



**ANALISIS ION SIANIDA (CN^-) PADA AIR RENDAMAN UMBI
GADUNG MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS*
DENGAN DETEKTOR POTENSIOMETRI**

SKRIPSI

Oleh :

**Indah Purwanti
121810301064**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS ION SIANIDA (CN^-) PADA AIR RENDAMAN UMBI
GADUNG MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS*
DENGAN DETEKTOR POTENSIOMETRI**

SKRIPSI

Oleh :

**Indah Purwanti
121810301064**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS ION SIANIDA (CN^-) PADA AIR RENDAMAN UMBI
GADUNG MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS*
DENGAN DETEKTOR POTENSIOMETRI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**Indah Purwanti
121810301064**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Keluarga tercinta, Ibunda Puji Eko Rahayu, Ayahanda Hariyanto, serta adikku Nur Rohman yang setia mendukung baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang dan pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;
2. Bapak/Ibu guru TK Al-Hidayah III, SDN Slawu 03, SMPN 01 Jember, SMKN 1 Sukorambi, bapak/ibu dosen Kimia, teknisi jurusan Kimia, dan segenap karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu, serta pengalamannya;
3. Kawan seperjuangan KIMIA 2012 (LANTHANIDA), keluarga besar Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, serta almamater Universitas Jember.
4. Sahabat seperjuangan Lubabah Putri Dhuhha, Tiara Farah Hidayah, Zuhrotullutfia, Chandra Lintang F, Ahmad Budianto dan M. Taufik Hidayat, terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
5. Sahabat tercinta, Zulia Asmin dan Bambang Hadi Suryanto terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

MOTO

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan”
(terjemahan Surat Al-Qashash ayat 77). *)

*)Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Pustaka Agung Harapan.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Indah Purwanti

NIM : 121810301064

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Ion Sianida (CN⁻) pada Air Rendaman Umbi Gadung menggunakan *Sequential Injection Analysis* dengan Detektor Potensiometri” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Januari 2018

Yang menyatakan,

Indah Purwanti
NIM 121810301064

SKRIPSI

**ANALISIS ION SIANIDA (CN⁻) PADA AIR RENDAMAN UMBI
GADUNG MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS*
DENGAN DETEKTOR POTENSIOMETRI**

Oleh

Indah Purwanti
NIM 121810301064

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Tri Mulyono, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Ion Sianida (CN⁻) pada Air Rendaman Umbi Gadung menggunakan *Sequential Injection Analysis* dengan Detektor Potensiometri” karya Indah Purwanti telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji;

Ketua,

Anggota I,

Tri Mulyono, S.Si., M.Si.
NIP. 196810021998021001

Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196605291993031003

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Donatus Setyawan P.H., S.Si., M.Si.
NIP. 196808021994021000

Asnawati, S.Si., M.Si.
NIP. 196808141999032001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Analisis Ion Sianida CN^- Pada Air Rendaman Umbi Gadung menggunakan Sequential Injection Analysis dengan Detektor Potensiometri; Indah Purwanti, 121810301064; 2017; 71 halaman; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

