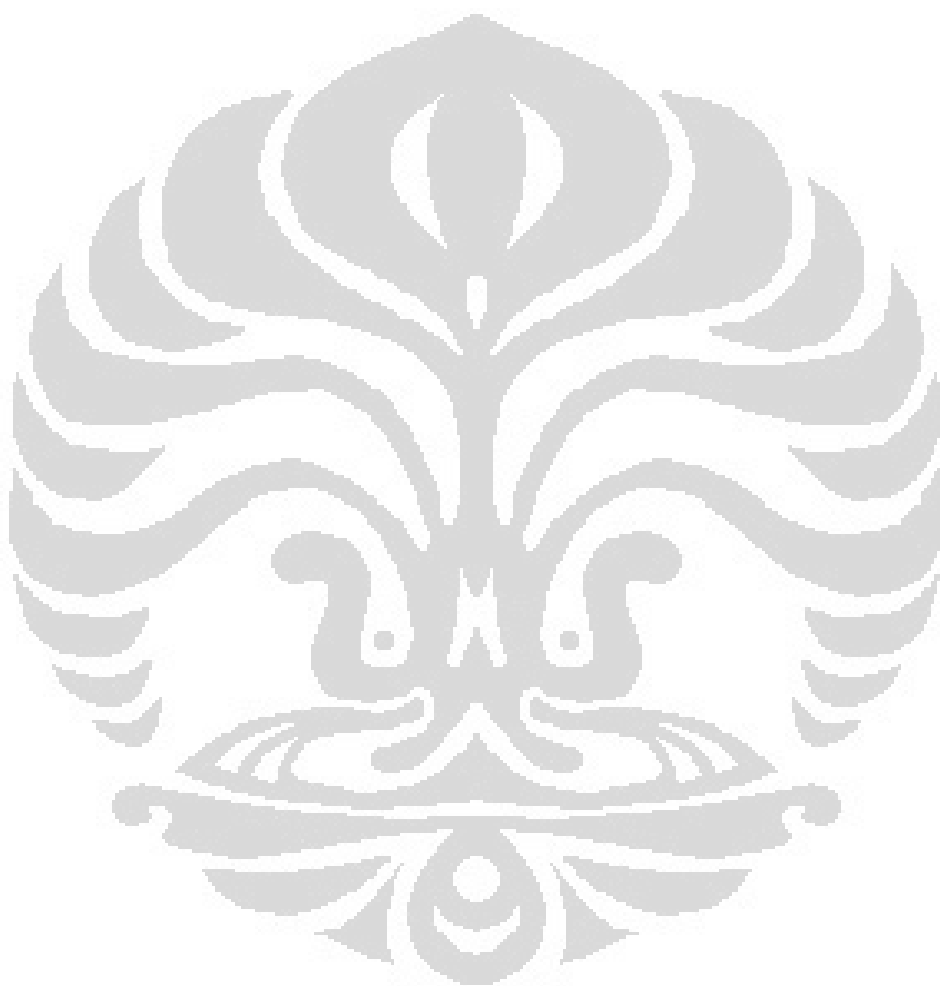
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
<b>LAMPIRAN</b> .....	58



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram sensor kimia.....	4
Gambar 2.2 Bagan sel elektrokimia.....	6
Gambar 2.3 Voltamogram siklis.....	9
Gambar 2.4 Hasil foto TEM nanopartikel kobalt .....	10
Gambar 2.5 Ilustrasi jalannya sinar spektrofotometri.....	16
Gambar 2.6 Prinsip kerja SEM.....	18
Gambar 4.1 Skema sintesis nanopartikel Au-tiol berdasarkan metode Brust-Schiffrin.....	28
Gambar 4.2 Ilustrasi nanopartikel emas yang distabilkan dodekanatiol.....	29
Gambar 4.3 Foto larutan nanopartikel Au-tiol.....	30
Gambar 4.4 Spektra serapan UV-Vis larutan Nanopartikel Au-tiol.....	31
Gambar 4.5 Spektra serapan UV-Vis nanopartikel Au-Tiol pada selang waktu tertentu.....	31
Gambar 4.6 Kurva kestabilan nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu.....	32
Gambar 4.7 Kurva pergeseran panjang gelombang maksimum nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu.....	32
Gambar 4.8 Hasil PSA nanopartikel Au-Tiol.....	33
Gambar 4.9 Foto tampilan plastik termodifikasi nanopartikel Au-Tiol.....	35
Gambar 4.10 Foto SEM permukaan plastik@NPAu.....	36
Gambar 4.11 Rangkaian sel elektrokimia.....	36
Gambar 4.12 Kurva kalibrasi arus terhadap waktu aerasi O <sub>2</sub> dengan alat DO meter.....	38
Gambar 4.13 Alat Lutron DO meter.....	39
Gambar 4.14 Kurva kalibrasi arus terhadap waktu aerasi O <sub>2</sub> titrasi winkler.....	40
Gambar 4.15 Voltamogram siklik uji sensor O <sub>2</sub> .....	42
Gambar 4.16 Amperogram uji sensor O <sub>2</sub> menggunakan elektroda kerja Au.....	42
Gambar 4.17 Amperogram uji sensor O <sub>2</sub> menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu.....	43
Gambar 4.18 Kurva arus reduksi terhadap variasi waktu aerasi O <sub>2</sub> pada elektroda kerja Au.....	44
Gambar 4.19 Kurva arus reduksi terhadap waktu aerasi O <sub>2</sub> pada elektroda plastik@NPAu.....	44
Gambar 4.20 Amperogram standar glukosa menggunakan elektroda kerja emas.....	48
Gambar 4.21 Amperogram standar glukosa menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu.....	48
Gambar 4.22 Amperogram arus I <sub>0</sub> dan I <sub>5</sub> pada konsentrasi glukosa 0,01 mM pada <i>free cell</i> menggunakan elektroda kerja emas.....	49
Gambar 4.23 Amperogram arus I <sub>0</sub> dan I <sub>5</sub> pada konsentrasi glukosa 0,01 mM pada <i>free cell</i> menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu.....	49
Gambar 4.24 Korelasi selisih kuat arus dengan konsentrasi glukosa pada <i>free cell</i> pada elektroda kerja emas.....	51

Gambar 4.25 Korelasi selisih kuat arus dengan konsentrasi glukosa pada <i>free cell</i> pada elektroda kerja plastik@NPAu.....	51
Gambar 4.26 Hubungan antara nilai <i>optical density</i> dengan jumlah sel khamir/mL.....	52



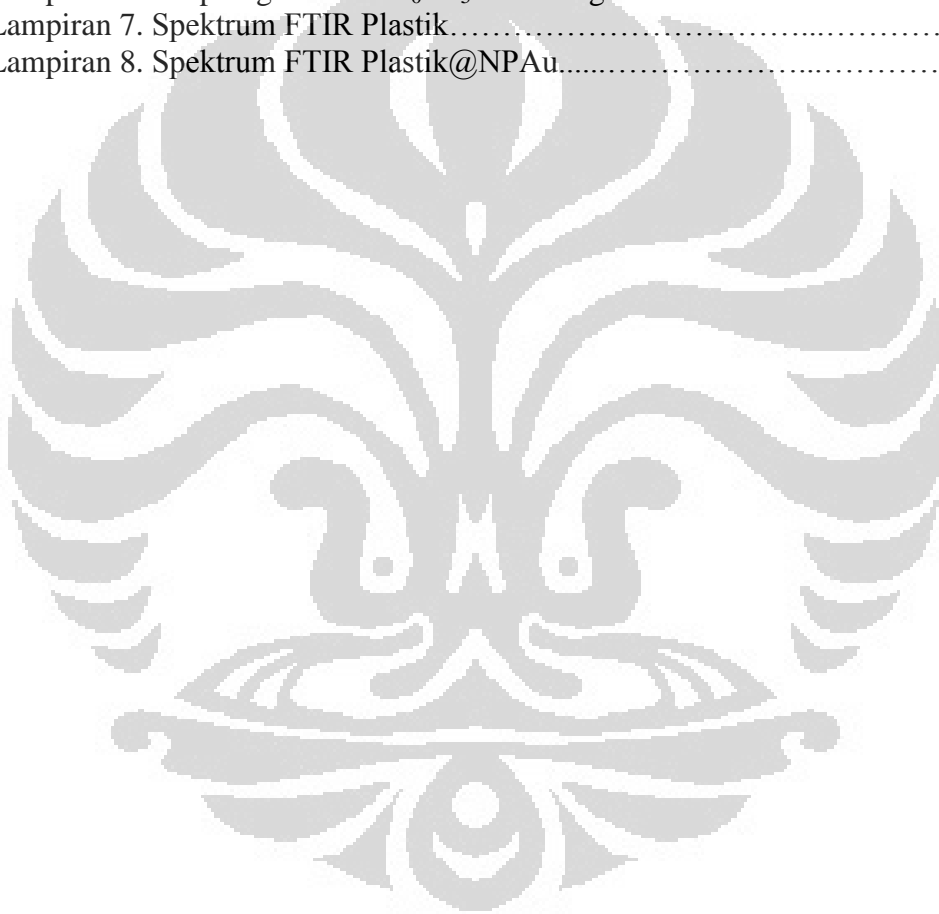
## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data respon arus terhadap variasi konsentrasi glukosa pada <i>bulk</i> Au.....	50
Tabel 4.2 Data respon arus terhadap variasi konsentrasi glukosa pada plastik@NPAu.....	50



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Bagan Kerja Penelitian.....	58
Lampiran 2 Tampilan Proses Sintesis Nanopartikel Au-Tiol.....	59
Lampiran 3 Data Karakterisasi Nanopartikel Au-Tiol dengan Spektrofotometer UV-Vis.....	60
Lampiran 4 Data Kalibrasi Waktu Aerasi Gas O <sub>2</sub> Terhadap Kadar .....	60
Lampiran 5 Data Arus Puncak Reduksi Terhadap Kadar O <sub>2</sub> .....	61
Lampiran 6. Amperogram Arus I <sub>0</sub> - I <sub>5</sub> di Berbagai Konsentrasi Glukosa.....	62
Lampiran 7. Spektrum FTIR Plastik.....	66
Lampiran 8. Spektrum FTIR Plastik@NPAu.....	67





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran air dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan sosial, karena gangguan oleh adanya zat-zat beracun atau muatan bahan organik yang berlebih. Keadaan ini menyebabkan oksigen terlarut dalam air berada pada kondisi kritis dan merusak kadar kimia air. Rusaknya kadar kimia air tersebut akan berpengaruh terhadap fungsi air. Besarnya beban pencemaran yang ditampung oleh suatu perairan dapat diperhitungkan berdasarkan jumlah polutan yang berasal dari berbagai sumber aktifitas air buangan dari proses-proses industri dan buangan domestik dari penduduk. Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan mengamati beberapa parameter kimia, seperti oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen = DO*) dan kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand = BOD*) (Salmin, 2005).

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, disingkat DO) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Nilai DO yang biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen ( $O_2$ ) yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Nilai DO terkait erat dengan nilai BOD. BOD adalah banyaknya konsumsi oksigen oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik di air. Semakin banyak polutan organik yang didegradasi oleh mikroorganisme maka semakin banyak oksigen terlarut yang dibutuhkan. Hal ini mengakibatkan terganggunya aktivitas organisme akuatik atau perairan lainnya yang juga membutuhkan oksigen dalam proses metabolismenya (Nathanael, 2011).

Pengembangan sensor elektrokimia menggunakan nanopartikel emas yang dimodifikasi pada permukaan plastik seperti yang telah dilakukan oleh Dien (2011) bertujuan untuk mengukur kadar DO. Sensor elektrokimia yang ingin dikembangkan adalah pemanfaatan plastik sebagai elektroda kerja yang *disposable*. Pemilihan material plastik didasarkan pada sifat plastik yang inert (tidak mudah bereaksi), resistensi yang tinggi, tidak dapat larut dalam air dan dapat termodifikasi dengan nanopartikel Au dalam bentuk Au koloidal film (Yamamoto, Yujiro et. al, 2006). Tetapi plastik memiliki daya hantar yang rendah sehingga perlu dimodifikasi dengan nanopartikel Au untuk menghasilkan respon arus yang baik. Proses modifikasi permukaan plastik dengan menggunakan nanopartikel Au-tiol telah dilakukan sebelumnya oleh Dien (2011). Namun hasil yang diperoleh belum memberikan respon arus yang baik, voltamogram siklik yang belum menyerupai elektroda kerja Au dan nanopartikel Au yang dapat mengalami proses agregasi, sehingga pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada plastik yang digunakan agar menghasilkan interaksi yang baik dengan permukaan plastik.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini pengembangan sensor oksigen dan sensor BOD dilakukan dengan menggunakan elektroda kerja nanopartikel emas yang dimodifikasi pada permukaan plastik. Masalah yang dapat dirumuskan adalah :

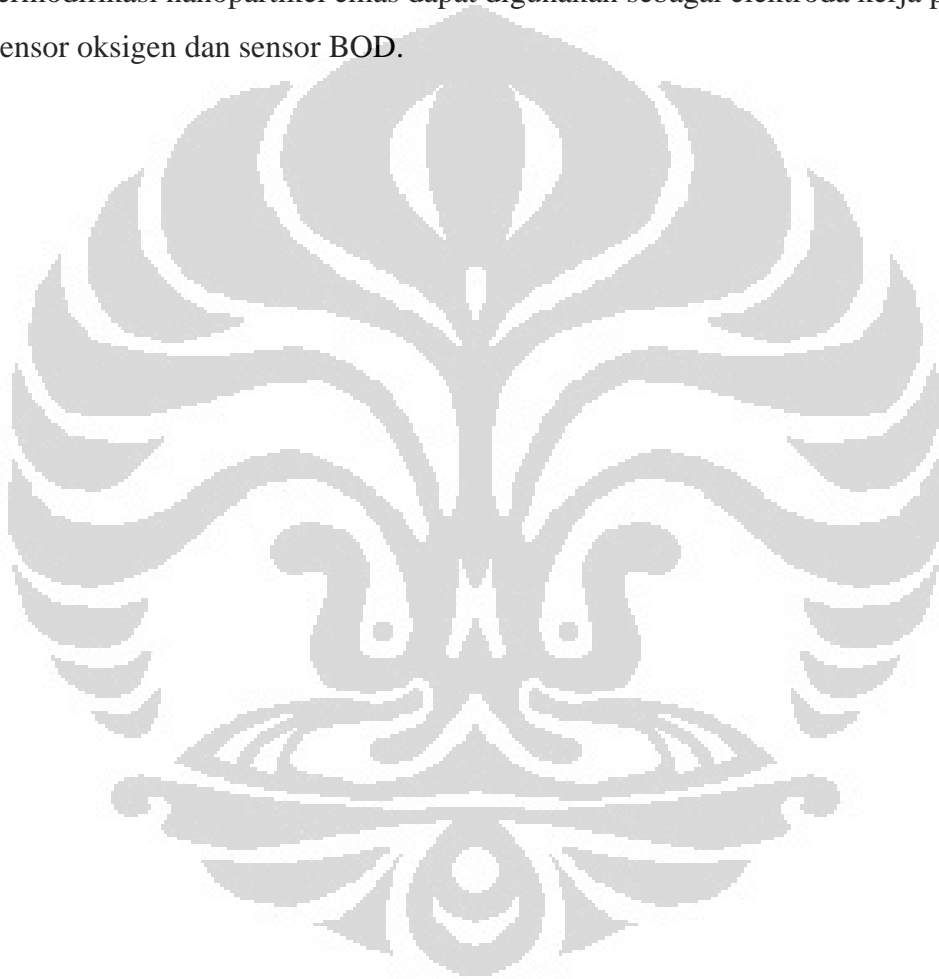
1. Apakah nanopartikel Au dapat disintesis dengan menggunakan zat penstabil tiol ?
2. Apakah nanopartikel Au-tiol yang telah disintesis dapat digunakan untuk memodifikasi plastik melalui jembatan tiol ?
3. Apakah plastik termodifikasi nanopartikel emas yang terbentuk dapat digunakan sebagai sensor oksigen dan sensor BOD ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari modifikasi permukaan plastik dengan nanopartikel emas serta mengaplikasikannya untuk sensor oksigen dan sensor BOD

### **1.4 Hipotesis**

Plastik dapat dimodifikasi dengan nanopartikel emas. Plastik yang telah termodifikasi nanopartikel emas dapat digunakan sebagai elektroda kerja pada sensor oksigen dan sensor BOD.

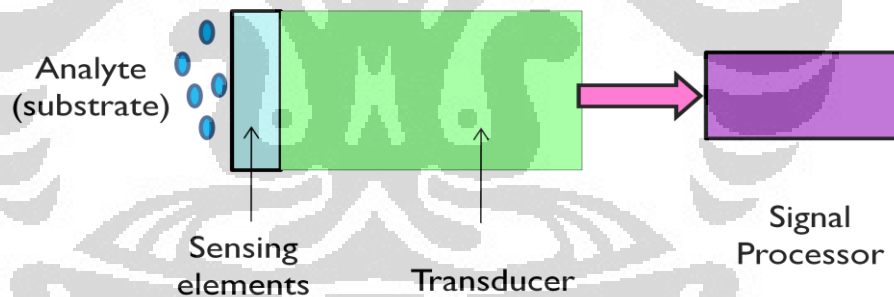


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sensor Kimia

Sensor kimia merupakan instrumen analisis yang dilengkapi suatu molekul pengenal, berupa material biologis atau senyawa kimia, yang secara langsung diubah menjadi sinyal elektrik oleh suatu pengubah sinyal (*transducer*). *Transducer* adalah alat yang dapat mengubah proses pengenalan molekul pengenal terhadap suatu analit menjadi data elektrik dengan menggunakan prinsip elektrokimia. Informasi berupa respon kimia yang akan ditangkap *transducer* kemudian akan diubah sebagai informasi berupa signal yang diterima dan diolah oleh detektor. Hasil kerja alat tersebut dapat dibaca dan digunakan untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah analit. Sinyal yang terbentuk selanjutnya dihubungkan dengan konsentrasi analit tersebut. Berikut ini diagram sensor kimia secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram sensor kimia

[Sumber : Eggins, 2007]

#### 2.2. Elektrokimia

Elektrokimia adalah bidang ilmu kimia yang mempelajari perubahan energi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya. Sel elektrokimia adalah tempat terjadinya aliran elektron yang ditimbulkan oleh perubahan energi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya. Hal ini dimungkinkan dengan pemisahan reaksi oksidasi dan reduksi suatu reaksi redoks. Dua macam sel elektrokimia,

yaitu sel volta (atau disebut juga sel galvanic) dan sel elektrolis. Kerja sel elektrokimia bergantung pada reaksi elektrokimia yang terjadi.

Reaksi elektrokimia merupakan suatu reaksi kimia yang diakibatkan oleh adanya perbedaan potensial atau ketika suatu beda potensial dihasilkan akibat adanya reaksi kimia. Proses elektrokimia pada dasarnya adalah suatu reaksi redoks yaitu energi dihasilkan oleh reaksi yang spontan untuk menghasilkan arus listrik atau ketika adanya arus listrik dapat menstimulasi terjadinya reaksi kimia. Dalam reaksi redoks terjadi suatu perubahan bilangan oksidasi dari atom atau ion akibat terjadinya transfer elektron. Reaksi oksidasi-reduksi ini akan menghasilkan atau menangkap elektron. Proses penangkapan atau pelepasan elektron ini akan menghasilkan arus dengan besar tertentu yang dapat diukur. Besarnya arus yang dihasilkan ini akan sebanding dengan konsentrasi analit yang diukur. Setiap senyawa akan memiliki potensial reduksi tertentu.

Suatu sel elektrokimia umumnya terdiri dari larutan elektrolit dan tiga jenis elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda pendukung, dan elektroda pembanding. Elektroda dapat diatur (dimodifikasi) untuk mengembangkan tingkat reaksinya dan memperlama rentang life-timanya.

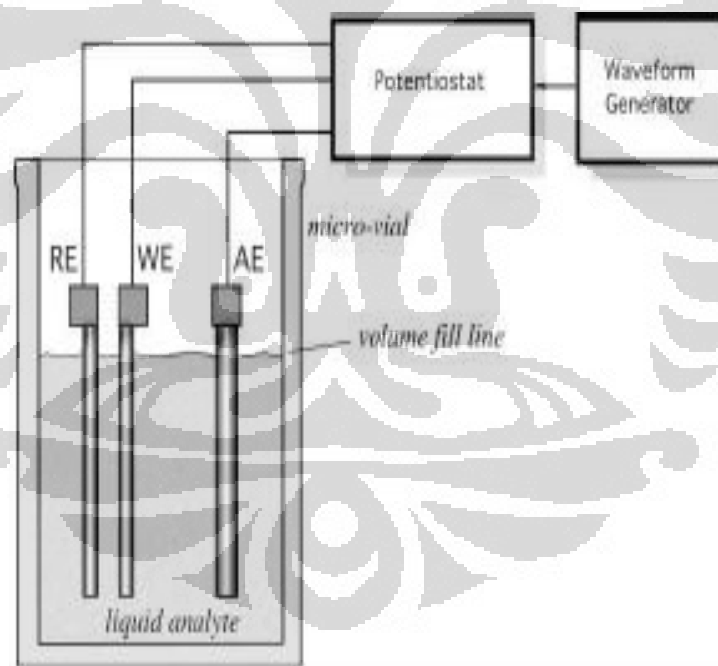
Elektroda kerja (*working electrode/WE*) adalah tempat terjadinya reaksi redoks. Kualitas elektroda kerja bergantung pada dua faktor yaitu reaksi redoks dari analit dan arus latar pada rentang potensial yang dibutuhkan dalam pengukuran. Elektroda kerja harus memiliki syarat-syarat seperti memiliki respon arus yang berulang, rentang potensial yang lebar, konduktivitas listrik yang baik, dan permukaan elektroda yang *reproducible*. Elektroda yang sering digunakan adalah elektroda merkuri, karbon, dan logam mulia.

Elektroda pembanding (*Reference Electrode/RE*) merupakan elektroda dengan harga potensial setengah sel yang diketahui, konstan, dan tidak bereaksi terhadap komposisi larutan yang sedang diselidiki. Elektroda pembanding memberikan potensial yang stabil terhadap elektroda kerja yang dibandingkan. Elektroda pembanding yang biasa digunakan adalah elektroda kalomel (SCE) dan elektroda Ag/AgCl.