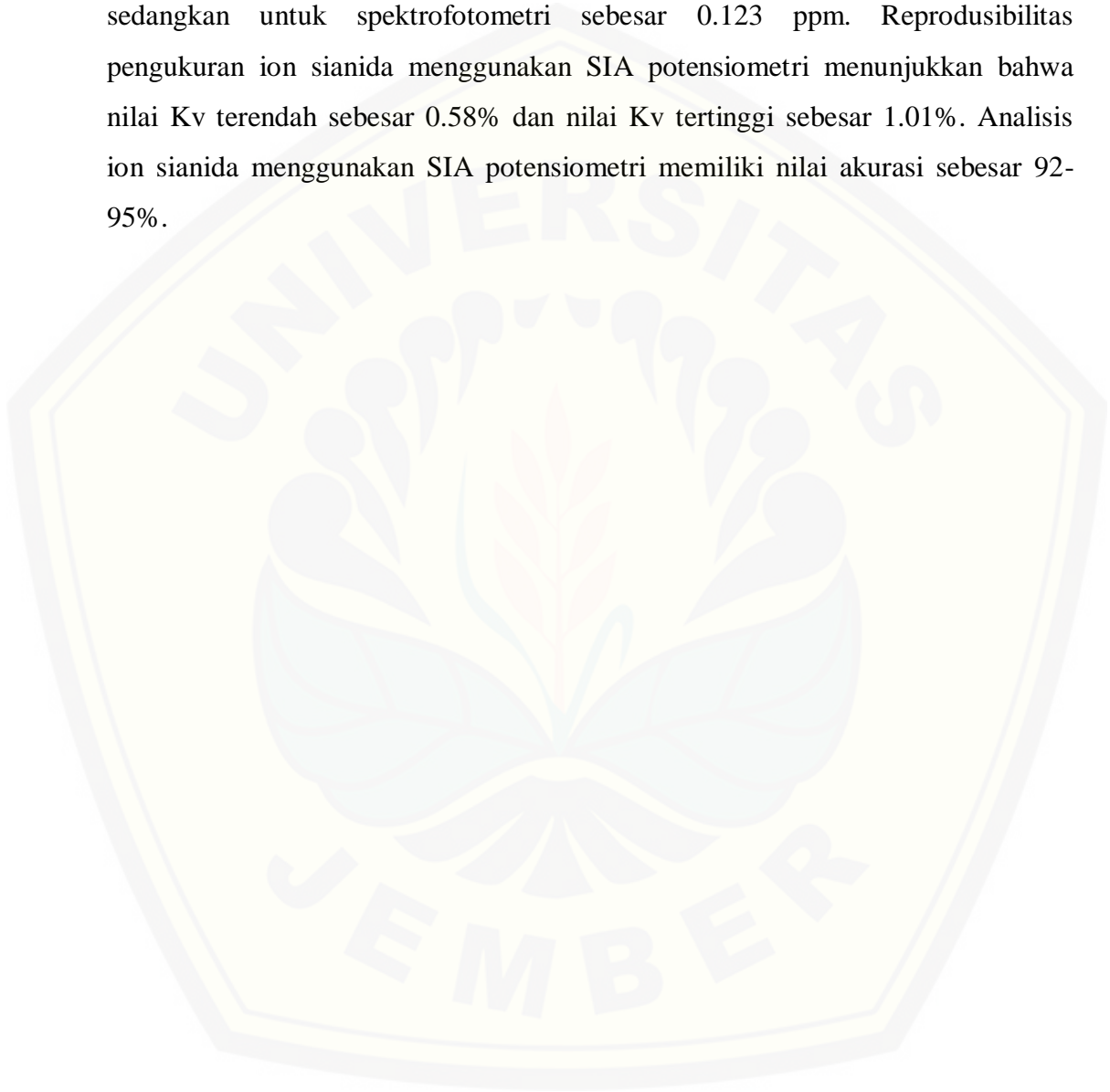
Umbi gadung (*Discorea hispida*) merupakan salah satu penghasil karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sekitar 29,7 gram dalam 100 gram umbi gadung segar (Hariana, 2004). Kendala yang dialami dalam pengolahan umbi gadung adalah adanya zat beracun salah satunya adanya kandungan sianida. Kandungan sianida pada gadung segar yaitu sekitar 469 ppm (Winarno, 2002).

Metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi ion sianida yang sering dilakukan salah satunya metode potensiometri. Metode potensiometri sangat selektif dan sensitif dalam penentuan beberapa senyawa yang dapat mengion terutama untuk senyawa organik (Zielinska *et al.*, 2004), selain itu metode ini juga termasuk salah satu metode yang dapat bekerja dengan baik dalam range deteksi yang luas (Situmorang *et al.*, 1999). Keunggulan SIA ini yaitu jumlah reagen yang dibutuhkan sangat sedikit, analisisnya berlangsung dengan *online*, cepat dan otomatis serta tidak menghasilkan limbah yang cukup banyak, sehingga analisis menggunakan metode ini akan lebih menghemat penggunaan reagen serta ramah lingkungan.