Elektroda pendukung (*Counter Electrode/CE*) adalah elektroda yang berperan sebagai sumber atau tempat masuknya elektron sehingga arus dapat dilewatkan melalui sel. Elektroda pendukung yang biasa digunakan adalah platina (Pt) yang dapat berupa kawat lurus, kawat spiral, atau cakram (*disk*). Zat lain yang bersifat inert seperti karbon grafit pun dapat juga digunakan sebagai elektroda pendukung.

Larutan elektrolit merupakan larutan asam, basa, atau garam yang terdisosiasi menjadi ion dan terlarut dalam air. Larutan elektrolit harus dapat menghantarkan arus listrik dan tidak bereaksi dengan analit sehingga tidak mengganggu reaksi redoks yang terjadi. Larutan elektrolit yang biasa digunakan adalah larutan buffer asetat, buffer fosfat, dan lain-lain.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bagan sel elektrokimia dengan tiga elektroda yang terlibat :



Gambar 2.2 Bagan sel elektrokimia

Dalam metode analisis, terdapat tiga jenis metode elektrokimia yang biasa digunakan, yaitu konduktometri, potensiometri, dan voltametrik (amperometri). Konduktometri mengukur perubahan hantaran yang timbul antara dua buah elektroda, potensiometri mengukur perbedaan potensial antara sampel dengan pembanding, di sini dilakukan monitor akumulasi muatan yang dihasilkan karena

pengikatan selektif pada permukaan elektroda, sedangkan amperometrik mengukur arus yang dihasilkan dari reaksi redoks pada potensial tertentu (Nathanael, 2011).

### 2.3. Voltametri

Voltametri adalah metode elektrokimia yang mengamati keadaan arus – potensial. Voltametri berdasar pada pengukuran terhadap arus yang timbul dari hasil reaksi akibat pemberian potensial pada elektroda kerja. Timbulnya arus disebabkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi pada permukaan elektroda. Arus yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Voltametri merupakan suatu metode analisis menggunakan teknik potensial terkontrol yaitu pengukuran respon analit dengan pemberian potensial pada elektroda. Respon arus yang dihasilkan berasal dari transfer elektron selama proses redoks dari analit.

Reaksi yang terjadi adalah :



*Ket:* Oks dan Red merupakan bentuk analit dalam keadaan oksidasi dan reduksi, dan n menunjukkan jumlah elektron yang terlibat.

Secara termodinamika potensial elektroda dapat digunakan untuk menentukan jenis (analisis kualitatif) dan jumlah (analisis kuantitatif) reaksi yang terjadi berdasarkan persamaan Nerst, sebagai berikut :

$$E = E^0 + \frac{2,303 RT}{nF} \log \frac{C_O}{C_R}$$

*Ket:*  $E_0$  = potensial standar reaksi redoks yang terjadi,

R = tetapan gas mutlak,

T = temperatur (K),

F = bilangan Faraday.

Arus yang dihasilkan dari reaksi redoks tersebut dinamakan arus Faraday, karena mengikuti hukum Faraday (1 mol bahan memberikan  $n \times 96478$  Coloumb listrik). Hasil *plot* arus Faraday *versus* potensial dinamakan voltamogram. Ion-ion

$M^{n+}$  (analit) dalam larutan elektrolit akan bergerak menuju permukaan elektroda ketika potensial diterapkan (Apriliani, 2009).

Beberapa tipe voltametri di antaranya adalah: *cathodic stripping voltammetry* (voltametri pelucutan katoda), *anodic stripping voltammetry* (voltametri pelucutan anoda), *adsorptive stripping voltammetry* (voltametri pelucutan adsorpsi), dan *cyclic voltammetry* (voltametri siklis). Penggunaan masing-masing jenis voltametri ini tergantung dari tujuan analisis.

### 2.3.1 Amperometri (*Multi Pulse Amperometry*)

Metoda amperometri merupakan suatu metoda analitik yang memanfaatkan potensial reduksi dari suatu reaksi oksidasi-reduksi yang terjadi pada spesi analit. Reaksi oksidasi-reduksi ini akan menghasilkan atau menangkap elektron. Proses penangkapan atau pelepasan elektron ini akan menghasilkan arus dengan besar tertentu yang dapat diukur. Besarnya arus yang dihasilkan ini akan sebanding dengan konsentrasi analit yang diukur.

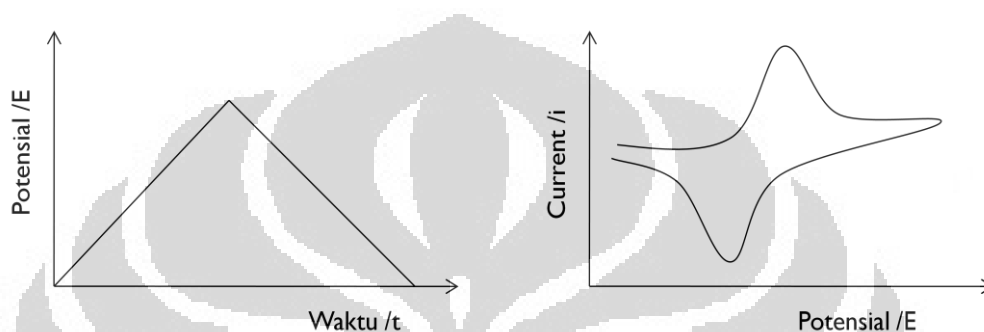
Setiap senyawa akan memiliki potensial reduksi tertentu. Metoda amperometri menggunakan potensial tetap yang merupakan potensial reduksi dari senyawa analit. Analisis dilakukan terhadap respon arus yang dihasilkan terhadap konsentrasi analit yang ada dalam sampel. Hal ini dilakukan terhadap konsentrasi analit yang diketahui dengan pasti dengan tujuan untuk mengkarakterisasi respon dari sensor yang dibuat.

Sensor oksigen amperometrik bekerja berdasarkan pengukuran arus reduksi oksigen pada elektroda kerja pada potensial kerja tertentu. Jumlah oksigen yang tereduksi pada katoda platina proporsional dengan kuat arusnya, sehingga besar kuat arus bisa dijadikan parameter konsentrasi oksigen. Sebelum pengukuran amperometrik dapat dilakukan, diperlukan penentuan potensial kerja terlebih dahulu dengan menggunakan pengukuran *cyclic voltametry*.



### 2.3.2 Voltametri Siklis (*Cyclic Voltammetry*)

Voltametri siklis adalah teknik yang digunakan untuk memperoleh informasi kualitatif tentang reaksi elektrokimia. Bentuk gelombang potensial yang digunakan pada analisis elektrokimia merupakan bentuk gelombang linear, yaitu potensial yang secara kontinyu diubah sebagai fungsi linear terhadap waktu. Berikut ini bentuk kurva yang dihasilkan pada voltametri siklis yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Voltamogram siklis

[ Sumber :Eggin, 2007 ]

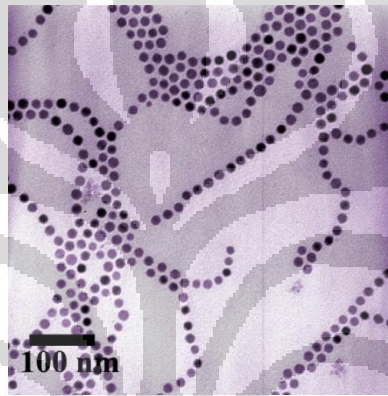
Untuk menghasilkan sebuah voltamogram, variasi potensial diberikan kedalam larutan (medium) yang diuji, perubahan kuat arus diukur selama terjadi perubahan potensial tersebut. Puncak arus (*current peak*) yang terlihat pada voltamogram dapat merupakan oksidasi atau reduksi dari analit dalam jangkauan potensial yang berlangsung. Sebagai contoh, pada saat terjadi reduksi yaitu ketika potensial menjangkau potensial reduksi analit maka kuat arus akan meningkat, akan tetapi kuat arus akan menurun ketika konsentrasi analit pada permukaan elektroda berkurang. Hal yang sama berlaku pula pada puncak arus untuk oksidasi. Melalui teknik *cyclic voltametry* ini dapat diperoleh data berupa nilai potensial kerja dari reduksi oksigen dengan membaca besarnya nilai potensial saat puncak arus katodik dihasilkan.

### 2.4. Nanopartikel

Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam menciptakan material, struktur fungsional, maupun piranti alam skala nanometer. Material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari

material berukuran besar (*bulk*). Disamping itu material dengan ukuran nanometer memiliki sifat yang kaya karena menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh material ukuran besar. Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah dengan melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel (Z.H., Astuti, 2007).

Material nanopartikel adalah material-material buatan manusia yang berskala nano, yaitu lebih kecil dari 100 nm, termasuk di dalamnya adalah nanodot atau quantum dot, nanowire dan carbon nanotube. Berikut ini contoh hasil foto TEM untuk nanopartikel kobalt yang dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Hasil foto TEM nanopartikel kobalt

[ Sumber : [http://www.nist.gov/public\\_affairs/techbeat/tb2005\\_1020.htm](http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2005_1020.htm) ]

Nanopartikel dapat disintesis melalui berbagai metode salah satunya adalah melalui jalur kimia yaitu dengan kehadiran *stabilizer* (zat penstabil, *capping agent* dan *passivating agent*) seperti ligan organik (tiol, amina, fosfat), surfaktan, polimer, dan poliooksoanion. *Stabilizer* berfungsi untuk mencegah pertumbuhan partikel yang tidak terkontrol, mencegah agregasi partikel, mengontrol kecepatan pertumbuhan, mengontrol ukuran partikel, dan membuat partikel larut dalam berbagai pelarut (Yulizar, 2004). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil sintesis nanopartikel yang diperoleh, diantaranya jenis zat penstabil yang digunakan, pH larutan, lamanya perlakuan panas, dan konsentrasi reaktan. Karakteristik nanopartikel dapat dilakukan menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM), UV-Vis dan *Particle Size Analyzer* (PSA).

### 2.4.1 Nanopartikel Emas (Au)

Emas dalam bentuk *bulk* adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Au (Latin: *aurum*) dan nomor atom 79. Emas tidak bereaksi dengan zat kimia lainnya tapi bereaksi dengan klorin, fluorin dan aqua regia. Nanopartikel emas merupakan salah satu nanopartikel logam yang disintesis melalui reduksi ion logam ( $\text{Au}^{3+}$ ) menjadi logam yang tidak bermuatan ( $\text{Au}^0$ ) menggunakan zat pereduksi seperti  $\text{NaBH}_4$ . Sintesis nanopartikel terjadi dengan adanya transfer elektron dari zat pereduksi terhadap ion logam. Nanopartikel Au umumnya tidak stabil karena memiliki energi permukaan yang besar sehingga perlu distabilkan dengan zat penstabil contohnya tiol. Melalui modifikasi permukaan nanopartikel Au dengan tiol maka terbentuk ikatan antara S-Au yang kuat dan cukup stabil untuk mencegah agregasi partikel.

Hasil sintesis nanopartikel emas mempunyai warna yang bervariasi dari merah ke ungu tergantung pada ukuran partikelnya. Warna-warna yang timbul merupakan hasil frekuensi pita plasmon yang berada pada daerah visible yang menyerap warna biru dan memantulkan warna merah (Winter, 2007). Pada bidang elektrokimia, nanopartikel emas umumnya dimanfaatkan sebagai elektroda kerja.

### 2.5. Polipropilena

Polipropilena (PP) dikenal dengan nama lain polipropena (*polypropene*) merupakan polimer yang bersifat termoplastik yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Thermoplastik disebut juga plastik komoditi dan sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai – buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas. Polipropilena digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer.

Plastik polipropilena merupakan polimer adisi yang dibuat dari monomer propilena ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ) dan memiliki sifat resistan yang tidak biasa terhadap kebanyakan pelarut kimia, basa dan asam. Polipropilena juga mempunyai sifat isolator yang baik, mudah diproses dan sangat tahan terhadap air karena sedikit sekali menyerap air, dan sifat kekakuan yang tinggi (Khairunizar, 2009).

## 2.6. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

*Biochemical oxygen demand* (BOD) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. BOD dapat digunakan sebagai parameter kualitas air. Air yang tercemar akan mempunyai nilai BOD yang besar. Nilai BOD yang semakin besar menunjukkan semakin banyak oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme atau dengan kata lain zat organik yang terkandung dalam sampel semakin banyak jumlahnya (Salmin, 2005).

Pengukuran nilai BOD secara konvensional dapat dilakukan dengan cara mengukur selisih oksigen yang terlarut dalam sampel sebelum diinkubasi dan setelah diinkubasi. Proses inkubasi ini dilakukan pada suhu 20°C selama 5 hari (pada saat pertumbuhan mikroorganisme di dalam air dianggap mencapai konstan). Selama pengukuran BOD, sampel yang diperiksa harus bebas dari udara luar untuk mencegah kontaminasi dari oksigen yang ada di udara bebas (Hariyadi, 2004).

### 2.6.1 Oksigen

Oksigen adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Ia merupakan unsur golongan VI A dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Pada temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus  $O_2$  yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta. Oksigen memiliki konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^4$ , dua atom oksigen secara kimiawi berikatan dengan konfigurasi elektron triplet spin. Ikatan ini memiliki orde ikatan dua dan sering dijelaskan sebagai ikatan ganda.

Kelarutan oksigen dalam air bergantung pada suhu. Oksigen bebas juga terdapat dalam air sebagai larutan. Seberapa banyak oksigen yang terlarut dalam air sangat tergantung pada tekanan yang terdapat pada air. Semakin besar tekanan gas oksigen terhadap permukaan air semakin besar oksigen dapat larut dalam air. Selain itu, jumlah mineral dan suhu yang terdapat dalam air turut menentukan

jumlah oksigen yang dapat larut dalam air. Semakin besar jumlah mineral dalam air, semakin kecil oksigen yang dapat larut kedalam air. Semakin meningkat suhu air maka semakin menurun kadar oksigen yang dapat larut ke dalam air.

(Nathanael, 2011).

Kelarutan  $O_2$  pada temperatur yang rendah memiliki implikasi yang besar pada kehidupan laut. Air yang terkena polusi dapat mengurangi jumlah  $O_2$  dalam air tersebut. Para ilmuwan menaksir kualitas air dengan mengukur kebutuhan oksigen biologis atau jumlah  $O_2$  yang diperlukan untuk mengembalikan konsentrasi oksigen dalam air itu seperti semula.

Oksigen terlarut dalam larutan dapat mengalami reaksi redoks pada permukaan elektroda, sehingga terlihat puncak oksigen dalam voltamogram. Umumnya oksigen menghasilkan 2 puncak pada selang potensial yang cukup lebar bergantung pada kondisi pengukuran larutan analit. Puncak pertama diberikan oleh reaksi :



Puncak kedua timbul akibat reduksi dari hidrogen peroksida yang dihasilkan dari reaksi reduksi diatas :



### 2.6.2 Khamir

Fungi merupakan organisme yang heterotrof (menggunakan komponen organik sebagai sumber karbon), nonfototrof (tidak menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi) dan absorptive (menyerap nutrisi dari larutan). Kebanyakan fungi merupakan saprofit (mendapatkan nutrisi dengan cara mendekomposisi bahan organik yang sudah mati) tetapi beberapa di antaranya patogen terhadap tanaman dan hewan termasuk manusia (Triana, 2010).

Khamir merupakan bentuk pertumbuhan dari mikroorganisme eukariotik yang berada dalam kingdom fungi. Secara aseksual, genus khamir memperbanyak diri melalui pembelahan biner melintang dan bertunas. (Maryani, 2010). Khamir merupakan salah satu mikroorganisme yang berpotensi sebagai elemen biologi dalam biosensor. Penggunaan khamir sebagai elemen biologi memiliki kelebihan dibandingkan materi biologi lainnya. Biomassa khamir dapat diperoleh dengan mudah karena dapat ditumbuhkan pada medium yang murah, dapat dipanen dalam waktu singkat, kemampuan tumbuh pada berbagai variasi sumber karbon, dan kecepatan pertumbuhan yang tinggi sehingga biomassa dapat diperoleh dalam jumlah yang besar.

*Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y - 181 adalah khamir koleksi milik laboratorium mikrobiologi UI yang diisolasi dari perairan Teluk Jakarta. Khamir jenis ini dilaporkan pada penelitian sebelumnya dapat digunakan sebagai elemen biosensing untuk sensor BOD. *Rhodotorula mucilaginosa* adalah khamir kelompok basidiomycetes yang memiliki koloni berwarna jingga sampai merah, bertekstur mengkilat dan berlendir, tepi koloni rata, permukaan licin dan menggantung. *Rhodotorula mucilaginosa* bersifat aerob atau memerlukan oksigen untuk melakukan metabolisme (Dewangga, 2010). Oleh karena itu, khamir jenis ini dapat digunakan dalam pengukuran parameter BOD. Berikut adalah taksonomi dari *Rhodotorula mucilaginosa* :

*Scientific name* : *Rhodotorula rubra*

*Synonym* : *Rhodotorula mucilaginosa*, *Rhodotorula pilimanae*,  
*Sporobolomyces*  
*albo-rubescens*

<i>Kingdom</i>	: <i>Fungi</i>
<i>Sub Kingdom</i>	: <i>Dikarya</i>
<i>Phylum</i>	: <i>Basidiomycota</i>
<i>Subphylum</i>	: <i>Pucciniomycotina</i>
<i>sub kelas</i>	: <i>Microbotryomycetes</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Sporidiobolales</i>
<i>no rank</i>	: <i>mitosporic Sporidiobolales</i>
<i>Genus</i>	: <i>Rhodotorula</i>

## 2.7. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri merupakan metode analisis yang berdasarkan pengukuran serapan sinar monokromatis dari larutan berwarna pada panjang gelombang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dan detektor *fototube*. Dalam analisis secara spektrofotometri terdapat tiga daerah panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan yaitu:

- Daerah UV ;  $\lambda = 200 - 380 \text{ nm}$
- Daerah visible (tampak);  $\lambda = 380 - 700 \text{ nm}$
- Daerah inframerah (IR);  $\lambda = 700 - 0,3 \mu$

Prinsip kerja spektrofotometri berdasarkan hukum Lambert Beer, bila cahaya monokromatik ( $I_0$ ) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I_a$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ), dapat dinyatakan dengan  $I_0 = I_a + I_r + I_t$ . Ilustrasi jalannya sinar pada spektrofotometer dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini :



Gambar 2.5 Ilustrasi jalannya sinar pada spektrofotometer

Keterangan gambar :

$I_o$  = cahaya monokromatik

$I_a$  = cahaya yang diserap

$I_r$  = cahaya yang dipantulkan

$I_t$  = cahaya yang dipancarkan

Besarnya  $I_a$  oleh media tergantung pada kepekatan dan jenis media serta panjang media yang dilalui. Biasanya panjang media sudah tetap dalam suatu alat.

Persamaan hukum Lambert Beer adalah :

$$T = \frac{I_t}{I_o}$$

$$\log \frac{I_t}{I_o} = -\epsilon \cdot b \cdot c$$

$$\log T = -\epsilon \cdot b \cdot c$$

$$-\log T = \epsilon \cdot b \cdot c$$

$$-\log T = A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

dengan  $A$  = absorbansi dan  $T$  = transmittan. Transmittan adalah perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan ketika melewati sampel ( $I_t$ ) dengan intensitas cahaya mula-mula sebelum melewati sampel ( $I_o$ ).  $\epsilon$  adalah absorptivitas molar atau koefisien molar "extinction", nilainya dipengaruhi oleh sifat-sifat khas dari materi yang diradiasi. Jika konsentrasi dalam satuan gram/liter maka  $\epsilon$  dapat diganti dengan  $a$  disebut sebagai "absorptivitas spesifik". Jadi,  $A = \epsilon \cdot b \cdot c$ .

Spektrofotometer UV- *Visible* adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer merupakan gabungan dari alat optik dan elektronika serta sifat-sifat kimia fisiknya. Detektor yang digunakan dapat secara langsung mengukur intensitas dari cahaya yang dipancarkan ( $I_t$ ) dan secara tidak langsung cahaya yang diabsorpsi



(Ia). Tiap media akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawaan atau warna yang terbentuk.

### **2.8. FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)**

Karakterisasi dengan instrumen FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu sampel dan dianalisis secara kualitatif. Prinsip FTIR adalah serapan dari senyawa dengan tingkat energi vibrasi dan rotasi pada ikatan kovalen yang mengalami perubahan momen dipol dalam suatu molekul. Radiasi IR yang umumnya dipakai untuk analisis instrumental adalah daerah bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Bentuk dan struktur molekul menjadi penentu terjadinya interaksi radiasi IR dengan molekul. Hanya molekul diatomik tertentu misalnya  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  yang tidak dapat mengabsorpsi IR karena vibrasi dan rotasinya tidak menghasilkan perubahan momen dipol (Sunardi, 2007).

### **2.9. SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy*)**

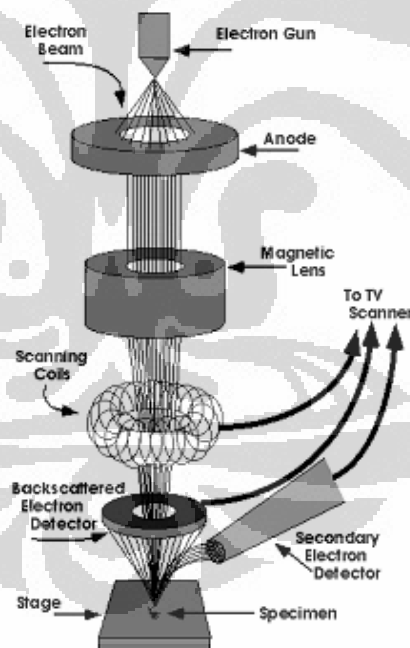
SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari sebuah permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan oleh SEM memiliki karakteristik penampilan tiga dimensi dan dapat digunakan untuk menentukan struktur permukaan dari sampel. Hasil gambar SEM hanya ditampilkan dalam warna hitam putih (Tovina, 2009). Dari Gambar 2.6 dapat dijelaskan prinsip kerja SEM yaitu menggunakan pemacu elektron (electron gun) sebagai pengganti sumber cahaya. Elektron-elektron ini akan diemisikan dengan membutuhkan kalor dari sumber elektron.

Syarat agar SEM dapat menghasilkan gambar permukaan yang tajam adalah permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron (bersifat konduktif). Material yang memiliki sifat demikian adalah logam. Jika permukaan logam diamati di bawah SEM, maka profil permukaan akan tampak jelas. Agar profil permukaan bukan logam (bersifat isolator) dapat diamati dengan jelas menggunakan SEM, maka permukaan material tersebut harus dilapisi dengan logam. Lapisan tipis logam dibuat pada permukaan material tersebut sehingga

**Universitas Indonesia**

dapat memantulkan berkas elektron. SEM memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan untuk menggambar area yang besar secara komparatif dari spesimen, kemampuan untuk menggambar materi *bulk* dan berbagai mode analitikal yang tersedia untuk mengukur komposisi dan sifat dasar dari spesimen (Abdullah, 2010).

Mikroskop SEM juga menggambarkan sebuah elektron *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) yang dapat digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dari suatu sampel. Ketika sebuah sampel difoto oleh SEM, sinar elektron juga diemisikan oleh sinar-X yang dibawa oleh EDS. Emisi sinar-X tiap unsur khas dalam energi dan panjang gelombangnya. Oleh karena itu unit EDS mampu menentukan tiap unsur yang merespon emisi tersebut. Data ini dapat ditambahkan pada gambar SEM untuk menghasilkan sebuah peta unsur yang sebenarnya dari permukaan sampel (Anshori, 2009).



Gambar 2.6 Prinsip kerja SEM

[Sumber : Rakhmatullah *et al.*, 2007]

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat**

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah gelas kimia, erlenmeyer, botol timbang, batang pengaduk, labu ukur, labu ekstraksi, pipet tetes, pipet ukur, buret, gelas ukur, tabung reaksi, dan jarum ose. Selain itu juga digunakan alat-alat instrumen seperti potensiostat, sonikator, autoklaf, inkubator shaker, oven, uv spectronic 20, alat sentrifuge.

Pengukuran spektrum plastik termodifikasi nanopartikel emas menggunakan spektrofotometer UV-Visible (Shimadzu), karakterisasi plastik termodifikasi nanopartikel emas dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan untuk menentukan ukuran nanopartikel emas yang terbentuk digunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

##### **3.1.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan adalah larutan hidrogen tetrakloroaurat ( $\text{HAuCl}_4$ ), 1-dodekanatiol ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SH}$ ), 1-butanatiol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$ ), natrium borohidrid ( $\text{NaBH}_4$ ), toluena ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), tetradekilamonium bromida ( $\text{N}(\text{C}_{10}\text{H}_{21})_4\text{Br}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), larutan buffer fosfat, gas  $\text{O}_2$ , gas  $\text{N}_2$ , *Rhodotorula mucilaginosa*, glukosa, yeast ekstrak, malt ekstrak, pepton, agar, dan aquademin.

#### **3.2 Prosedur kerja**

##### **3.2.1 Pembuatan larutan**

###### **3.2.1.1 Pembuatan larutan $\text{HAuCl}_4$ 0,01 M**

Larutan  $\text{HAuCl}_4$  disiapkan dengan menimbang  $\text{HAuCl}_4$  sebanyak 1 g, kemudian dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 250 mL.

### 3.2.1.2 Pembuatan larutan tetradekilamonium bromida 0,05 M

Padatan TDABr ditimbang sebanyak 1,6475 g dan dilarutkan dalam toluena dalam labu ukur 50 mL dan larutan disimpan dalam temperatur sejuk.

### 3.2.1.3 Pembuatan larutan $\text{NaBH}_4$ 0,4 M

$\text{NaBH}_4$  ditimbang sebanyak 0,378 g kemudian padatan dilarutkan dalam labu ukur 25 mL dengan aquades. Larutan ini dibuat *fresh* dan disimpan dalam wadah coklat pada temperatur sejuk.

### 3.2.1.4 Pembuatan larutan buffer fosfat pH 7

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  ditimbang sebanyak 0,6804 g dan  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  sebanyak 0,8710 g. Kemudian keduanya dicampur dan dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 100 mL.

### 3.2.1.5 Pembuatan larutan standar glukosa

Larutan standar glukosa dibuat dari larutan stok glukosa konsentrasi 10 mM sebanyak 500 mL dengan cara menimbang 0,9 g glukosa dan melarutkannya dalam akuades sampai volume 500 mL. Larutan ini disebut larutan stok 1, yang digunakan untuk membuat larutan stok 2, yang kemudian diencerkan dengan bufer fosfat dalam sel untuk membuat larutan standar 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 mM.

## 3.2.2 Sintesis nanopartikel Au-tiol

Larutan  $\text{HAuCl}_4$  0,01 M sebanyak 22,5 mL dicampur dengan larutan tetradekilamonium bromida (TDABr) 0,05 M sebanyak 20 mL dengan pengadukan kuat selama  $\pm 15$  menit. Fasa air dan fasa organik dipisahkan dan ditambahkan 37,5 mg dodekanatiol dalam 10 mL toluena kedalam fasa organik disertai pengadukan hingga homogen (larutan tetap berwarna merah jingga). Fasa organik yang telah tercampur dengan dodekanatiol ditambahkan larutan  $\text{NaBH}_4$  0,4 M sebanyak 6,25 mL hingga terbentuk 2 fasa. Proses pengadukan berlangsung hingga  $\pm 3$  jam. Fasa organik dengan fasa airnya dipisahkan dan dilakukan pemekatan fasa organik yang berwarna merah keunguan tersebut hingga  $\pm 10$  mL dengan menggunakan *rotary evaporator* selama 5 jam. Etanol dengan temperatur  $10^\circ\text{C}$  sebanyak 200 mL ditambahkan ke dalam fasa organik yang telah dipisahkan. Campuran ini didiamkan hingga 12 jam dalam temperatur  $10^\circ\text{C}$ .

Endapan ungu kehitaman yang terbentuk dipisahkan dan dicuci dengan etanol, lalu endapan ungu kehitaman dilarutkan dengan toluena sehingga diperoleh larutan berwarna merah keunguan.

### **3.2.3 Pengamatan kurva kestabilan nanopartikel Au**

Nanopartikel yang telah disintesis diamati kestabilannya dengan dilakukan pemantauan spektrum serapan pada daerah panjang gelombang 800 nm hingga 350 nm dengan menggunakan spektrofotometri UV-Visible. Pengamatan dilakukan terhadap panjang gelombang serapan maksimum dan absorbansi maksimum selama waktu tertentu.

### **3.2.4 Modifikasi polipropilena dengan nanopartikel Au**

#### **3.2.4.1 Preparasi lembaran polipropilena**

Lembaran plastik dibuat dengan ukuran 3 cm x 5 cm. Lembaran plastik siap digunakan.

#### **3.2.4.2 Modifikasi plastik polipropilena**

Lembaran plastik polipropilena yang telah dipersiapkan direndam dalam campuran larutan yang mengandung dodekanatiol sebanyak 0,1 g dan larutan nanopartikel Au sebanyak  $\pm 5$  mL. Perlakuan modifikasi permukaan plastik dilakukan dengan cara lembaran plastik direndam dalam larutan KOH 2,5 M selama 5 menit kemudian direndam dalam larutan yang mengandung nanopartikel Au selama 24 jam dan dilakukan pengeringan. Setelah modifikasi polipropilena berlangsung kemudian dilakukan karakterisasi dengan menggunakan SEM.

### **3.2.5 Menentukan korelasi waktu aerasi terhadap kadar oksigen**

#### **3.2.5.1 Metode elektrokimia**

Hubungan antara waktu aerasi gas O<sub>2</sub> terhadap kadar gas O<sub>2</sub> terlarut diidentifikasi dengan melakukan aerasi larutan buffer fosfat dengan gas N<sub>2</sub> selama  $\pm 30$  detik. Setelah itu, larutan buffer fosfat yang telah diaerasi dengan gas N<sub>2</sub> dilakukan aerasi dengan gas O<sub>2</sub> dengan variasi waktu aerasi 2, 4, 6, 8, 10, 12 s.

Setelah dilakukan aerasi  $O_2$ , dalam keadaan sistem tertutup dilakukan pengukuran kadar gas  $O_2$  terlarut dengan menggunakan DO meter.

### 3.2.5.2 Metode titrasi winkler

Hubungan antara waktu aerasi gas  $O_2$  terhadap kadar gas  $O_2$  terlarut diidentifikasi dengan melakukan aerasi larutan buffer fosfat dengan gas  $N_2$  selama  $\pm 30$  detik. Setelah itu, larutan buffer fosfat yang telah diaerasi dengan gas  $N_2$  dilakukan aerasi dengan gas  $O_2$  dengan variasi waktu aerasi 2, 4, 6, 8, 10, 12 s. Setelah dilakukan aerasi  $O_2$ , dalam keadaan sistem tertutup dilakukan pengukuran kadar gas  $O_2$  terlarut dengan metode titrasi winkler. Larutan buffer fosfat dalam botol yang telah diaerasi dengan gas  $O_2$  ditambahkan 1 mL  $MnSO_4$  dan 1 mL  $NaOH - KI$ , kemudian botol kocok dan biarkan selama 15 menit. Terjadi endapan, kemudian ditambahkan 1 mL  $H_2SO_4$  pekat dan dikocok sampai endapan tersebut larut. Larutan dari botol winkler sebanyak 25 mL diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, larutan dititrasi dengan larutan  $Na_2S_2O_3$  0,01 N sampai berwarna kuning bening. Indikator amilum 1% sebanyak 1 mL ditambahkan sampai terjadi perubahan warna dari kuning bening ke biru (karena ditambahkan indikator) lalu dititrasi kembali dengan larutan  $Na_2S_2O_3$  0,01 N hingga berubah warna larutan menjadi jernih.

### 3.2.6 Uji sensor oksigen dan sensor BOD

#### 3.2.6.1 Penentuan potensial kerja

Untuk menentukan potensial kerja yang akan digunakan pada pengukuran amperometrik, dilakukan pengukuran CV (*cyclic voltametry*) terhadap variasi waktu aerasi gas  $O_2$ . Pengukuran gas  $O_2$  dilakukan dalam larutan elektrolit buffer fosfat pH 7. Larutan buffer fosfat pH 7 sebanyak 5 mL dilakukan aerasi dengan gas  $N_2$  selama  $\pm 30$  detik. Setelah itu dilakukan aerasi gas  $O_2$  dengan variasi waktu aerasi gas  $O_2$  (2, 4, 6, 8, 10, 12 s). Laju alir gas yang digunakan sebesar 1 mL/s.

Pengukuran siklik voltametri sensor gas  $O_2$  dilakukan dengan rentang potensial -1000 mV hingga 1000 mV dan kecepatan pemindaian (*scan rate*) sebesar 100 mV/s. Elektroda yang digunakan di antaranya adalah emas sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan  $Ag/AgCl$  sebagai elektroda pembanding.

### 3.2.6.2 Pengujian sensor O<sub>2</sub>

Pengukuran amperometrik dilakukan terhadap variasi waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Pengukuran gas O<sub>2</sub> dilakukan dalam larutan elektrolit buffer fosfat pH 7. Larutan buffer fosfat pH 7 sebanyak 5 mL dilakukan aerasi dengan gas N<sub>2</sub> selama  $\pm 30$  detik. Setelah itu dilakukan aerasi gas O<sub>2</sub> dengan variasi waktu aerasi gas O<sub>2</sub> (2, 4, 6, 8, 10, 12 s). Laju alir gas yang digunakan sebesar 1 mL/s.

Pengukuran amperometri sensor gas O<sub>2</sub> dilakukan dengan potensial yang diperoleh dari pengukuran siklik voltametri yaitu sebesar  $-455$  mV dan waktu pengukuran 2 menit. Elektroda yang digunakan di antaranya adalah emas sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding.

### 3.2.6.3 Pengujian elektroda plastik@NPAu sebagai sensor O<sub>2</sub>

Identifikasi kemampuan elektroda plastik termodifikasi nanopartikel Au sebagai sensor oksigen dilakukan dengan pengukuran amperometri terhadap variasi waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Pengukuran gas O<sub>2</sub> dilakukan dalam larutan elektrolit buffer fosfat pH 7. Larutan buffer fosfat pH 7 sebanyak 5 mL dilakukan aerasi dengan gas N<sub>2</sub> selama  $\pm 30$  detik. Setelah itu dilakukan aerasi gas O<sub>2</sub> dengan variasi waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Laju alir gas yang digunakan sebesar 1 mL/s.

Pengukuran amperometri sensor gas O<sub>2</sub> dilakukan dengan potensial  $-455$  mV dan waktu pengukuran 2 menit. Elektroda yang digunakan di antaranya adalah plastik@NPAu sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding.

### 3.2.6.4 Sterilisasi alat

Alat-alat gelas yang akan digunakan untuk media pertumbuhan khamir seperti tabung reaksi, pipet, dan erlenmeyer, disterilisasi terlebih dahulu dalam oven 160°C selama 2 jam. Media untuk pertumbuhan khamir seperti YMA (*Yeast Malt Agar*) dan YMB (*Yeast Malt Broth*), dan aquademin juga perlu dilakukan sterilisasi didalam autoklaf 121°C selama 15 menit.

### 3.2.6.5 Penyiapan inokulum

1. Dalam proses ini digunakan sel mikroba berupa khamir dari spesies *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181 yang didapat dari Laboratorium Mikrobiologi UICC (Universitas Indonesia Culture Center)
2. Medium agar yang digunakan adalah *Yeast Malt Agar* (YMA) dengan komposisi glukosa 10 g/L, malt ekstrak 3 g/L, yeast ekstrak 3 g/L, pepton 5 g/L dan agar 15 g/L. Terlebih dahulu komponen dicampurkan dan dilarutkan dengan akuademin. Setelah larut kemudian dilakukan sterilisasi dalam autoklaf 121°C selama 15 menit.
3. Kultur yang diperoleh dimurnikan dengan metode cawan gores  
Cawan petri yang telah digores diinkubasi di dalam inkubator dengan suhu 30°C selama 2 hari. Setelah 2 hari, secara aseptik biakan yang berasal dari sel tunggal diambil dan dipindahkan ke dalam agar miring yang telah disiapkan. Biakan dalam agar miring diinkubasi kembali selama 2 hari pada suhu 30°C untuk dilakukan fermentasi. Suspensi sel dibuat dengan cara menuangkan 9 mL akuades steril ke dalam agar miring berisi biakan hasil permunian sebelumnya. Jarum ose digoreskan secara aseptik ke dalam tabung reaksi dan suspensi yang didapat ditempatkan dalam erlenmeyer steril kemudian diaduk menggunakan *mixer vortex*. Sebanyak 5 mL suspensi sel dimasukkan ke dalam 100 mL medium fermentasi YMB (*Yeast Malt Broth* = YMA tanpa agar) kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 24 jam dengan laju guncangan 120 rpm.



### 3.2.6.6 Penentuan jumlah sel khamir yang digunakan dengan metode kamar hitung (*Counting Chamber*)

Metode ini dilakukan dengan mengencerkan 10 mL suspensi sel yang didapat dari biakan agar miring dengan variasi pengenceran 50 kali, 100 kali, 200 kali, dan 500 kali. Masing-masing pengenceran dihitung jumlah sel khamir yang terdapat di dalamnya dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran 40x pada wadah *counting chamber* dan juga diukur nilai *optical density* dengan *UV spectronic 20* pada panjang gelombang 600 nm.

### 3.2.6.7 Pengujian sensor BOD

Identifikasi kemampuan elektroda emas untuk pengukuran nilai BOD dilakukan dengan pengukuran amperometri terhadap waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Pengukuran dilakukan dalam larutan elektrolit buffer fosfat pH 7. Larutan buffer fosfat pH 7 sebanyak 4 mL dilakukan aerasi dengan gas N<sub>2</sub> selama  $\pm$  30 detik. Setelah itu dilakukan aerasi gas O<sub>2</sub> selama 5 menit. Laju alir gas yang digunakan sebesar 1 mL/s.

Sebanyak 4 mL bufer fosfat pH 7 yang telah diaerasi dimasukkan ke dalam sel elektrokimia yang telah berisi khamir *Rhodotorula mucilaginosa*, kemudian dilakukan pengukuran amperometri. Nilai kuat arus dianggap sebagai I<sub>0</sub>, setelah itu ditambahkan 1 mL larutan glukosa 0,5 mM sehingga konsentrasi glukosa dalam sel elektrokimia menjadi 0,1 mM yang setara dengan 10 mg/L. Sistem dibiarkan selama lima menit sehingga terjadi asimilasi substrat yang diberikan. Setelah 5 menit, diukur kembali dengan amperometri, kemudian dicatat kuat arusnya sebagai I<sub>5</sub>. Selisih kuat arus antara I<sub>0</sub> dan I<sub>5</sub> dikorelasikan dengan konsentrasi substrat. Langkah tersebut diulangi untuk konsentrasi 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 mM.

Pengukuran amperometri dilakukan dengan potensial -554 mV dan waktu pengukuran 2 menit. Elektroda yang digunakan di antaranya adalah *bulk Au* sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding.

### 3.2.6.8 Pengujian elektroda plastik@NPAu sebagai sensor BOD

Identifikasi kemampuan elektroda plastik termodifikasi nanopartikel Au untuk pengukuran nilai BOD dilakukan dengan pengukuran amperometri terhadap waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Pengukuran dilakukan dalam larutan elektrolit buffer fosfat pH 7. Larutan buffer fosfat pH 7 sebanyak 4 mL dilakukan aerasi dengan gas N<sub>2</sub> selama ± 30 detik. Setelah itu melakukan aerasi gas O<sub>2</sub> selama 5 menit. Laju alir gas yang digunakan sebesar 1 mL/s.

Sebanyak 4 mL bufer fosfat pH 7 yang telah diaerasi dimasukkan ke dalam sel elektrokimia yang telah berisi khamir *Rhodotorula mucilaginosa*, kemudian dilakukan pengukuran amperometri. Nilai kuat arus dianggap sebagai I<sub>0</sub>, setelah itu ditambahkan 1 mL larutan glukosa 0,5 mM sehingga konsentrasi glukosa dalam sel elektrokimia menjadi 0,1 mM yang setara dengan 10 mg/ L. Sistem dibiarkan selama lima menit sehingga terjadi asimilasi substrat yang diberikan. Setelah 5 menit, diukur kembali dengan amperometri, kemudian dicatat kuat arusnya sebagai I<sub>5</sub>. Selisih kuat arus antara I<sub>0</sub> dan I<sub>5</sub> dikorelasikan dengan konsentrasi substrat. Langkah tersebut diulangi untuk konsentrasi 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 mM.

Pengukuran amperometri dilakukan dengan potensial -554 mV dan waktu pengukuran 2 menit. Elektroda yang digunakan di antaranya adalah plastik@NPAu sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sensor oksigen dan sensor BOD dengan memanfaatkan plastik termodifikasi nanopartikel emas sebagai elektroda kerja pada sel elektrokimia. Pengembangan sensor oksigen bertujuan untuk studi pendahuluan bagi sensor BOD. Sensor BOD berbasis elektrokimia yang dibuat dapat mempersingkat waktu pengukuran BOD (*biochemical oxygen demand*) selama 5 hari menjadi hitungan menit. Penggunaan sensor tersebut mudah dan praktis namun memiliki kekurangan yaitu kestabilan respon menurun setelah beberapa kali pengukuran. Pembuatan *disposable sensor* (sensor dapat buang) menggunakan plastik termodifikasi nanopartikel emas dilakukan untuk menjamin akurasi pengukuran (Tribidasari, 2011).

#### 4.1 Nanopartikel Emas

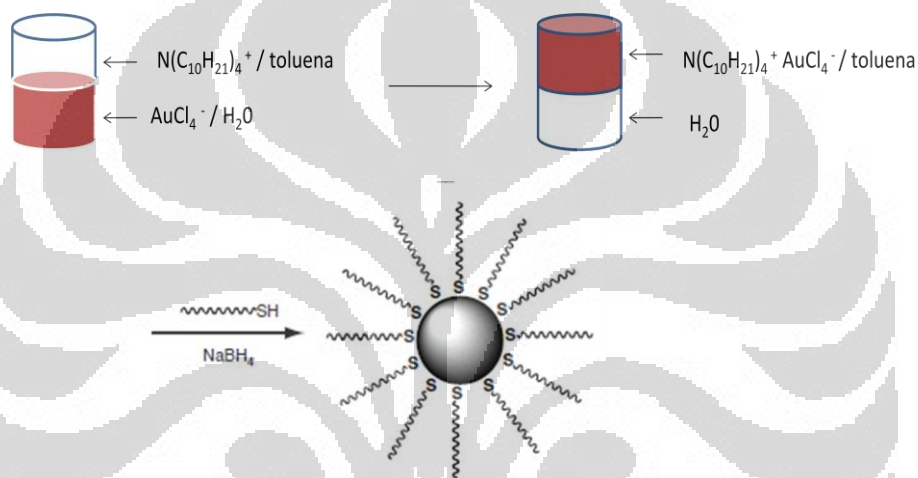
##### 4.1.1 Sintesis Nanopartikel Au-Tiol

Nanopartikel logam dapat disintesis melalui jalur kimia yaitu dengan mereduksi ion logam menjadi logam yang tidak bermuatan dengan kehadiran zat pereduksi seperti  $\text{NaBH}_4$  dan juga *stabilizer* ( zat penstabil, *capping agent* ). Nanopartikel emas yang terbentuk diperoleh akibat adanya transfer elektron dari zat pereduksi  $\text{NaBH}_4$  menuju ion Au ( $\text{Au}^{3+}$ ) menjadi atom  $\text{Au}^0$  (netral) . Penggunaan *stabilizer* seperti ligan organik (tiol, amina, fosfat) berfungsi untuk mencegah agregasi partikel dan mengontrol ukuran partikel.

Pada penelitian ini,  $[\text{AuCl}_4]^-$  yang akan direduksi terlebih dahulu diselimuti oleh zat penstabil dodekanatiol. Dodekanatiol memiliki gugus alkil rantai panjang dan gugus S-H (tiol) yang cenderung nonpolar sehingga digunakan metode Brust-Schiffrin. Ilustrasi pembuatan nanopartikel emas berdasarkan metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Pada sintesis nanopartikel emas menggunakan metode Brust-Schiffrin ini, partikel Au yang terlarut dalam fasa air akan diekstrak ke fasa organik dengan kehadiran tetradekil amonium bromida (TDABr) yang terlarut dalam toluena.