Penelitian SIA Potensiometri untuk ion sianida dilakukan dengan melakukan optimasi untuk laju alir dan volume ISAB. Laju alir yang digunakan adalah 1.35 mL/detik, 0.50 mL/detik, 0.14 mL/detik dan 0.10 mL/detik, sedangkan volume ISAB yang digunakan adalah 150, 200 dan 250 μL . Hasil optimasi laju alir dan volume ISAB digunakan dalam pengukuran ion sianida pada sampel air rendaman umbi gadung menggunakan SIA potensiometri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir optimum adalah 0.14 mL/detik, sedangkan volume ISAB optimum adalah 200 μL . Hasil kalibrasi larutan standar sianida dengan SIA potensiometri menghasilkan persamaan linier yaitu $y = -28.789x - 298.87$ dengan nilai regresi sebesar 0.9832, sedangkan

kalibrasi larutan standar sianida menggunakan metode spektrofotometri menghasilkan persamaan linier $y = 0.0058x + 0.1043$ dengan nilai regresi sebesar 0.9953. Nilai sensitivitas untuk pengukuran sianida dengan SIA potensiometri sebesar -28.789. SIA potensiometri memiliki limit deteksi sebesar 0.011 ppm sedangkan untuk spektrofotometri sebesar 0.123 ppm. Reprodusibilitas pengukuran ion sianida menggunakan SIA potensiometri menunjukkan bahwa nilai Kv terendah sebesar 0.58% dan nilai Kv tertinggi sebesar 1.01%. Analisis ion sianida menggunakan SIA potensiometri memiliki nilai akurasi sebesar 92-95%.



PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Ion Sianida CN⁻ Pada Air Rendaman Umbi Gadung menggunakan Sequential Injection Analysis dengan Detektor Potensiometri”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

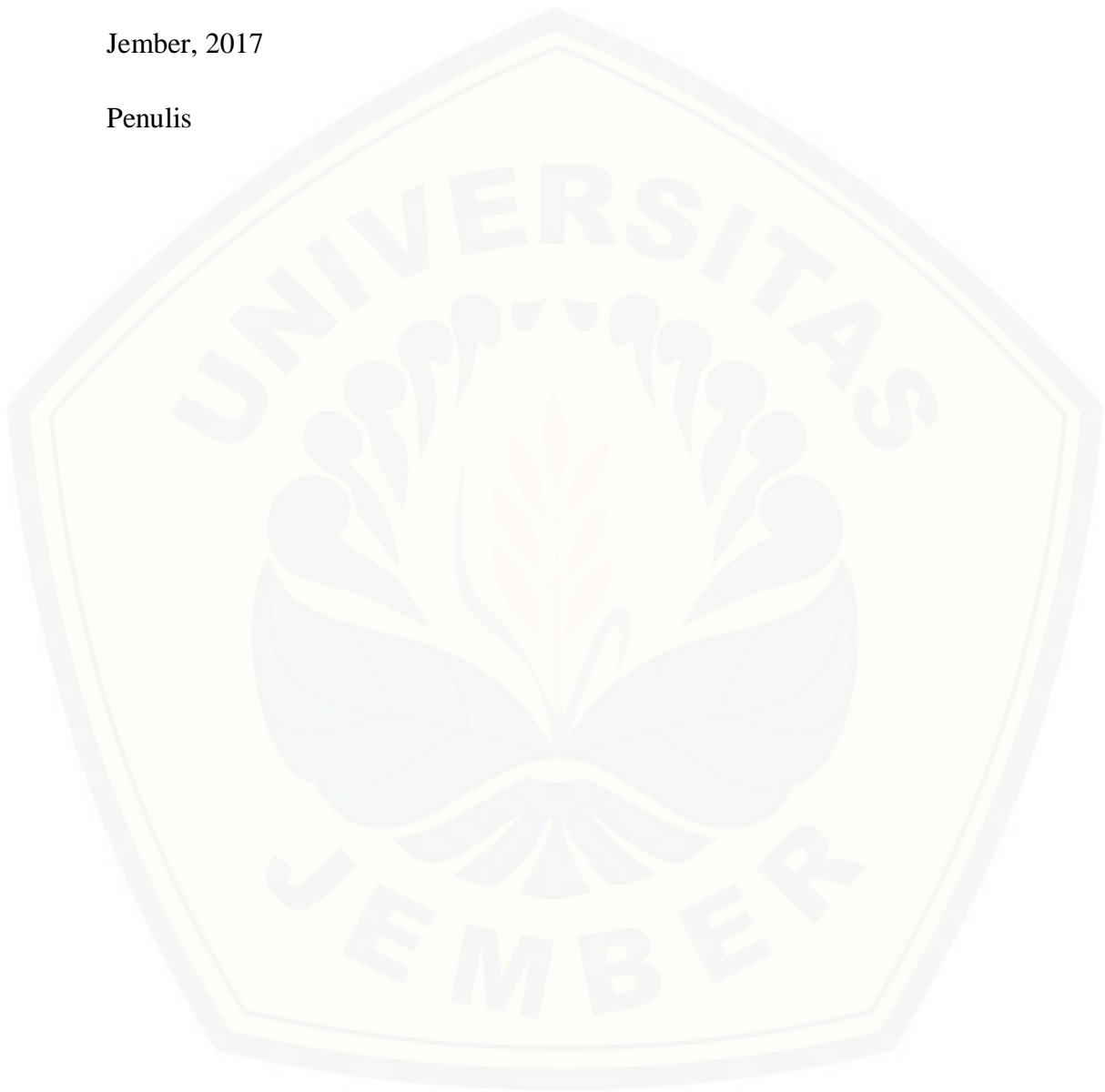
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Dr. Donatus Setyawan P.H. S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I, dan Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Drs. Mukh Mintadi selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa.
6. segenap dosen pengajar Fakultas MIPA, terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 2017