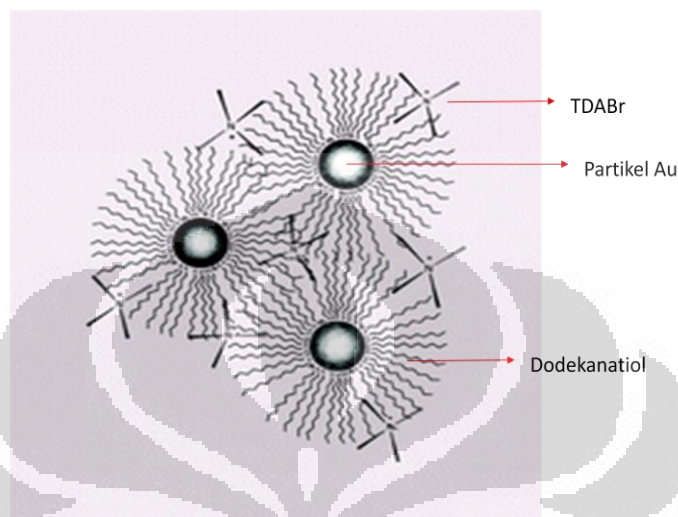
Tetradekil ammonium bromida merupakan surfaktan yang memiliki gugus polar pada amonium ( $N^+$ ) dan gugus nonpolar pada gugus alkil sehingga dapat berperan sebagai pengekstrak  $AuCl_4^-$  ke fasa organik, dimana terjadi interaksi antara  $AuCl_4^-$  dengan  $TDA^+$  berupa interaksi ionik yaitu terjadi gaya tarik menarik antara gugus  $AuCl_4^-$  dengan gugus  $TDA^+$  yang berdekatan. Tahapan mengekstrak  $AuCl_4^-$  ke fasa organik dilakukan dikarenakan zat penstabil dodekanatiol merupakan senyawa yang cenderung nonpolar. Setelah terbentuk 2 fasa yaitu fasa organik berwarna merah jingga dan fasa air yang berwarna bening menandakan bahwa  $AuCl_4^-$  telah terekstrak seluruhnya ke fasa organik.



Gambar 4.1 Ilustrasi sintesis nanopartikel Au-tiol berdasarkan metode Brust-Schiffrin

Tahapan selanjutnya adalah menambahkan zat penstabil dodekanatiol dan pereduksi  $NaBH_4$ . Gugus S-H (tiol) dapat berinteraksi secara spesifik dan stabil dengan nanopartikel Au, Au berikatan dengan S sebagai pasangan asam basa lewis, yaitu Au bertindak sebagai penerima pasangan elektron (asam lewis) dan gugus S-H bertindak sebagai donor pasangan elektron (basa lewis) (Dien, 2011). Interaksi antara nanopartikel emas dan gugus tiol tersebut akan dapat mencegah terjadinya agregasi antar sesama nanopartikel emas. Interaksi yang terjadi yaitu terciptanya Gaya London berupa gaya tarik menarik antara molekul nonpolar yang berdekatan, elektron yang berasal dari molekul dodekanatiol akan bergerak secara acak mengelilingi nanopartikel emas sehingga suatu saat salah satu sisi partikel akan lebih banyak elektron dibanding sisi lainnya dan partikel tersebut

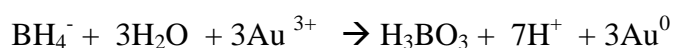
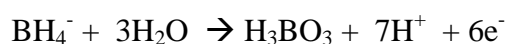
membentuk dipol sesaat. Interaksi lemah yang terjadi tersebut memungkinkan pelekatan dodekanatiol yang semakin kuat pada permukaan nanopartikel emas dan mencegah terjadinya agregasi antar nanopartikel emas. Gambaran nanopartikel emas yang terselimuti oleh dodekanatiol dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Ilustrasi nanopartikel emas yang distabilkan dodekanatiol

[Sumber : Waters, Cecilia A et.al, 2003]

Setelah itu,  $\text{Au}^{3+}$  direduksi dengan zat pereduksi  $\text{NaBH}_4$  yang tergolong zat pereduksi yang kuat dikarenakan  $\text{BH}_4^-$  dapat berperan sebagai donor pasangan elektron. Kehadiran zat pereduksi yang kuat menghasilkan inti partikel dalam jumlah yang besar sehingga terbentuk partikel emas yang lebih kecil dan relatif seragam. Meskipun demikian, partikel yang sangat kecil dan dalam jumlah banyak cenderung mengalami agregasi. Dengan kehadiran zat penstabil (*capping agent*) dan proses pengadukan yang kuat maka atom emas akan selalu bergerak dengan cepat dan kontinyu sehingga dapat mengurangi interaksi nanopartikel membentuk agregat. Proses pengadukan berlangsung  $\pm 3$  jam sehingga  $\text{Au}^{3+}$  dapat tereduksi seluruhnya membentuk atom  $\text{Au}^0$  (netral). Proses pengadukan yang cenderung lama bertujuan mengoptimalkan reaksi antara  $\text{Au}^{3+}$  dengan  $\text{NaBH}_4$  yang berbeda fasa. Adapun reaksi reduksi yang terjadi adalah :



Ketika  $\text{Au}^{3+}$  telah tereduksi seluruhnya maka diperoleh produk kasar yang berwarna merah keunguan. Kemudian melakukan pemekatan hingga volume larutan menjadi  $\pm 10$  ml dengan rotary evaporator. Proses ini berlangsung selama  $\pm 5$  jam dan bertujuan untuk membantu menguapkan pelarut toluena. Setelah proses pemekatan, maka produk yang diperoleh dicampur dengan etanol dan disimpan dalam suhu  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam sehingga diperoleh endapan berwarna ungu kehitaman. Selanjutnya endapan yang diperoleh didekantasi dan dicuci dengan etanol berulang kali dan sisa etanol yang terdapat pada endapan dikeringkan dengan cara dilairi udara dalam temperatur ruang. Pencampuran produk dengan etanol bertujuan untuk menghilangkan kelebihan dodekanatiol dan TDABr yang tersisa. Setelah sisa etanol menguap, endapan dilarutkan dengan toluena hingga 10 ml sehingga diperoleh larutan nanopartikel emas berwarna merah keunguan. Hasil warna larutan nanopartikel tersebut sesuai dengan yang diperoleh Berios-Garcia, Egardo et.al. (2010) dan Cecillia, A.Waters et.al (2003). Berikut ini adalah tampilan foto sintesis nanopartikel Au-tiol :



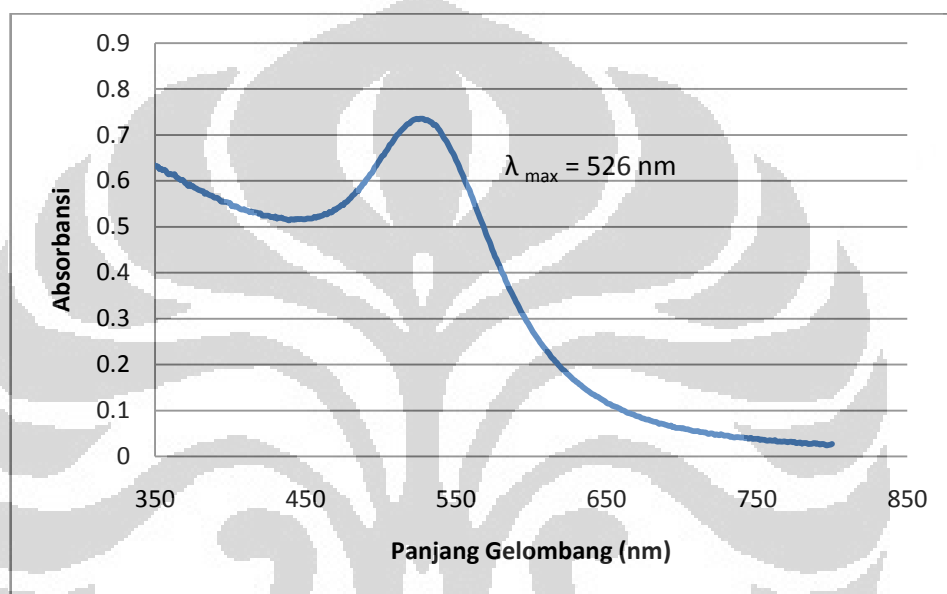
Gambar 4.3 Foto larutan nanopartikel Au-tiol

Warna merah yang terbentuk mengindikasikan telah terjadinya reduksi dari  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ . Terbentuknya warna merah tersebut dikarenakan adanya *surface plasmon resonance* (SPR) pada daerah *visible*. SPR terjadi akibat osilasi elektron pita konduksi dari nanopartikel emas akibat terjadinya iradiasi cahaya *visible*. Nanopartikel yang berukuran kecil akan mengabsorpsi cahaya pada daerah spectrum *blue-green* ( $\sim 400 - 500$  nm) sementara spektrum merah ( $\sim 700$  nm) merupakan komplemen dari spektrum yang terabsorpsi sehingga dapat terlihat oleh mata (Winter, 2007).

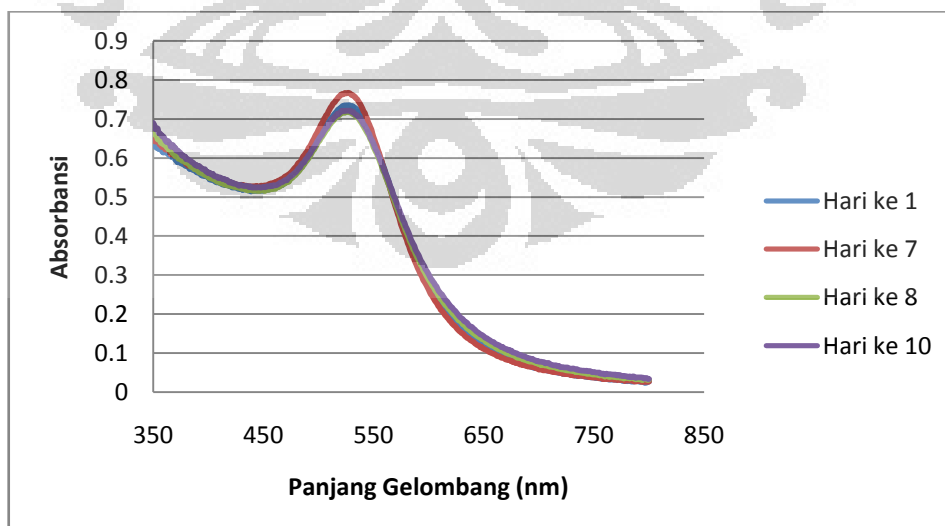
## 4.1.2 Karakterisasi Nanopartikel Au-Tiol

### 4.2.2.1 Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis

Nanopartikel emas yang telah dibuat dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis) pada panjang gelombang 350 – 800 nm. Spektrum serapan UV-Vis pada Gambar 4.4 menunjukkan absorbansi maksimum pada 0,735 dan panjang gelombang 526 nm. Absorbansi maksimum pada panjang gelombang tertentu menunjukkan ukuran nanopartikel emas yang disintesis.

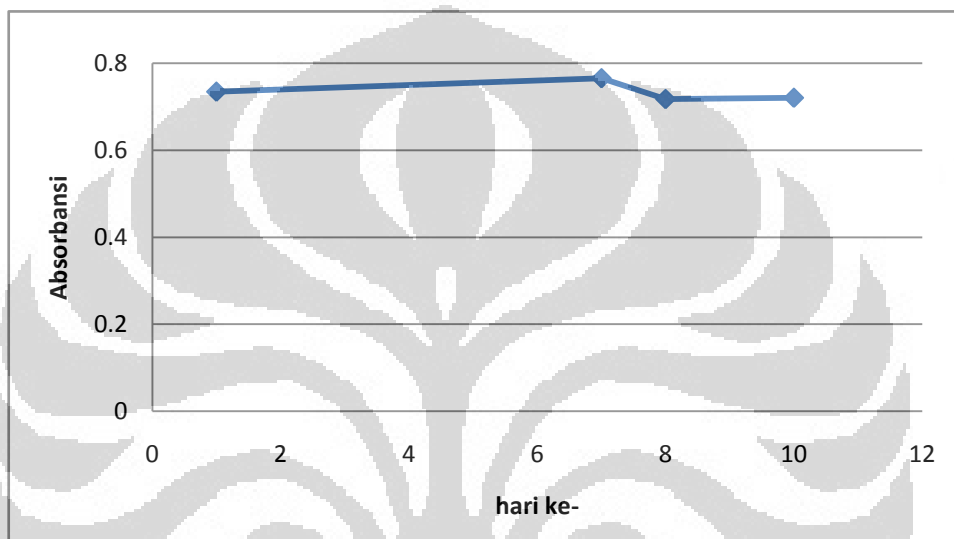


Gambar 4.4 Spektra serapan UV-Vis larutan nanopartikel Au-tiol

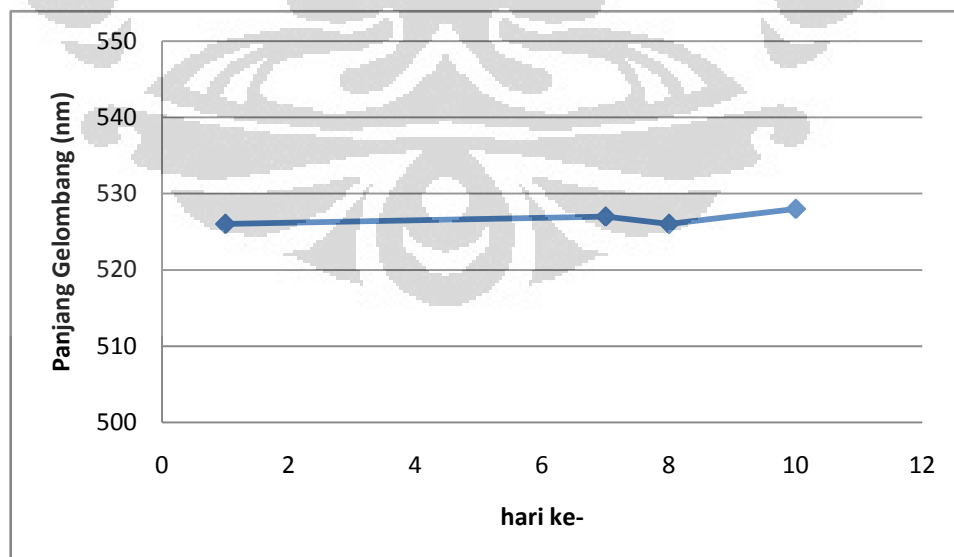


Gambar 4.5 Spektra serapan UV-Vis nanopartikel Au-Tiol pada selang waktu tertentu

Pada Gambar 4.5 menunjukkan tampilan spektra serapan UV-Vis dari nanopartikel Au-tiol saat selang waktu tertentu. Panjang gelombang nanopartikel Au-tiol yang diperoleh menunjukkan nilai berturut-turut 526, 527, 526, 528 nm. Hal ini menandakan tidak terjadi perubahan yang signifikan seiring bertambahnya waktu dan dapat disimpulkan nanopartikel emas yang dibuat relatif stabil. Kurva kestabilan nanopartikel Au-tiol berdasarkan nilai absorbansi dan panjang gelombang maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7



Gambar 4.6 Kurva kestabilan nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu

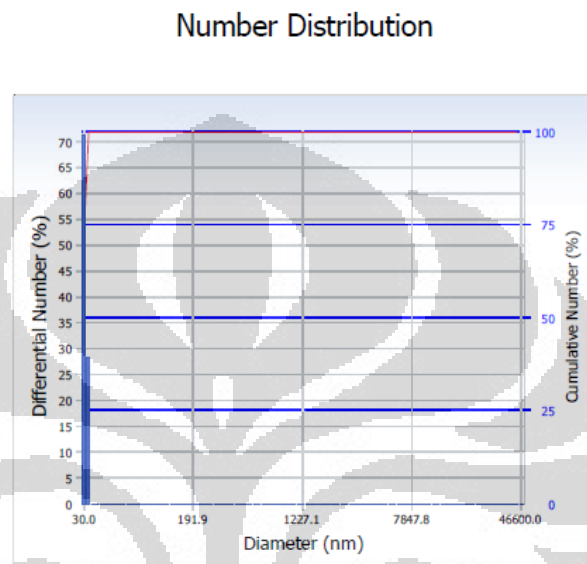


Gambar 4.7 Kurva pergeseran panjang gelombang maksimum nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu



#### 4.2.2.2 Karakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Nanopartikel emas yang telah dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis selanjutnya dikarakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran nanopartikel emas tersebut. Pada Gambar 4.8 menunjukkan data hasil PSA dengan ukuran nanopartikel Au-Tiol sebesar 30,7 nm.



Gambar 4.8 Hasil PSA nanopartikel Au-Tiol

## 4.2 Plastik

### 4.2.1 Preparasi Modifikasi Plastik dengan Nanopartikel Au-Tiol

Plastik yang akan dimodifikasi diperkirakan tersusun dari komposit polipropilena (PP). Plastik tersebut sulit ditentukan jenisnya melalui spektrum IR dikarenakan plastik yang digunakan untuk modifikasi bukanlah plastik polipropilena murni melainkan plastik polipropilena yang sudah mengandung zat aditif. Oleh sebab itu, spektra serapan IR yang diperoleh sudah ada interferensi dari zat aditifnya dan sulit menentukan spektra serapan yang khas untuk polipropilena.

Pada polimer polipropilena, rantai polimer yang terbentuk dapat tersusun membentuk daerah kristalin (molekul tersusun teratur) dan bagian lain membentuk daerah amorf (molekul tersusun secara tidak teratur). Sifat kristalin rendah menyebabkan tingginya kadar oksigen pada bahan tersebut sehingga bahan

polimer ini mudah terdegradasi oleh pengaruh lingkungan seperti kelembaban cuaca, radiasi sinar matahari dan lain sebagainya. Penambahan zat aditif pada plastik bertujuan sebagai zat penstabil karena struktur kimia polipropilena yang tidak tahan terhadap oksidasi termal maupun foto oksidasi yang dapat menyebabkan terjadinya degradasi pada struktur plastik. Macam – macam zat aditif yang diperkirakan terdapat pada plastik ini di antaranya adalah antioksidan, penyerap dan stabilisator terhadap sinar UV dan *thermal* stabilisator (Wibowo, 1985).

Karakterisasi plastik dilakukan dengan spektrum FTIR yang hasil spektrumnya dapat dilihat pada lampiran 7. Karakterisasi plastik polipropilena dengan spektrum FTIR menunjukkan bahwa terdapat pita serapan yang timbul di antaranya adalah :

- Pita serapan untuk ikatan O-H dalam fenol pada daerah  $3610-3670\text{ cm}^{-1}$ .
- Pita serapan untuk ikatan =C-H dalam aromatik pada daerah  $3101\text{ cm}^{-1}$ .
- Pita serapan untuk ikatan C-H dalam alkana pada daerah  $2968, 45\text{ cm}^{-1}$ .
- Pita serapan untuk ikatan C-C terkonjugasi pada daerah  $1600\text{ cm}^{-1}$ .
- Pita serapan untuk ikatan C=C aromatik pada daerah  $1500\text{ cm}^{-1}$  dan  $1580\text{ cm}^{-1}$ .
- Pita serapan untuk benzena pada daerah  $792,74\text{ cm}^{-1}$ .

Pita- pita serapan yang timbul tersebut mengindikasikan bahwa plastik yang digunakan pada proses modifikasi merupakan plastik yang tidak murni karena ada kehadiran gugus lain seperti gugus OH, gugus benzena dan lain-lain yang menandakan adanya zat aditif pada plastik. Zat aditif pada plastik contohnya adalah B.H.T (*butylated hydroxyl toluene*) atau 2,6-di-tercier-butil-p-kresol yang berperan sebagai antioksidan pada plastik polipropilena (Wibowo, 1985).

Preparasi permukaan plastik dilakukan dengan merendam plastik dalam KOH 2,5 M seperti yang dilakukan oleh Dien (2011). Tujuan dari perendaman tersebut adalah untuk menghidrolisis zat-zat aditif yang terdapat pada permukaan plastik dan memberikan efek permukaan kasar pada plastik sehingga nanopartikel emas dapat melekat. Diperkirakan proses ini menyebabkan gugus hidroksil dari

KOH melekat pada permukaan plastik (Dien, 2011). Proses modifikasi plastik dilakukan dengan menggunakan nanopartikel Au-Tiol. Kehadiran zat pengikat alkanatiol meminimalkan hambatan listrik yang terjadi pada penempelan nanopartikel Au pada permukaan plastik. Adanya interaksi hidrofobik antara zat pengikat alkanatiol yang menyelimuti tiap nanopartikel emas menjadikan kumpulan partikel-partikel tersebut dapat menempel pada permukaan plastik (Yamamoto, Yujiro et.al, 2005). Diperkirakan nanopartikel emas tersebar rapat pada permukaan plastik sehingga menyebabkan mobilitas elektron menjadi lebih baik dan daya hantar listrik menjadi lebih besar. Hasil foto tampilan plastik yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.9



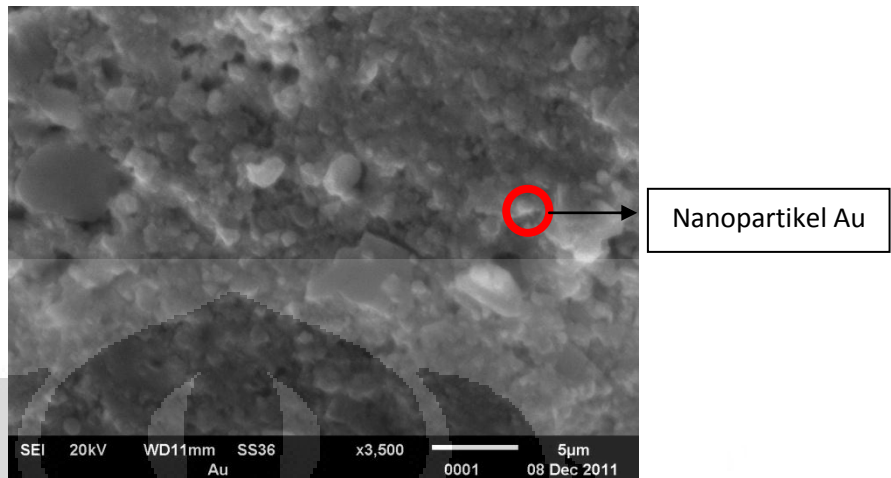
Gambar 4.9 Foto tampilan plastik termodifikasi nanopartikel Au-Tiol

Modifikasi plastik dengan nanopartikel emas dilakukan karena emas dikenal sebagai elektroda yang memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap oksigen. Emas dalam bentuk nanopartikel diharapkan memiliki *background* arus yang lebih kecil dibandingkan dengan bentuk *bulk*nya sehingga menghasilkan limit deteksi yang lebih baik.

#### 4.2.2 Karakterisasi Plastik@NPAu menggunakan SEM-EDS

Karakterisasi plastik termodifikasi nanopartikel emas (selanjutnya disebut plastik@NPAu) dengan menggunakan SEM bertujuan untuk menentukan struktur permukaan dari plastik@NPAu. Sebelum melakukan penembakan berkas elektron maka permukaan plastik dilapisi dengan logam sehingga permukaan material plastik dapat memantulkan berkas elektron. Plastik dilapisi dengan logam Pt agar sampel yang ditembak dengan berkas elektron tersebut dapat bersifat konduktor

sehingga memantulkan berkas elektron yang ditangkap sebagai pencitraan permukaan sampel.

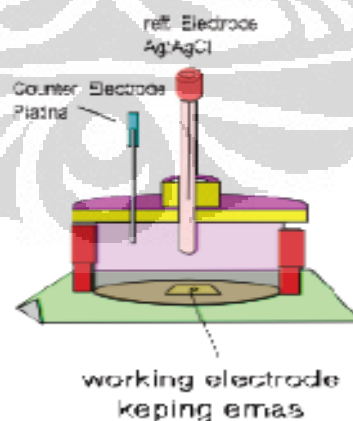


Gambar 4.10 Foto SEM permukaan plastik@NPAu

Foto SEM yang diperoleh menunjukkan adanya bulatan putih yang mengindikasikan keberadaan nanopartikel emas. Bentuk nanopartikel emas yang menempel pada permukaan plastik tampak terlihat beragam (bukan *monodisperse*) dan ukuran dari nanopartikel emas yang terbentuk di permukaan plastik cenderung besar.

### 4.2.3 Karakterisasi Plastik@NPAu secara elektrokimia

#### 4.2.3.4 Sel Elektrokimia



Gambar 4.11 Rangkaian sel elektrokimia

Sensor oksigen merupakan sensor kimia yang berfungsi untuk mendeteksi jumlah oksigen yang dapat terukur dalam suatu analit. Suatu perangkat sensor

mempunyai elektroda kerja yang berperan sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi-oksidasinya analit. Pada elektroda kerja ini, oksigen akan mengalami reaksi reduksi pada potensial yang negatif (Preidel, W, et al, 1994). Sistem ini dirancang dengan menggunakan elektroda kerja yang sensitif untuk mendeteksi oksigen seperti emas. Emas dalam bentuk *bulk* memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan dalam bentuk nanopartikel. Oleh karena itu, dilakukan pemilihan material yang dapat dimodifikasi dengan nanopartikel emas sehingga diharapkan dapat dibuat elektroda kerja yang memiliki sensitivitas yang tinggi untuk mendeteksi oksigen.

Pemilihan material plastik didasarkan pada sifat plastik yang inert (tidak mudah bereaksi), tidak dapat larut dalam air dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap senyawa kimia seperti asam, basa dan zat organik kecuali zat pelarut aromatik yang mengandung halogen (Wibowo, H.S.,1985). Plastik juga dapat termodifikasi dengan nanopartikel Au dalam bentuk Au koloidal film (Yamamoto, Yujiro et. al, 2005). Tetapi plastik memiliki daya hantar yang rendah sehingga perlu dimodifikasi dengan nanopartikel Au untuk menghasilkan respon arus yang baik.

Pengujian performa elektroda kerja Plastik@NPAu sebagai sensor oksigen dilakukan dengan menggunakan sel elektrokimia sistem 3 elektroda. Elektroda yang digunakan adalah Plastik@NPAu sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda pendukung, dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding. Karakterisasi modifikasi plastik dengan nanopartikel Au-Tiol dilakukan secara elektrokimia terhadap elektroda Plastik@NPAu dalam larutan buffer fosfat pH 7 yang mengandung oksigen. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode amperometri pada potensial -455 mV dan waktu pengukuran 2 menit.

Preparasi elektroda bertujuan untuk membersihkan elektroda dari pengotor. Elektroda disonikasi dalam sonikator dengan menggunakan pelarut 1-propanol, dan juga akuademin masing-masing selama lima menit. Fungsi dari sonikasi adalah membuat zat dari pengotor dapat bergetar sehingga terlepas dari permukaan elektroda. Pemilihan 1-propanol dan akuademin sebagai pelarut didasarkan sifat kepolarannya. 1-propanol memiliki sifat nonpolar sehingga dapat

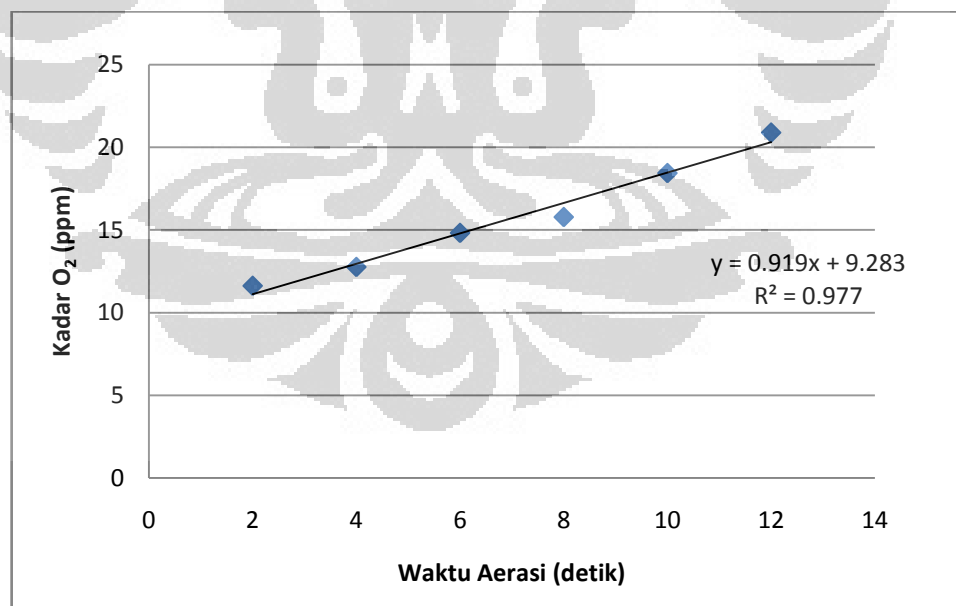
digunakan untuk melarutkan pengotor yang sifatnya non polar, sedangkan akuademin memiliki sifat polar sehingga dapat digunakan untuk melarutkan pengotor yang memiliki sifat polar.

#### 4.2.3.5 Penentuan Konsentrasi Oksigen Terhadap Waktu Aerasi O<sub>2</sub>

Pengukuran konsentrasi oksigen terlarut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metoda titrasi dengan cara winkler dan metoda elektrokimia.

##### 4.2.3.2.1 Metode elektrokimia

Penentuan kadar oksigen terlarut dilakukan dengan memvariasikan waktu aerasi oksigen terlarut. Cara penentuan oksigen terlarut dengan metoda elektrokimia adalah cara langsung untuk menentukan oksigen terlarut dengan alat DO meter. Tampilan gambar alat DO meter dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pengukuran dengan alat DO meter menghasilkan kadar oksigen pada rentang 11 ppm – 20 ppm. Hasil pengukuran menunjukkan semakin bertambah akumulasi waktu aerasi akan menghasilkan kadar oksigen terlarut yang semakin tinggi. Kurva kalibrasi kadar oksigen terlarut terhadap waktu aerasi dapat dilihat pada Gambar 4.12.



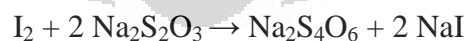
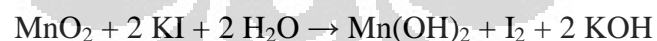
Gambar 4.12 Kurva kalibrasi variasi waktu aerasi terhadap kadar O<sub>2</sub> dengan alat DO meter



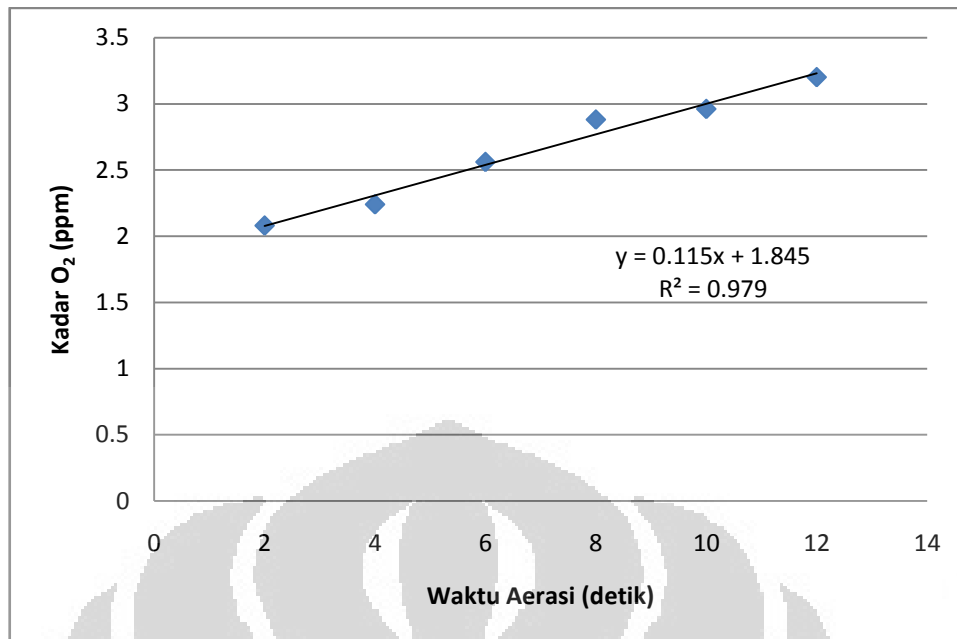
Gambar 4.13 Alat Lutron DO meter

#### 4.2.3.2.1 Metode titrasi winkler

Metoda titrasi dengan cara winkler secara umum banyak digunakan untuk menentukan kadar oksigen terlarut. Prinsipnya dengan menggunakan titrasi iodometri. Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditambahkan larutan  $\text{MnSO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  -  $\text{KI}$ , sehingga akan terjadi endapan  $\text{MnO}_2$ . Dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maka endapan yang terbentuk akan larut kembali dan juga akan membebaskan molekul iodium ( $\text{I}_2$ ) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji). Reaksi kimia yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :



Hasil titrasi menunjukkan kadar oksigen terlarut untuk variasi waktu aerasi memiliki rentang 2,08 ppm – 3,2 ppm. Kurva kalibrasi kadar oksigen terlarut terhadap waktu aerasi dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Kurva kalibrasi waktu aerasi terhadap kadar O<sub>2</sub> dengan titrasi winkler

Melalui 2 metode tersebut dapat disimpulkan bahwa penentuan kadar oksigen terlarut dengan menggunakan alat DO meter memiliki nilai yang berbeda dengan metode titrasi winkler. Penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter, harus memperhatikan suhu dan salinitas sampel yang akan diperiksa. Peranan suhu dan salinitas ini sangat vital terhadap akurasi penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter. Semakin tinggi suhu dan salinitas maka kadar oksigen terlarut akan semakin rendah nilainya. Selain itu peranan kalibrasi alat sangat menentukan akurasi hasil penentuan. Hasil yang diperoleh dengan alat DO meter menunjukkan kadar oksigen terlarut seiring meningkatnya waktu aerasi memiliki nilai yang melebihi kadar maksimum oksigen terlarut yang seharusnya berkisar 8 ppm. Hal tersebut dapat terjadi akibat pengaruh faktor yang telah disebutkan diatas. Berdasarkan Salmin (2005), penentuan oksigen terlarut dengan cara titrasi lebih dianjurkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Alat DO meter masih dianjurkan jika sifat penentuannya hanya bersifat kisaran. Penentuan kadar oksigen terlarut dengan menggunakan alat DO meter memiliki nilai faktor koreksi sebesar 5,885 terhadap metode titrasi winkler.



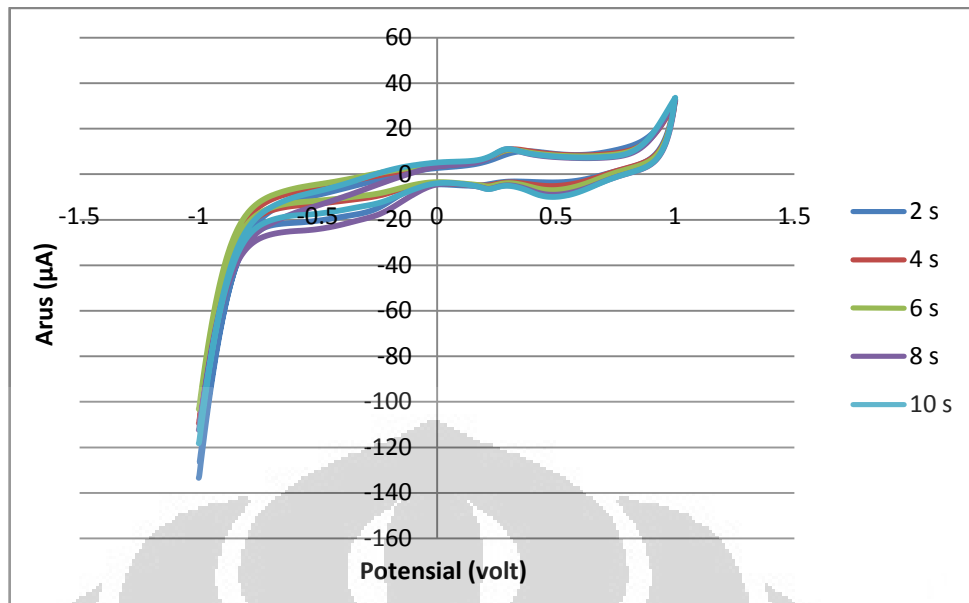
#### 4.2.3.6 Penentuan respon arus terhadap variasi lamanya waktu aerasi O<sub>2</sub>

Sensor oksigen amperometrik bekerja berdasarkan pengukuran arus reduksi oksigen pada elektroda kerja pada potensial kerja tertentu. Sebelum pengukuran amperometrik dapat dilakukan, diperlukan penentuan potensial kerja terlebih dahulu dengan menggunakan pengukuran *Cyclic Voltametry*. Teknik ini berguna sebagai permulaan studi elektrokimia bagi sistem yang belum dikenal (Yu, 2008).

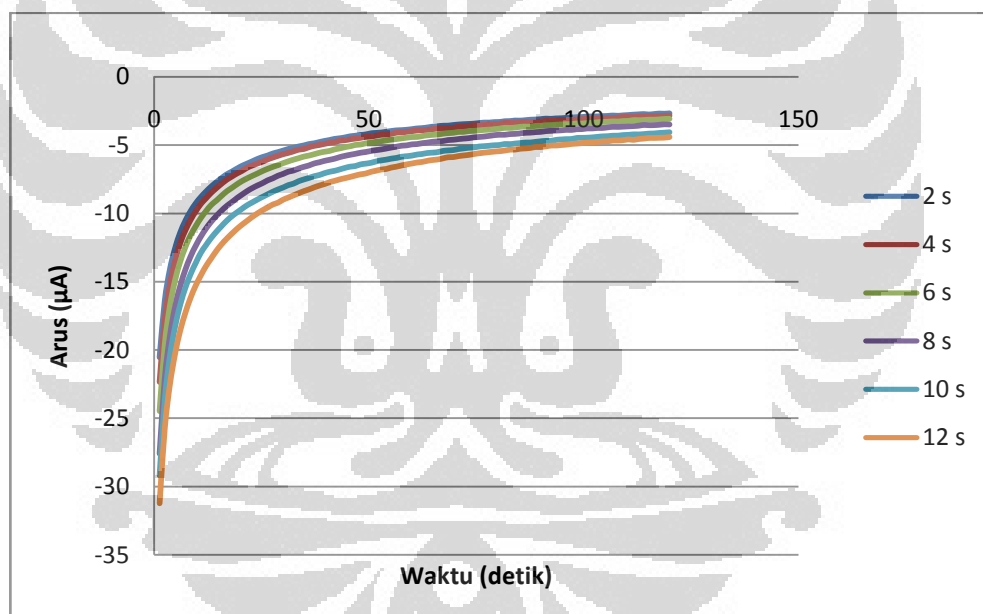
Penentuan besarnya nilai potensial pada elektroda kerja ditetapkan berdasarkan metode *cyclic voltametry*. Pada metode ini akan diamati perubahan arus dan potensial. Potensial divariasikan secara sistematis sehingga zat kimia tersebut mengalami oksidasi dan reduksi di permukaan elektroda. Peningkatan dan penurunan potensial secara bertahap diterapkan pada sel elektrokimia sampai tercapai oksidasi dan reduksi dari zat yang dianalisa. Hal tersebut terlihat dari kenaikan tajam atau penurunan arus puncak (*peak current*). Tinggi *peak current* proporsional dengan konsentrasi analit. Bila potensial oksidasi atau reduksi analit sasaran telah diketahui maka dapat langsung mengukur arus listrik dengan metode amperometrik (Dewangga, 2010).

Hasil pengukuran menunjukkan adanya puncak arus reduksi dan arus oksidasi. Arus katodik yang terbentuk merupakan arus dari proses reduksi oksigen yang terjadi pada elektroda kerja. Arus katodik terukur pada saat *scanning* dari potensial yang besar ke potensial yang kecil, dan sebaliknya untuk arus anodik. Dari hasil penelitian diperoleh *cyclic voltamogram* uji sensor O<sub>2</sub> elektroda kerja emas dengan nilai potensial sebesar -455 mV. Hasil voltamogram dari pengukuran oksigen terlarut dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Setelah diperoleh besar potensial kerja, maka dilanjutkan dengan pengukuran metode amperometrik. Tampilan amperogram untuk variasi konsentrasi oksigen terlarut dapat dilihat pada Gambar 4.16. Hasil pengukuran amperometri menunjukkan semakin bertambah akumulasi waktu aerasi memperlihatkan semakin negatifnya kuat arus reduksi.

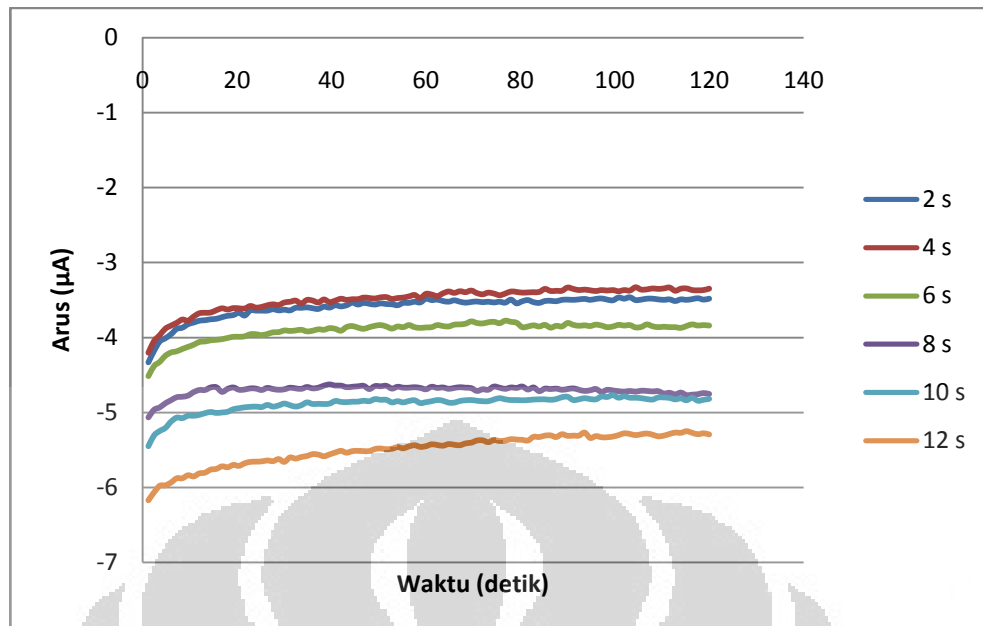


Gambar 4.15 Voltamogram siklik uji sensor O<sub>2</sub>



Gambar 4.16 Amperogram uji sensor O<sub>2</sub> menggunakan elektroda kerja Au

Pengukuran respon arus reduksi dengan menggunakan elektroda kerja Au adalah sebagai pembandingan terhadap elektroda plastik termodifikasi nanopartikel Au. Pada Gambar 4.17 memperlihatkan hasil amperometri dari berbagai variasi waktu aerasi oksigen menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu.

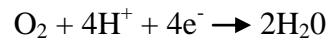


Gambar 4.17 Amperogram uji sensor O<sub>2</sub> menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu

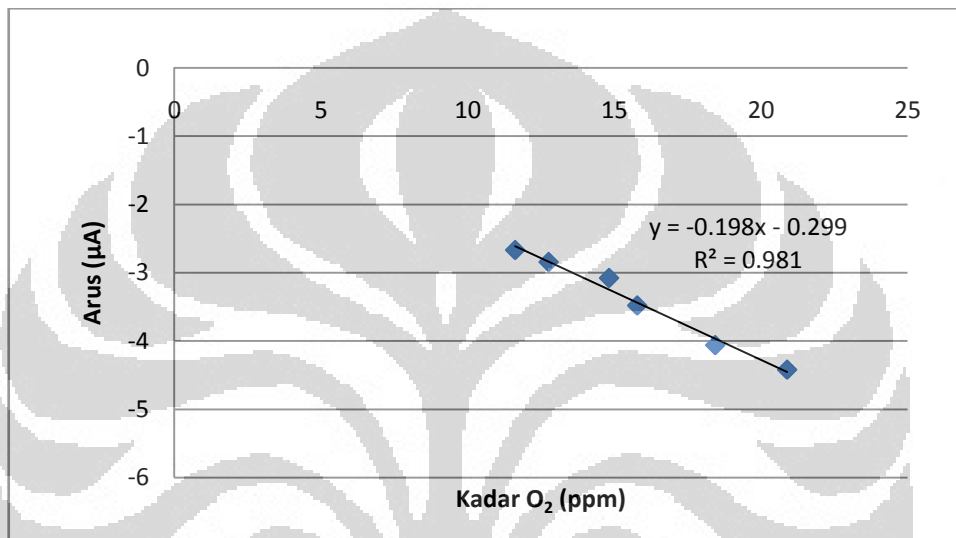
Hubungan antara arus reduksi dengan kadar oksigen terlarut ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19. Melalui pengukuran amperometri menunjukkan semakin tinggi konsentrasi oksigen akan menyebabkan bertambah kuat arus reduksi yang dibutuhkan. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi oksigen terlarut dalam bufer fosfat proporsional dengan kuat arus reduksi yang dihasilkan. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Yu (2008, p. 108).

Hasil korelasi antara arus reduksi *bulk* Au terhadap variasi kadar O<sub>2</sub> memiliki nilai  $R^2 = 0,981$  sedangkan untuk plastik@NPAu memiliki nilai  $R^2 = 0,950$ . Berdasarkan perbandingan yang dilakukan antara *bulk* Au dan plastik@NPAu menunjukkan bahwa elektroda kerja plastik termodifikasi nanopartikel emas memberikan respon arus yang sesuai dengan elektroda kerja emas yaitu arus puncak reduksi yang terukur menghasilkan penurunan nilai arus reduksi seiring dengan bertambahnya waktu aerasi gas O<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan semakin lama waktu aerasi gas O<sub>2</sub> maka kadar gas O<sub>2</sub> terlarut dalam larutan buffer fosfat pH 7 akan semakin meningkat sehingga akan semakin banyak oksigen yang

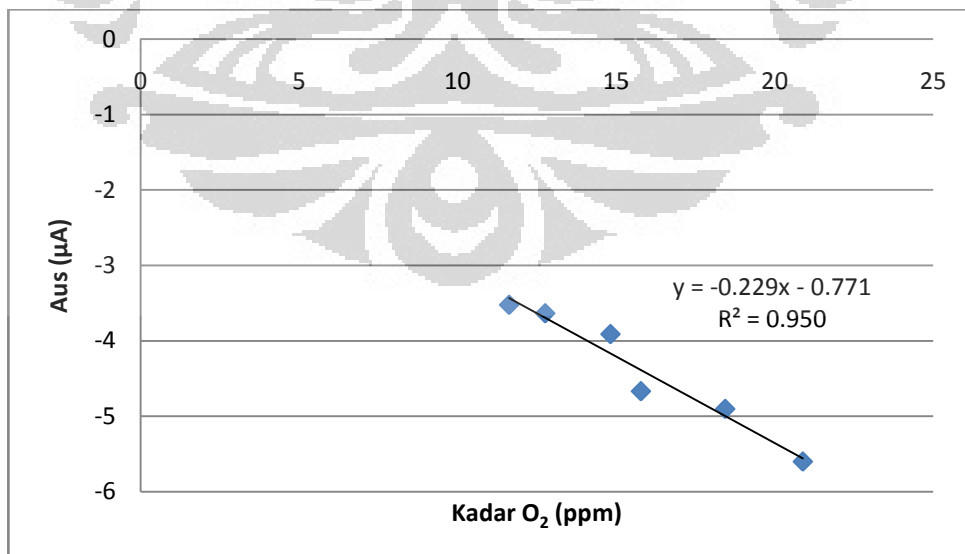
dapat direduksi dan jumlah arus pun meningkat. Reaksi reduksi  $O_2$  yang terjadi pada permukaan elektroda adalah sebagai berikut :



Melalui hasil pengukuran amperometri dapat disimpulkan bahwa plastik yang dimodifikasi dengan nanopartikel Au-Tiol dapat digunakan sebagai elektroda kerja untuk sensor oksigen.



Gambar 4.18 Kurva arus reduksi terhadap variasi kadar  $O_2$  pada elektroda kerja *bulk* Au

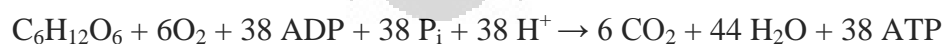


Gambar 4.19 Kurva arus reduksi terhadap variasi kadar  $O_2$  pada elektroda kerja plastik@NPAu

### 4.3 Aplikasi Plastik@NPAu sebagai sensor BOD

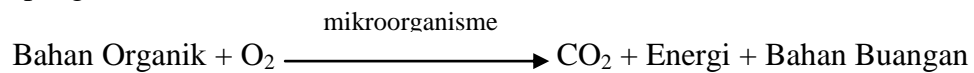
Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan – bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000). Besarnya kandungan oksigen terlarut dalam perairan berkaitan erat dengan nilai BOD.

*Biochemical Oxygen Demand (BOD)* adalah banyaknya kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan zat organik oleh mikroorganisme. BOD menggambarkan bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologis (*biodegradable*). Bahan organik merupakan hasil pembusukan tumbuhan atau hewan yang telah mati atau hasil buangan dari limbah domestik dan industri. Bahan organik ini di antaranya adalah protein, lemak, dan karbohidrat. Pada proses dekomposisi bahan organik, mikroorganisme akan melakukan proses metabolisme dengan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber makanan. Mikroorganisme yang ada di dalam air limbah akan menggunakan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik menjadi energi. Selama proses metabolisme, akan terjadi transfer elektron pada *electron transport system* yang berhubungan dengan rantai respirasi sel. Proses metabolisme terkait erat dengan respirasi karena respirasi merupakan proses ekstraksi energi dari molekul makanan yang bergantung pada adanya oksigen (Tobin, 2005). Reaksi kimia yang terjadi dalam respirasi dapat dituliskan sebagai berikut:



Hasil uji BOD merepresentasikan kandungan polutan organik yang terdapat dalam air. BOD menjadi salah satu parameter penting untuk pemantau taraf pencemaran air. Laju konsumsi oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengurai zat polutan organik dalam air pada selang waktu tertentu setara dengan nilai BOD sampel. Sebagai standar nilai BOD digunakan larutan glukosa 1 mM yang setara dengan nilai BOD sebesar 100 mg/L (Miller &

Miller, 1993). Larutan glukosa berperan sebagai bahan organik yang terdapat dalam air. Semakin banyak kandungan zat organik di dalam air limbah berarti jumlah makanan yang tersedia untuk mikroorganisme cukup banyak, yang berarti juga pengotoran air limbah cukup tinggi.



Pada penelitian ini menggunakan khamir lokal *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181 yang telah dievaluasi sebelumnya oleh Dewangga (2010) sebagai *biosensing element* untuk sensor BOD. Pemilihan khamir lokal *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181 disebabkan khamir tersebut merupakan golongan fungi yang merupakan aerob obligat sehingga dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas biologisnya dalam air yang mengandung oksigen. Proses elektrokimia yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan khamir yang sudah memasuki fase pertumbuhan yang maksimum dan konstan. Menurut Dewangga (2010), pada fase inilah khamir potensial sebagai elemen sensing biologi

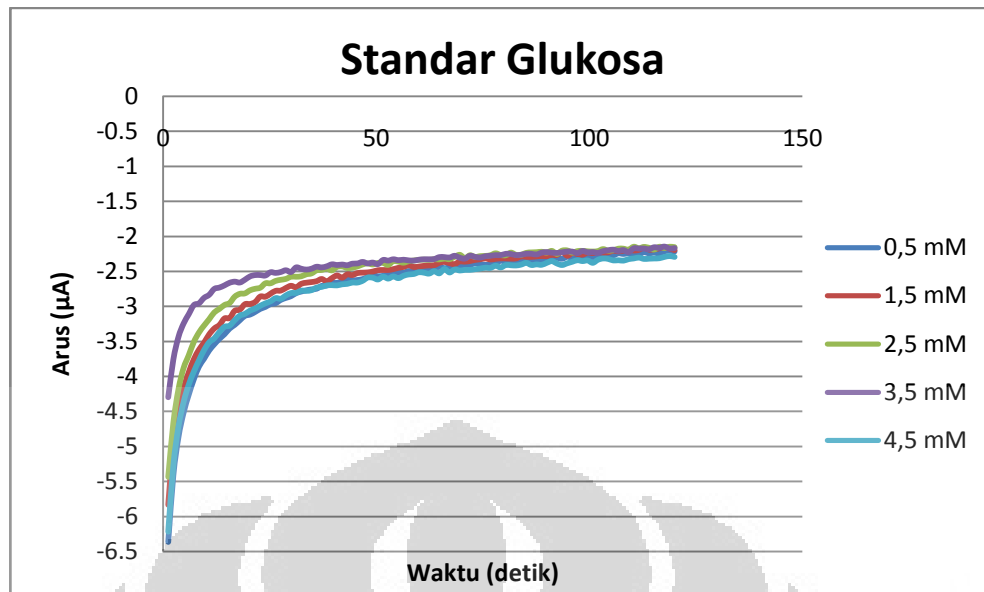
Sistem sensor akan dilihat aktivitasnya terhadap senyawa organik glukosa dalam larutan buffer fosfat pH 7. Variasi konsentrasi glukosa memiliki rentang antara 0,1 mM – 0,9 mM. Pengukuran pada rentang glukosa tersebut bertujuan untuk mengukur nilai BOD pada konsentrasi rendah. Nilai BOD pada konsentrasi rendah berguna untuk mengecek baku mutu air yang dapat dibuang pada badan air kelas I (Peraturan Pemerintah RI, No.82, 2001). Larutan glukosa merupakan larutan yang memberikan respon arus yang sangat signifikan dibandingkan dengan substrat organik lain, selain itu glukosa adalah senyawa organik yang dikonsumsi oleh khamir jenis *Rhodotorula mucilaginosa*. Mikroorganisme tidak dapat hidup pada kondisi pH lebih dari 8 sehingga larutan buffer fosfat pH 7 digunakan dalam sistem sensor agar terjadi keseimbangan pH selama pengukuran. Larutan buffer fosfat pH 7 akan mendukung proses aktivitas mikroorganisme untuk tetap berlangsung sehingga pengukuran sensor BOD dapat berjalan.

Pengujian plastik termodifikasi nanopartikel emas sebagai elektroda kerja untuk sensor BOD dilakukan untuk mengetahui kinerja dari elektroda tersebut dan membandingkan hasil yang diperoleh dengan elektroda kerja Au. Pengujian

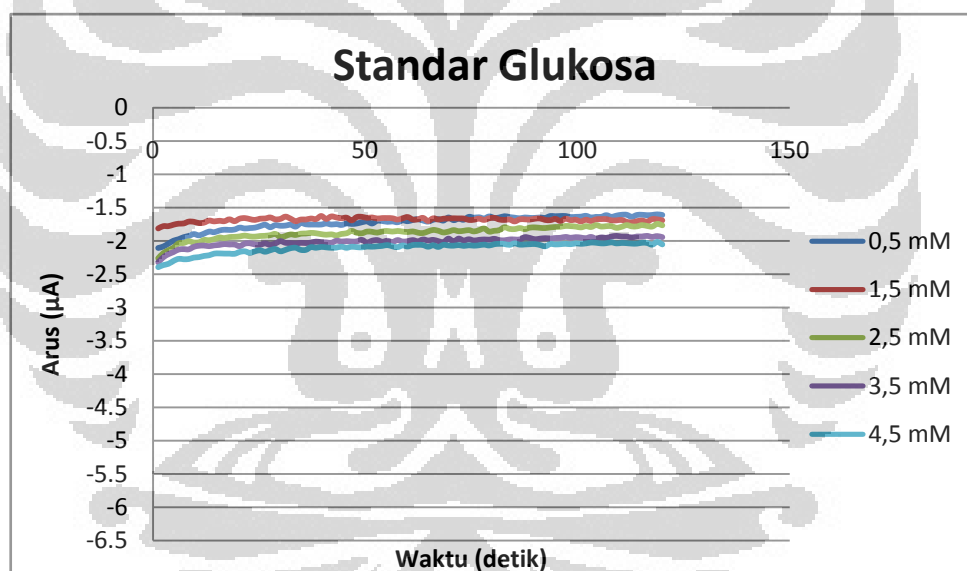
elektroda plastik@NPAu sebagai sensor BOD dilakukan dengan mengukur konsumsi oksigen oleh mikroba pada penguraian bahan organik. Pengukuran dilakukan dengan menentukan konsentrasi oksigen terlarut sebagai respon kuat arus reduksi, pada saat sebelum dan sesudah penambahan substrat (glukosa). Informasi yang diperoleh berupa respon kuat arus dengan adanya kehadiran mikroba bebas (*free cell*) tanpa diimobilisasi. Respon kuat arus yang terdeteksi akan menggambarkan perubahan laju respirasi substrat oleh khamir. Apabila konsentrasi substrat meningkat, secara proporsional akan meningkatkan respirasi yang bisa dideteksi melalui perubahan konsentrasi oksigen dengan sensor oksigen.

Sebelum penambahan glukosa, khamir melakukan respirasi endogenus, sehingga kebutuhan oksigen untuk respirasi masih rendah. Konsentrasi oksigen terlarut yang masih tinggi dapat dilihat dari respon kuat arus reduksi yang tinggi. Saat glukosa dimasukkan ke dalam sistem, menurut Riedel (1998) khamir akan berusaha melakukan transportasi substrat ke dalam sel. Aktivitas ini terpantau dari meningkatnya laju respirasi sel, karena transpor aktif substrat membutuhkan energi. Semakin banyak substrat yang ditranspor, semakin banyak kebutuhan oksigen sebagai akibat laju respirasi yang meningkat. Besarnya kuat arus reduksi akan menurun pada saat terjadi penurunan konsentrasi oksigen terlarut (Dewangga, 2010).

Tahapan pengujian plastik@NPAu sebagai elektroda kerja pada sensor BOD dilakukan dengan melakukan pengukuran kuat arus dengan kehadiran khamir *Rhodotorula mucilaginosa*. Sebelum melakukan pengujian sensor BOD, pengukuran amperometri dilakukan untuk variasi konsentrasi glukosa tanpa kehadiran mikroorganisme. Data tersebut dijadikan sebagai standar respon arus glukosa. Tampilan amperogram untuk standar glukosa tanpa kehadiran mikroorganisme dapat dilihat pada Gambar 4.20 untuk elektroda kerja *bulk* Au dan pada Gambar 4.21 untuk plastik@NPAu. Hasil pengukuran menunjukkan arus yang dihasilkan hampir serupa nilainya untuk tiap variasi konsentrasi glukosa. Hal ini disebabkan, tanpa kehadiran mikroorganisme maka oksidasi senyawa organik oleh sel tidak terjadi dan arus yang terukur sebanding dengan oksigen terlarut dalam buffer fosfat tanpa pengaruh adanya konsumsi oksigen oleh mikroorganisme.



Gambar 4.20 Amperogram standar glukosa menggunakan elektroda kerja emas

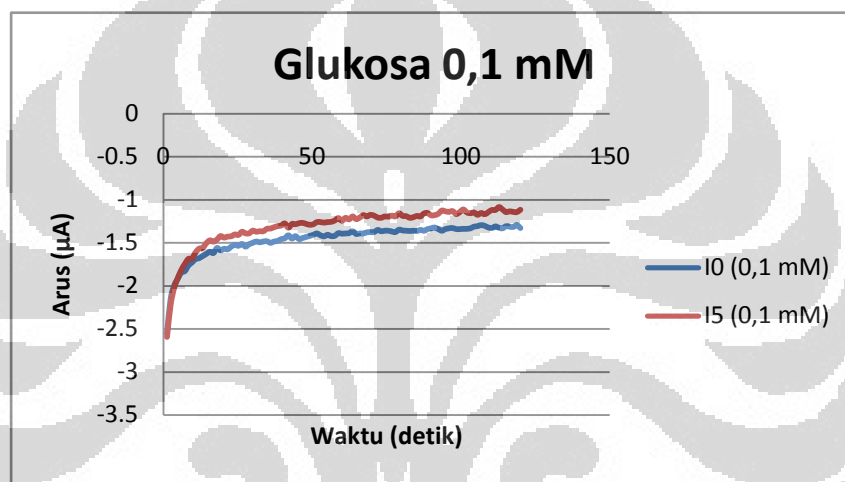


Gambar 4.21 Amperogram standar glukosa menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu

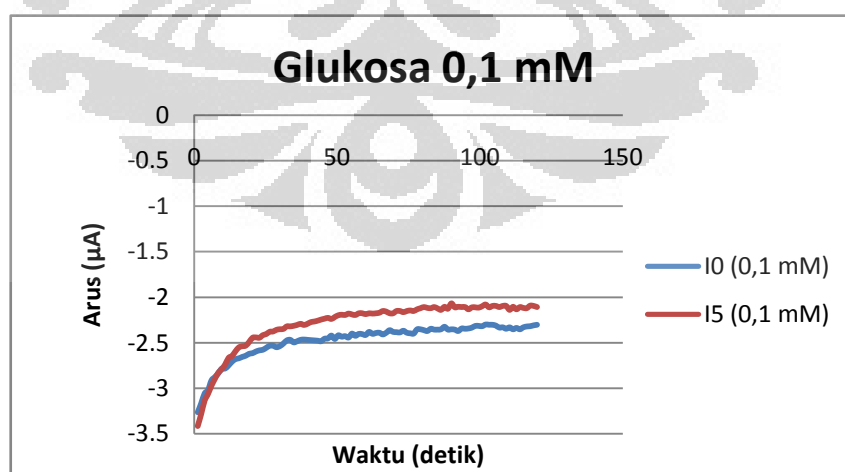
Hasil pengukuran amperometri untuk pengujian sensor BOD diperlihatkan pada Gambar 4.22 untuk elektroda kerja *bulk* Au dan pada Gambar 4.23 untuk plastik@NPAu. Grafik amperogram berwarna biru tua menunjukkan kuat arus  $I_0$ , pada saat larutan bufer fosfat hanya diaerasi dengan udara selama 5 menit tanpa kehadiran glukosa. Pada saat  $I_0$ , khamir belum memulai aktivitas metabolisme. Terlihat kuat arus reduksi yang tinggi (lebih negatif) menandakan konsumsi



oksigen oleh khamir masih rendah. Kemudian diberi substrat (glukosa) dan dibiarkan selama 5 menit. Setelah penambahan glukosa sebesar 0,1 mM dan dibiarkan 5 menit, kuat arus yang didapatkan disimbolkan sebagai  $I_5$  yaitu kuat arus pada metabolisme 5 menit. Pada saat  $I_5$ , terlihat arus reduksi menurun yang menandakan meningkatnya konsumsi oksigen akibat aktivitas respirasi meningkat. Penambahan waktu yang lebih lama dari 5 menit tidak meningkatkan laju respirasi khamir berdasarkan penelitian yang dilakukan Dewangga (2010), sehingga waktu pengukuran 5 menit setelah pemberian substrat adalah waktu minimal yang bisa digunakan sebagai dasar pengukuran model sensor BOD yang diteliti.



Gambar 4.22 Amperogram arus  $I_0$  dan  $I_5$  pada konsentrasi glukosa 0,1 mM pada *free cell* menggunakan elektroda kerja emas



Gambar 4.23 Amperogram arus  $I_0$  dan  $I_5$  pada konsentrasi glukosa 0,1 mM pada *free cell* menggunakan elektroda kerja plastik@NPAu

Berikut ini tabel perbandingan antara elektroda emas dengan elektroda plastik@NPAu untuk respon arus yang dihasilkan.

a) Elektroda Au

Tabel 4.1 Data respon arus terhadap variasi konsentrasi glukosa pada *bulk* Au

Nilai BOD setara (mg/L)	Konsentrasi Glukosa (mM)	I ( $\mu$ A) glukosa	I ( $\mu$ A) glukosa + mikroba	$\Delta$ I ( $\mu$ A)
10	0,1	-2,22	-0,21563	-2,00437
30	0,3	-2,20	-0,39063	-1,80937
50	0,5	-2,16	-0,475	-1,685
70	0,7	-2,17	-0,51563	-1,65437
90	0,9	-2,29	-0,8375	-1,4525

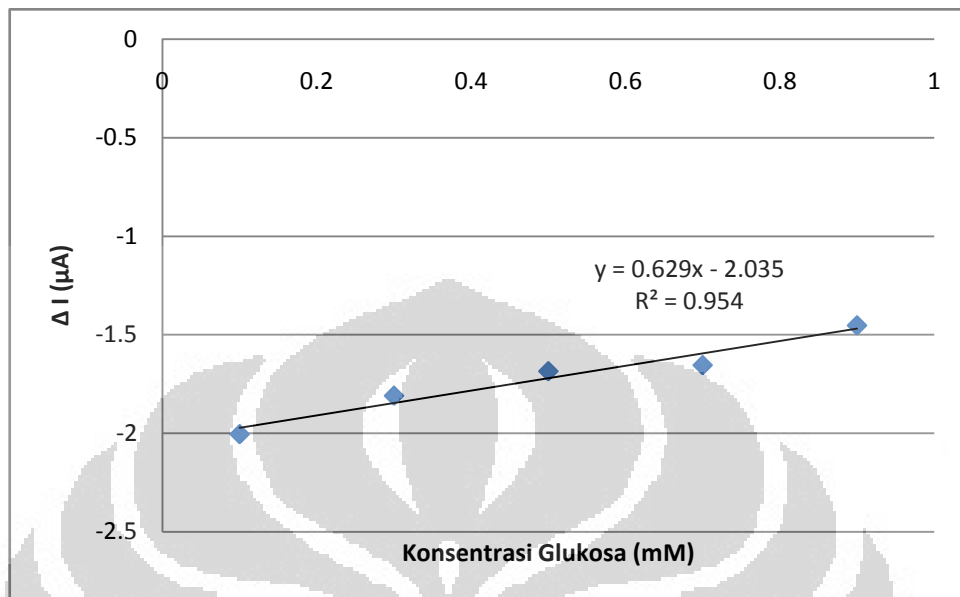
b) Elektroda plastik@NPAu

Tabel 4.2 Data respon arus terhadap variasi konsentrasi glukosa pada plastik@NPAu

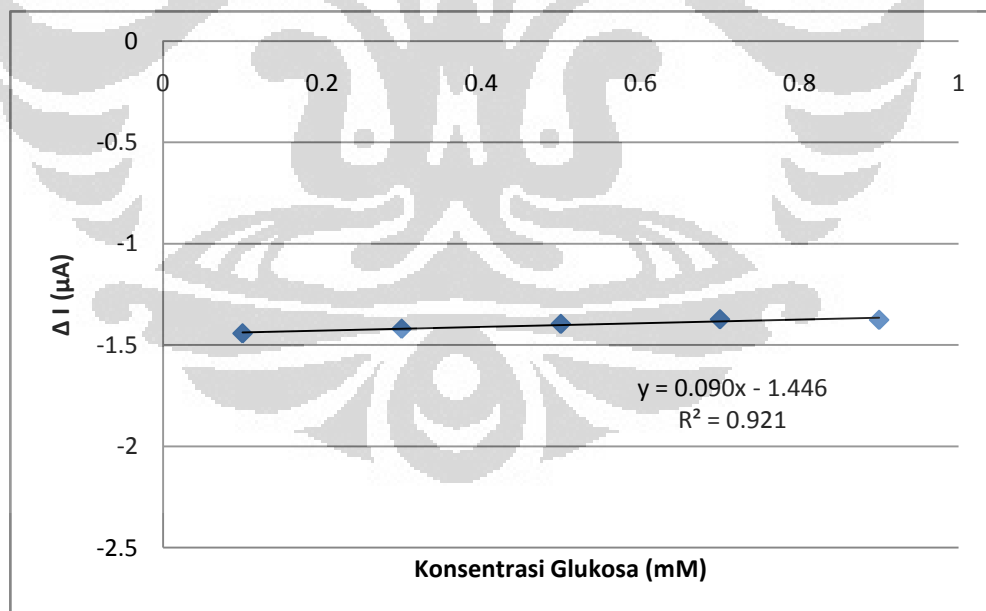
Nilai BOD setara (mg/L)	Konsentrasi Glukosa (mM)	I ( $\mu$ A) glukosa	I ( $\mu$ A) glukosa + mikroba	$\Delta$ I ( $\mu$ A)
10	0,1	-1,64	-0,197	-1,443
30	0,3	-1,67	-0,250	-1,42
50	0,5	-1,78	-0,384	-1,396
70	0,7	-1,97	-0,597	-1,373
90	0,9	-2,01	-0,634	-1,376

Berdasarkan data Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diatas menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi glukosa yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi glukosa setara dengan semakin besar nilai BOD, yang mengindikasikan semakin banyak bahan organik yang terkandung dalam larutan sehingga konsumsi oksigen oleh mikroorganisme semakin meningkat jumlahnya. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya konsentrasi glukosa yang digunakan, maka akan semakin banyak analit yang

teroksidasi oleh oksigen yang tersisa dalam larutan setelah dikonsumsi oleh khamir.



Gambar 4.24 Korelasi selisih kuat arus dengan konsentrasi glukosa pada *free cell* pada elektroda kerja emas



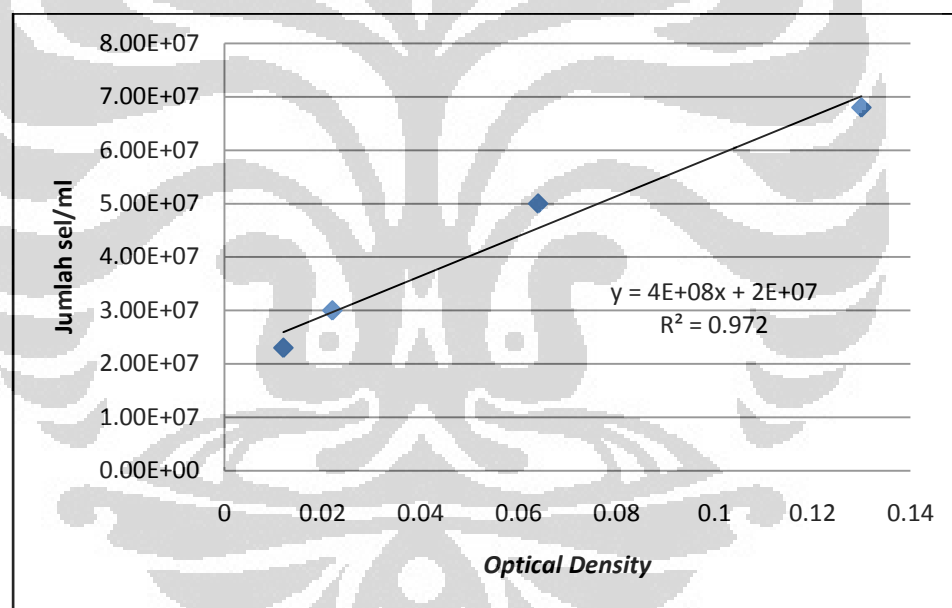
Gambar 4.25 Korelasi selisih kuat arus dengan konsentrasi glukosa pada *free cell* pada elektroda kerja plastik@NPAu

Hasil korelasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25 menunjukkan elektroda *bulk* emas memiliki nilai regresi linier ( $R^2 = 0,954$ )

sedangkan elektroda kerja plastik@NPAu memberikan respon dengan nilai ( $R^2 = 0,921$ ). Melalui hasil pengukuran ini dapat disimpulkan bahwa elektroda kerja plastik@NPAu dapat digunakan sebagai elektroda kerja dalam studi pendahuluan sebagai sensor BOD pada rentang 10 – 90 mg/L, dengan menghasilkan arus yang meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi glukosa yang digunakan.

#### 4.3.1 Penentuan jumlah sel khamir yang digunakan dengan metode kamar hitung (*counting chamber*)

Metode kamar hitung dilakukan untuk menentukan jumlah sel khamir yang digunakan dalam penelitian. Metode ini dilakukan dengan variasi pengenceran 50 kali, 100 kali, 200 kali, dan 500 kali. Masing-masing pengenceran dihitung jumlah sel khamir yang terdapat di dalamnya. Pada Gambar 4.26 dapat dilihat *plot* hubungan antara *optical density* dan jumlah sel khamir per mL.



Gambar 4.26 Hubungan antara nilai *optical density* dengan jumlah sel khamir/mL

Sel khamir yang diaplikasikan dalam sensor BOD merupakan sel khamir yang telah mencapai pertumbuhan maksimum. Nilai *optical density* dari sel khamir adalah 2,86. Dengan memasukan nilai *optical density* sel khamir hasil fermentasi ke dalam persamaan yang didapat dari hubungan jumlah sel per mL dengan *optical density* maka didapat banyak sel hasil fermentasi adalah  $11,64 \times 10^8$  sel khamir/mL. Jumlah suspensi sel yang digunakan adalah 1 mL, maka sel khamir yang digunakan dalam sensor BOD adalah  $11,64 \times 10^8$  sel khamir / 1 mL.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

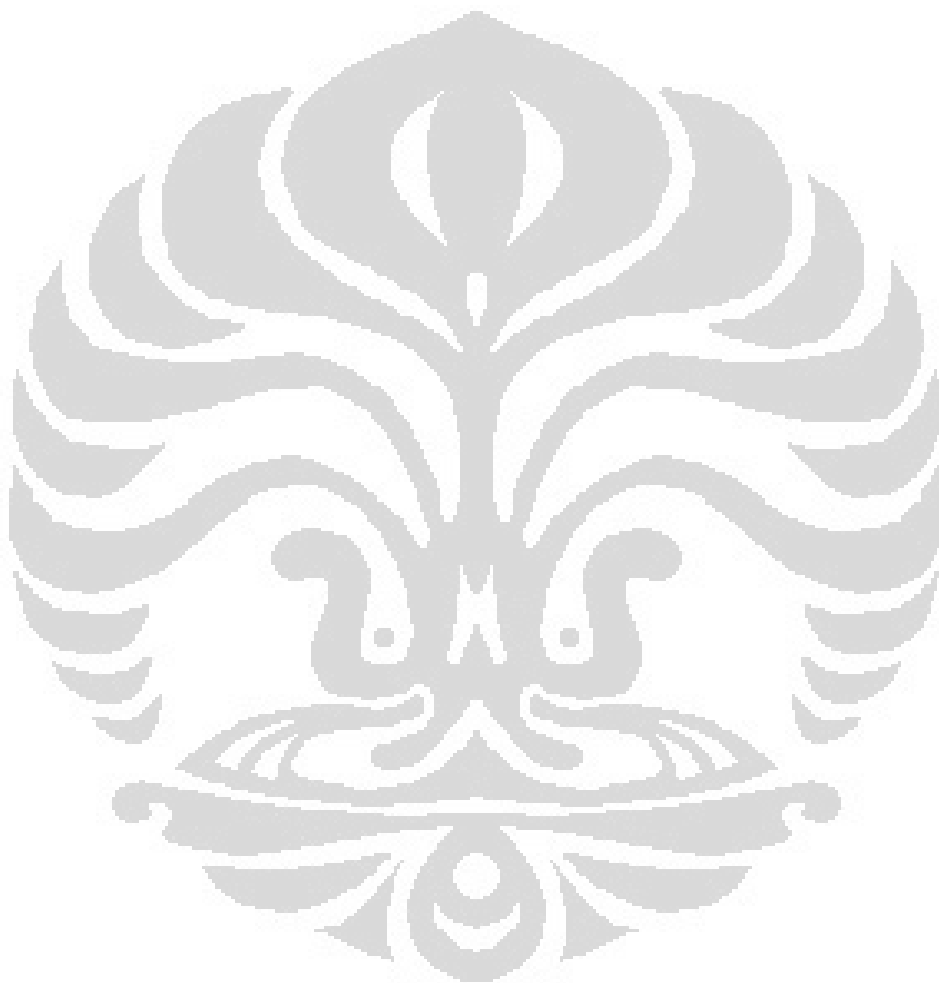
#### 5.1. Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Nanopartikel Au berhasil disintesis menggunakan zat penstabil dodekanatiol dengan bantuan surfaktan tetradekilamonium bromida (TDABr). Hasil karakterisasi dengan spektrum UV-Visible menunjukkan bahwa nanopartikel Au-Tiol memiliki panjang gelombang maksimum 526 nm dan karakterisasi dengan PSA menunjukkan bahwa diameter nanopartikel Au adalah sekitar 30,7 nm.
2. Nanopartikel Au-tiol dapat melekat pada permukaan plastik yang telah dipreparasi dengan KOH. Diperkirakan dengan kehadiran KOH dapat menghilangkan zat aditif pada plastik yang menghalangi proses penempelan nanopartikel Au. Karakterisasi dengan instrumen SEM-EDS menunjukkan adanya partikel emas pada permukaan plastik dengan ukuran lebih dari 100 nm.
3. Plastik termodifikasi nanopartikel emas diuji aktifitas elektrokimianya dengan mengukur kadar oksigen dalam air. Hasil amperometri menunjukkan peningkatan arus reduksi seiring dengan meningkatnya kadar O<sub>2</sub> dengan nilai regresi linier  $R^2 = 0,950$ , mengindikasikan bahwa plastik termodifikasi nanopartikel emas dapat digunakan sebagai elektroda kerja pada sensor oksigen.
4. Aplikasi plastik termodifikasi nanopartikel emas sebagai elektroda kerja untuk sensor BOD dengan adanya kehadiran mikroba bebas (*free cell*) *Rhodotorula mucilaginosa* UICC Y-181 menunjukkan korelasi linier dengan peningkatan nilai konsentrasi glukosa yang digunakan ( $R^2 = 0,921$ ), mengindikasikan plastik termodifikasi nanopartikel emas dapat digunakan sebagai elektroda dalam sensor BOD.

## 5.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan plastik murni yang strukturnya diketahui sehingga jenis interaksi kimia yang terjadi pada proses penempelan nanopartikel Au-Tiol dapat dijelaskan dengan lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin dan Khairurrijal. (2010). *Karakterisasi Nanomaterial :Teori, Penerapan dan Pengolahan Data*. CV. Rezeki Putera.
- Anshori, Jamaludin Al. (2009). *Siklisasi Intramolekuler Sitronelal Dikatalisis Zeolit dan Bahan Mesoporus*. Jurusan Kimia FMIPA UNPAD.
- Apriliani, Rini. (2009). *Studi Penggunaan Kurkumin sebagai Modifier Elektroda Pasta Karbon untuk Analisa Timbal (II) secara Stripping Voltametry*. FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Berios-Garcia, E., Gao, T., Woodka, Marc D., Maldonado, S., Brunschwig, B.S., Ellsworth, Mark W., Lewis, Nathan S. (2010). *Response versus Chain Length of Alkylthiol Capped Nanoparticles Chemiresistive*. J phys. Chem. C. 144.21914-21920.
- Brust, M., Walker, M., Bethell, D., Scriffin, David J., Whyman, R. (1995). *Synthesis of Thiol Derivatized Gold Nanoparticles in a Two Phase Liquid – Liquid System*. J. Chem. Soc., Chem. Commun., 801-802.
- Dewangga, N. (2010). *Studi Pengembangan Sensor BOD Berbasis Rhodotorula Mucilaginosa UICC Y-18*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Dien, Sherly A. (2011). *Modifikasi Permukaan Plastik dengan Menggunakan Nanopartikel Au dan Studi Aplikasinya sebagai Sensor Oksigen*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Eggins, Brian R. (2007). *Chemical Sensors and Biosensors*, John Willey and Sons Ltd., London.
- Hariyadi, Sigid. (2004). *BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah*. [http://www.rudyct.com/PPS702-ipb/09145/sigid\\_hariyadi.pdf](http://www.rudyct.com/PPS702-ipb/09145/sigid_hariyadi.pdf)

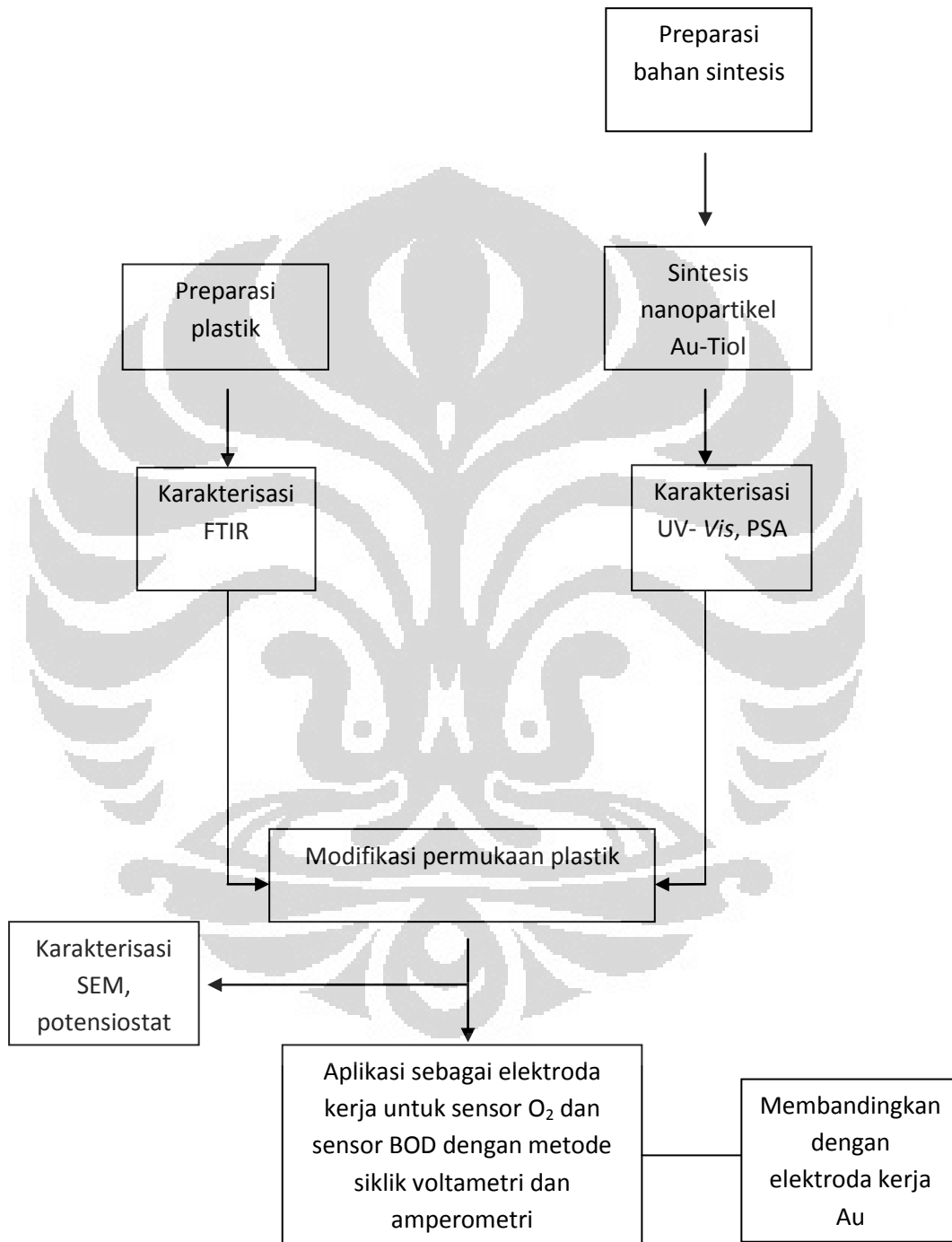
- Khairunizar, S. (2009). *Peranan Pendispersi Asam Stearat Terhadap Kompatibilitas Campuran Plastik Polipropilena Bekas dengan Bahan Pengisi Dekstrin*. FMIPA Universitas Sumatera Utara Medan.
- Lumanto, A. (2010). *Studi fabrikasi Sensor Kimia untuk Analisa Ion Logam : Variasi Jenis Elektroda dan Konsetrasi Ligan*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Maryani, Faiza. (2010). *Modifikasi Glassy Carbon Dengan Nanopartikel Emas Sebagai Sensor Oksigen Dan Studi Pendahuluan Untuk Pengukuran BOD*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Mumtahinah, N. (2007). *Potensi biomassa khamir rhodotorula mucilaginosa (Jorgensen) F.C. Horrison UICC Y-235 sebagai elemen biologi pada biosensor logam berat cuprum (II)*. Tesis Departemen Biologi FMIPA-UI, Depok.
- Nathanael, Dante. (2011). *Studi Pengembangan Sensor BOD Dengan Elektroda Glassy Carbon Terdeposisi Partikel Emas dan Terimobilisasi Mikroba Candida Fukuyamaensis UICCY-247 Berbasis Sensor Oksigen*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Rakhmatullah, Dwi Karsa A., Gitandra Wiradini, Nugroho Pratomo Ariyanto. (2007). *Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam dengan Karakteristik Adsorption Properties untuk Kemurnian Bioetanol*. Program Studi Teknik Fisika. Fakultas Teknologi Industri. ITB.
- Salmin. (2005). *Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan*.
- Seok, S., Chuc, S., dan Voundi, P. (2009).. (2009). *Stability of Tetraoctylammonium Bromide Protected Gold Nanoparticles : Effect of Anion Treatments*. Physicochem. Eng. Aspect 352. 12-17.
- Shiigi, H., Yamamoto, Y., Yakabe, H., Tokonami, S., Nagaoka, T.(2002). *Electrical Property and Water Reppelency of a Networked Monolayer Film Prepared from Au Nanoparticles*. Chem Commun, 1038-1039.



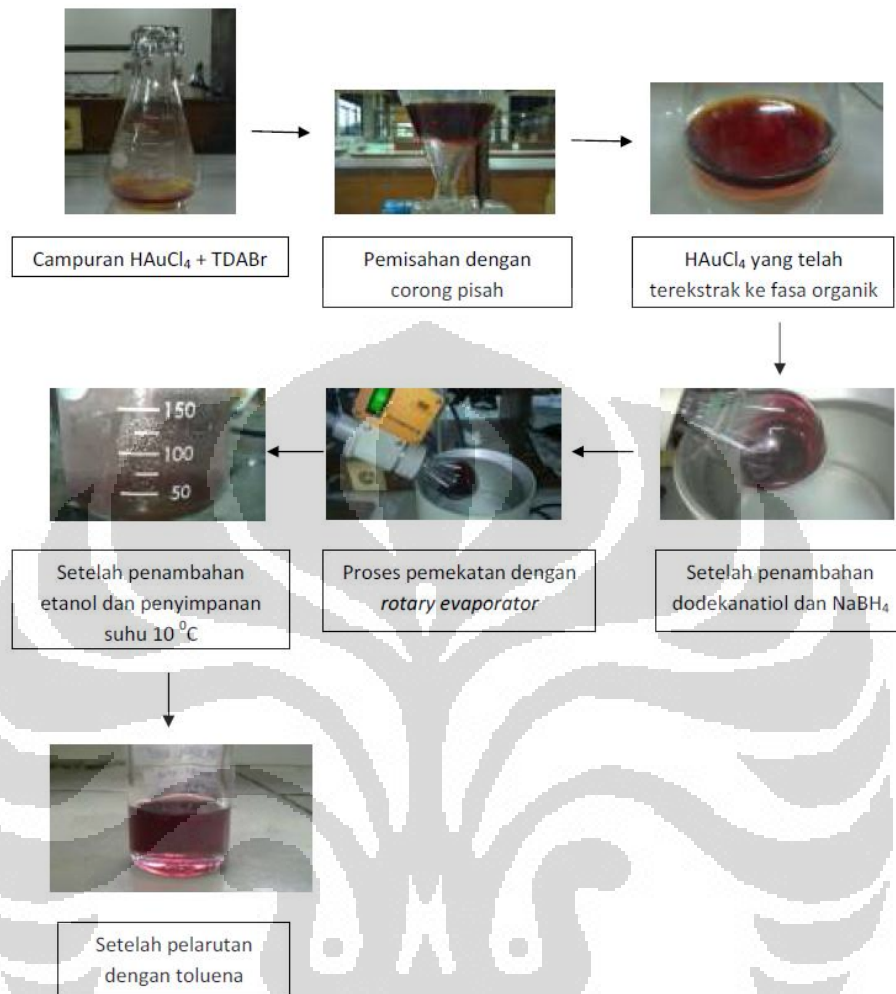
- Sunardi. (2007). *Penuntun Praktikum Analisa Instrumen*. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Triana, F. *Pengembangan Sensor BOD menggunakan khamir lokal Candida fukuyamaensis UICC Y-24*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Tribidasari, I. (2011). *KSK Fisik III : Sensor dan Biosensor*. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Tobin, A.J. (2005). *Asking About Life*. Thomson Brooks/Cole, Canada.
- Tovina, Hany. (2009). *Skripsi : Sintesis Nanozeolit Tipe Faujasite dengan Teknik Seeding yang ditumbuhkan pada Permukaan Glassy Carbon*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Waters, Cecilia A., Mills, Allan J., Johnson, Kathleen A., Schriffin, David J. (2003). *Purification of Dodecanathiol Derivatised Gold Nanoparticles*. Chemm Commun. 540-541.
- Wibowo, Hendro S. (1985). *Studi dan Analisa Aditif di dalam Polipropilena*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Wijaya, Lani. (2008). *Modifikasi Elektroda Karbon dengan Nanopartikel Emas dan Aplikasinya sebagai Sensor Arsen*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Winter, Jessica. (2007). *Gold Nanoparticle Biosensor*.
- Yamamoto, Y., Yoshi, N., Shiigi, H., Nagaoka, T. (2006). *Electrical Properties of a Nanoparticle-Networked Film*. Solid State Ionics 177 2325-2328.
- Yulizar, Y. (2004). *KSK Fisik IV : Kimia Nanopartikel Logam*. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Z.H., Astuti. (2007). *Kebergantungan Ukuran Nanopartikel terhadap Warna yang Dipancarkan pada Proses Deeksitasi*. Departemen Fisika. FMIPA ITB.

## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Bagan Kerja Penelitian



## Lampiran 2. Tampilan Proses Sintesis Nanopartikel Au-Tiol



### Lampiran 3. Data Karakterisasi Nanopartikel Au-Tiol dengan Spektrofotometer UV-Vis

#### a) Data kestabilan nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu

Hari ke-	Absorbansi
1	0,735
7	0,766
8	0,718
10	0,721

#### b) Data pergeseran $\lambda_{max}$ nanopartikel Au-Tiol terhadap waktu

Hari ke-	$\lambda_{max}$ (nm)
1	526
7	527
8	526
10	528

### Lampiran 4. Data Kalibrasi Waktu Aerasi Gas O<sub>2</sub> Terhadap Kadar O<sub>2</sub>

#### a) cara elektrokimia menggunakan alat DO meter

Waktu aerasi O <sub>2</sub> (s)	Kadar O <sub>2</sub> (ppm)
2	11,62
4	12,76
6	14,82
8	15,78
10	18,44
12	20,89

#### b) cara titrasi winkler

$$O_2 = \frac{\frac{1 \text{ mol } O_2}{4 \text{ mol } S_2O_3^{2-}} \times \frac{0,01 \text{ mol } S_2O_3^{2-}}{1 \text{ L}} \times \text{vol } S_2O_3^{2-}}{25 \text{ ml}} \times \frac{32 \text{ g}}{1 \text{ mol } O_2}$$

$$O_2 = \frac{\frac{1 \text{ mol } O_2}{4 \text{ mol } S_2O_3^{2-}} \times \frac{0,01 \text{ mol } S_2O_3^{2-}}{1 \text{ L}} \times 0,65 \text{ ml } S_2O_3^{2-}}{25 \text{ ml}} \times \frac{32 \text{ g}}{1 \text{ mol } O_2}$$

$$O_2 = 0,00208 \text{ g/L} = 2,08 \text{ mg/L} = 2,08 \text{ ppm}$$

Waktu aerasi O <sub>2</sub> (s)	Volume S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Kadar O <sub>2</sub> (ppm)
2	0,65	2,08
4	0,7	2,24
6	0,8	2,56
8	0,9	2,88
10	0,925	2,96
12	1	3,2

### Lampiran 5. Data Arus Puncak Reduksi Terhadap Kadar O<sub>2</sub>

#### a) Elektroda Au

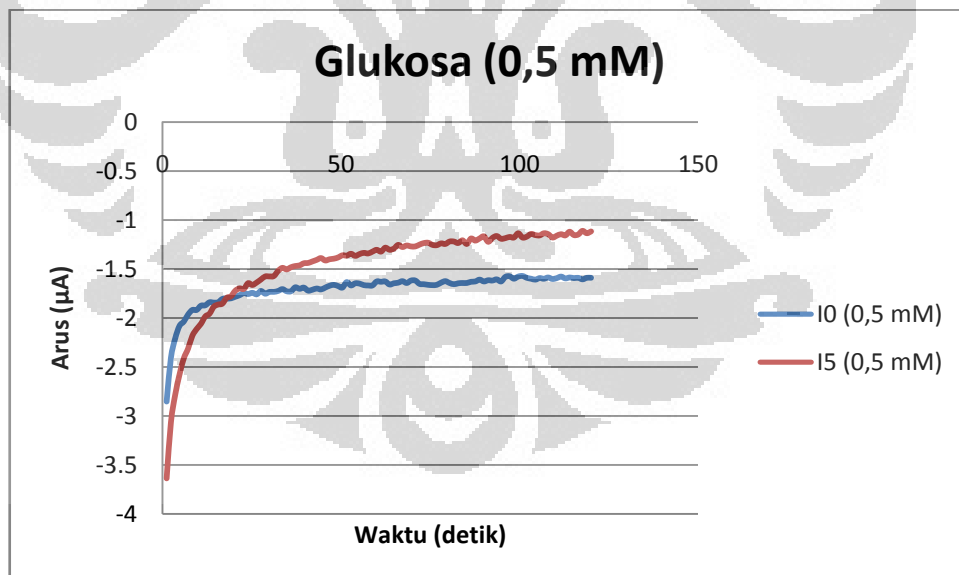
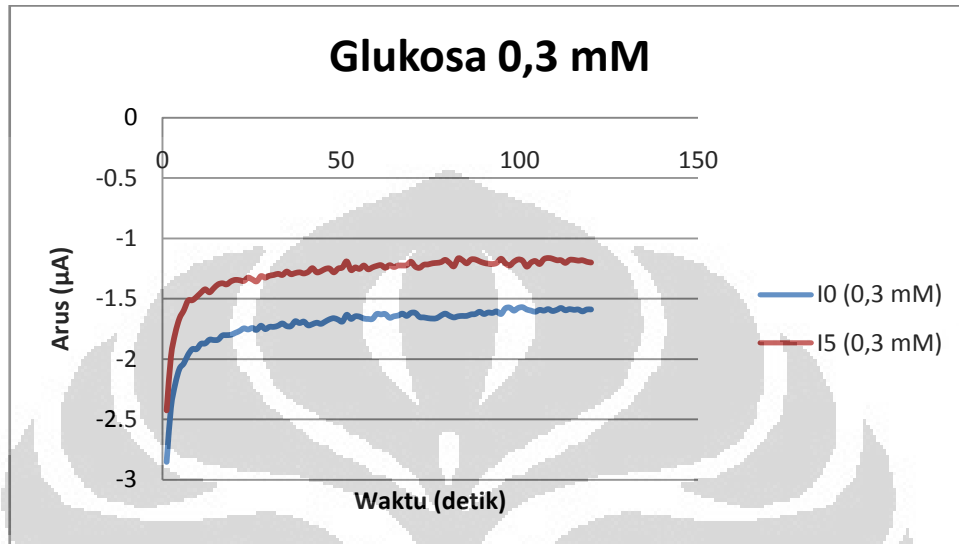
Kadar O <sub>2</sub> (ppm)	I (μA)
11,62	-2,67
12,76	-2,84
14,82	-3,07
15,78	-3,48
18,44	-4,06
20,89	-4,42

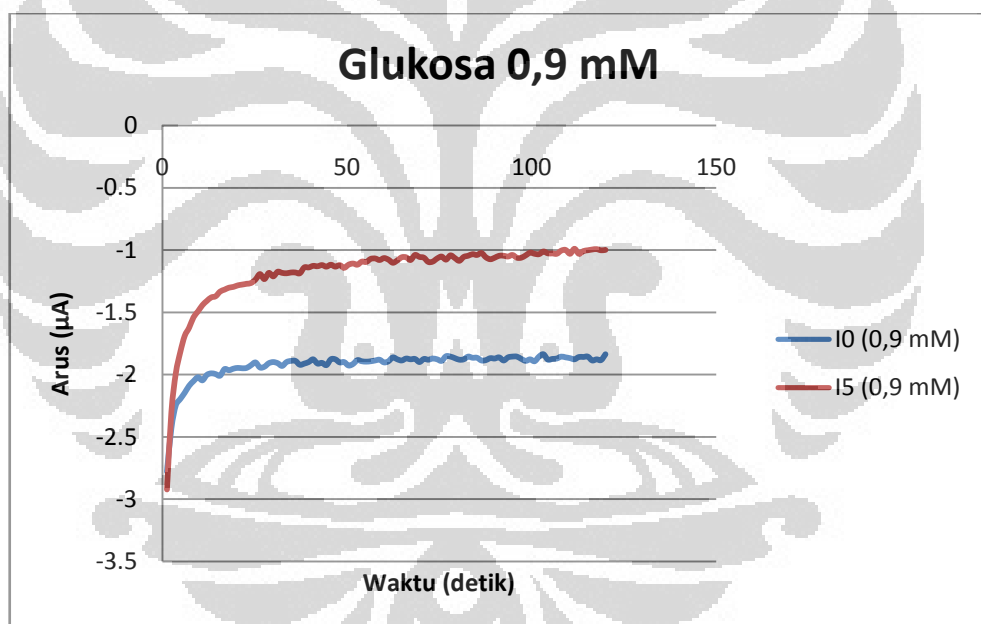
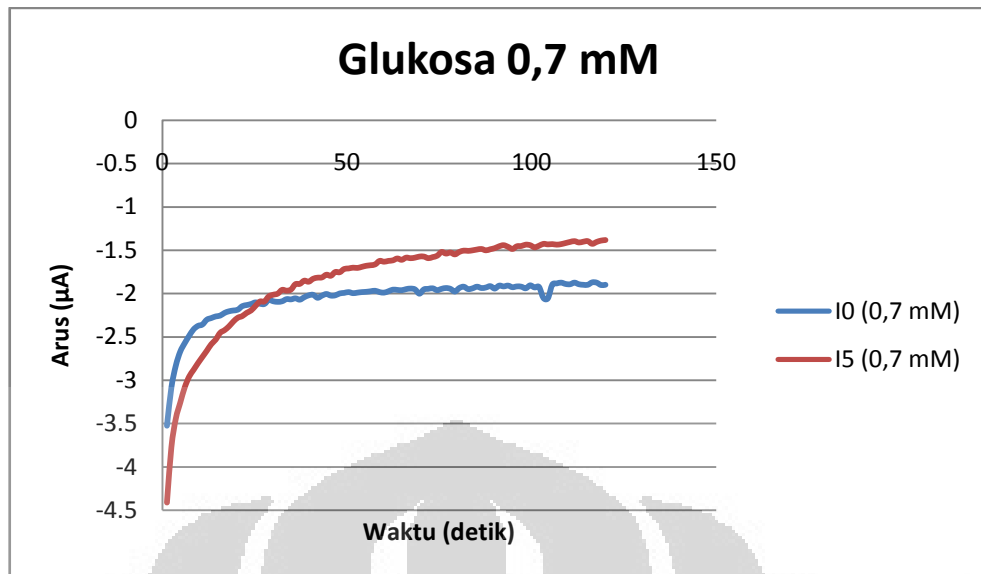
#### b) Elektroda Plastik@NPAu

Kadar O <sub>2</sub> (ppm)	I (μA)
11,62	-3,525
12,76	-3,6375
14,82	-3,9125
15,78	-4,66875
18,44	-4,90312
20,89	-5,6

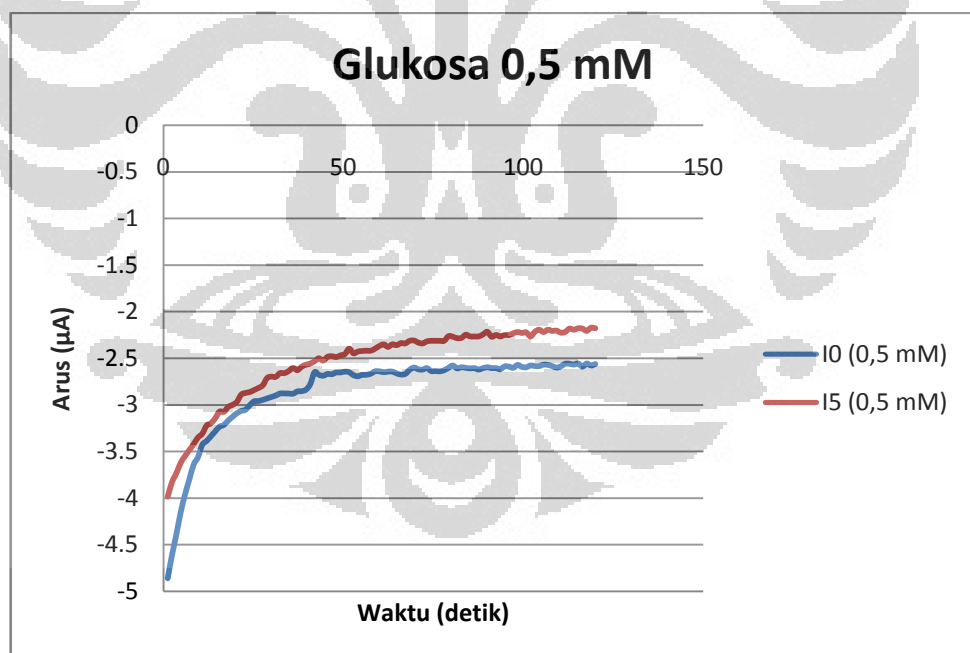
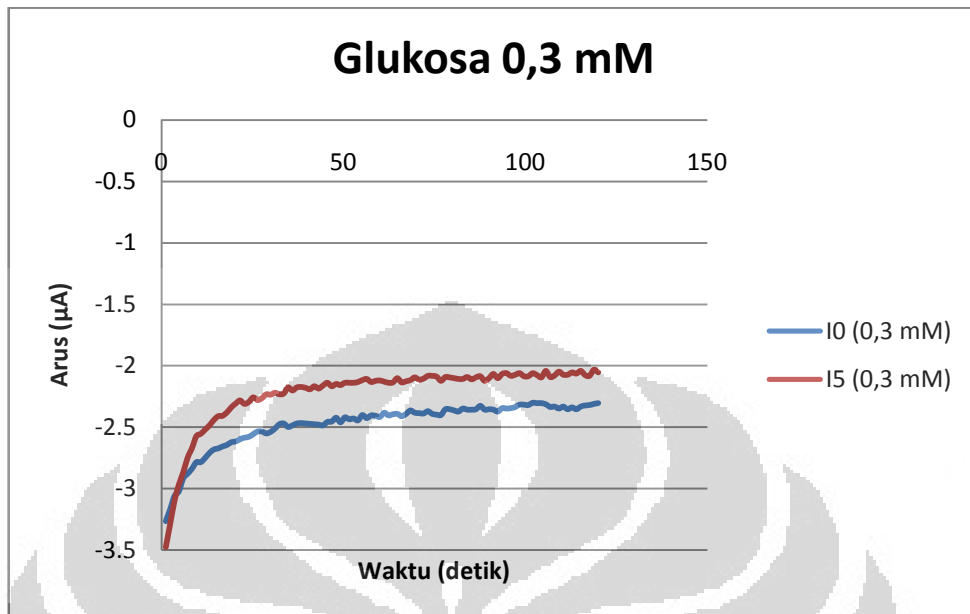
## Lampiran 6. Amperogram Arus $I_0$ dan $I_5$ pada Berbagai Konsentrasi Glukosa

### a) Elektroda Au

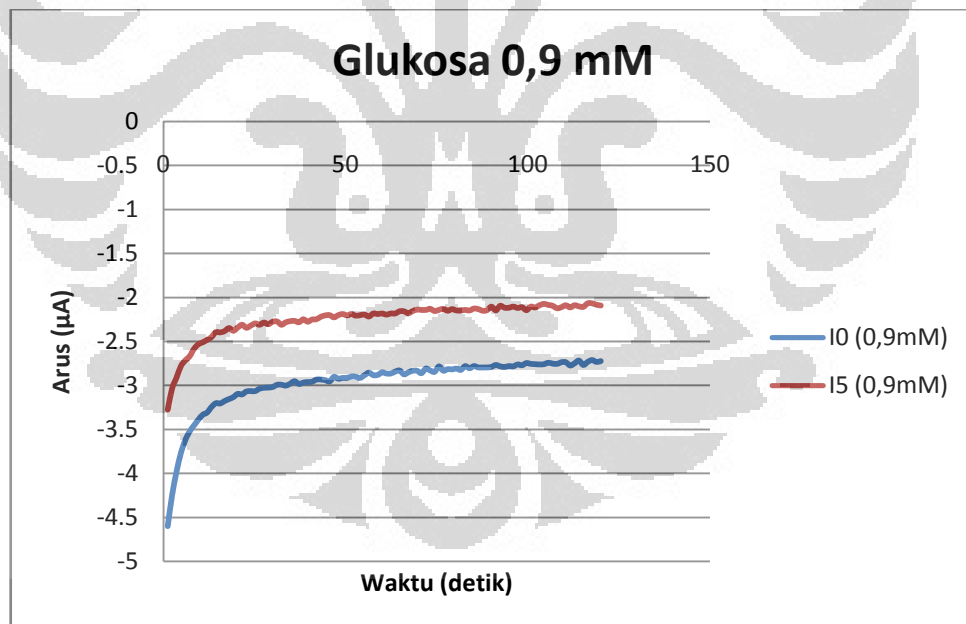
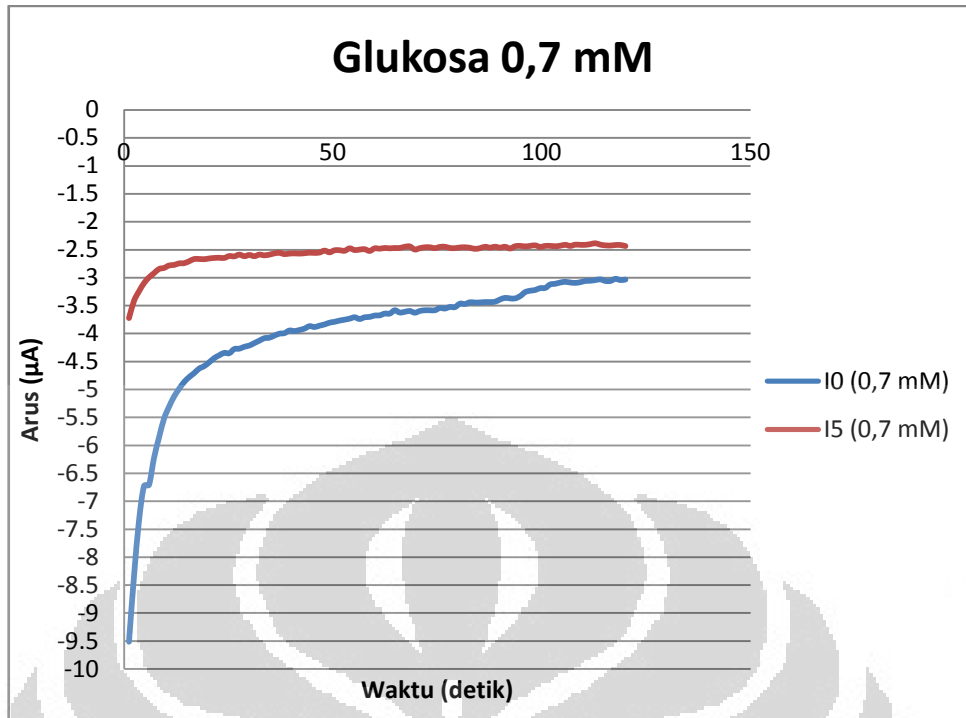




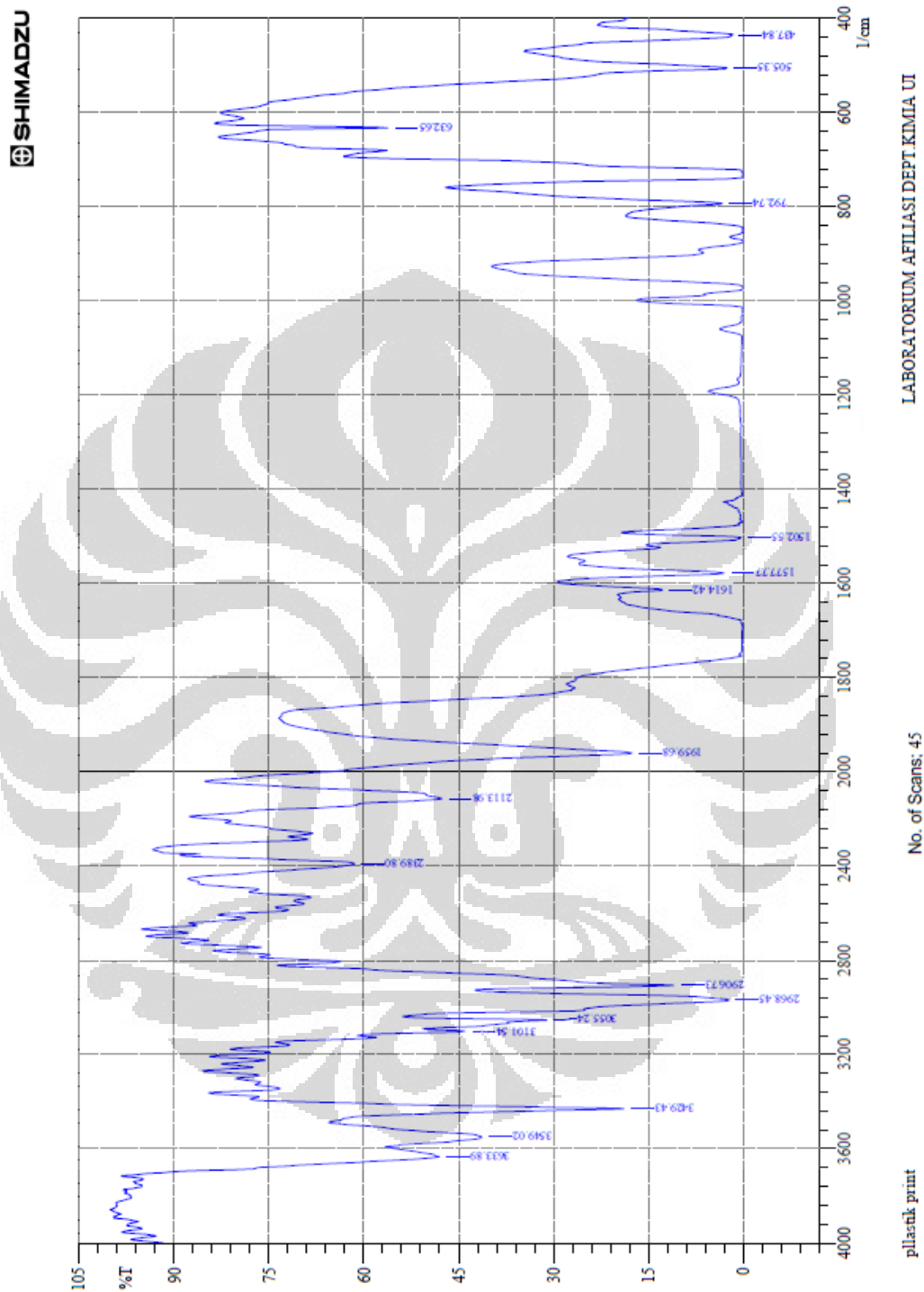
## b) Elektroda Plastik@NPau







### Lampiran 7. Spektrum FTIR Plastik



LABORATORIUM AFILIASI DEPT KIMIA UI

No. of Scans: 45

plastikan print

## Lampiran 8. Spektrum FTIR Plastik@NPAu