Penulis

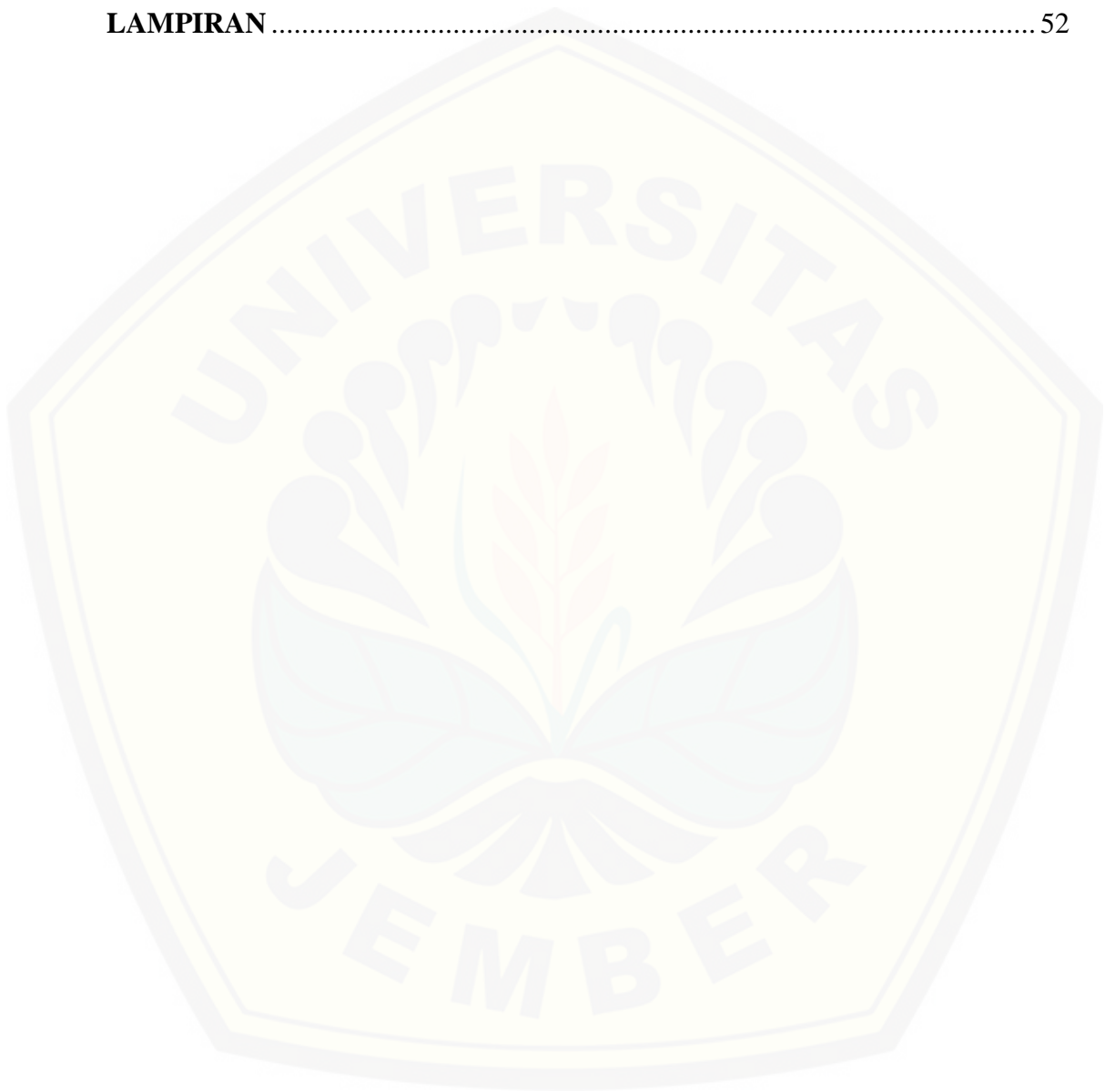


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN COVER	i
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umbi Gadung	5
2.1.1 Karakteristik Gadung	5
2.1.2 Komposisi Umbi Gadung	7
2.1.3 Kandungan Sianida dalam Umbi Gadung	7
2.1.4 Manfaat Umbi Gadung	8
2.2 Sianida	8
2.3 Elektrokimia	10
2.4 Potensiometri	10
2.5 Elektroda	12
2.5.1 Elektroda Kerja atau Elektroda Indikator	12

2.5.2 Elektroda Pembanding	18
2.6 Sequential Injection Analysis (SIA)	19
2.6.1 Instrumentasi SIA.....	21
2.7 Software LabView	23
2.8 Spektrofotometri UV-Vis	24
2.8.1 Hukum Lambert-Beer.....	24
2.8.2 Spektrofotometer Visibel.....	25
2.8.3 Bagian-bagian Spektrofotometer.....	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.2.1 Alat	27
3.2.2 Bahan	27
3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.4 Prosedur Penelitian	29
3.4.1 Pembuatan Larutan.....	29
3.4.2 Desain Analisis Ion Sianida menggunakan <i>Sequential Injection Analysis</i>	30
3.4.3 Parameter Pengamatan dalam Sistem SIA.....	30
3.4.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi	31
3.4.5 Persiapan Sampel.....	31
3.4.6 Pengukuran Sampel	32
3.4.7 Kriteria Pengukuran Analitik	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Desain <i>Sequential Injection Analysis</i> dengan Detektor Potensiometri	35
4.2 Optimasi Laju Alir	37
4.3 Optimasi Volume ISAB	39
4.4 Karakterisasi Pengukuran	41
4.4.1 Linieritas	41
4.4.2 Sensitivitas	43
4.4.3 Limit Deteksi.....	43
4.4.4 Reprodusibilitas.....	44
BAB 5. PENUTUP	48

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	52



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Protokol untuk sistem SIA Potensiometri	22
4.2 Variasi laju alir terhadap nilai beda potensial menggunakan larutan standar dan volume ISAB 10 μ L dengan 3 kali pengulangan	38
4.3 Variasi Volume total ISAB terhadap beda potensial menggunakan larutan standar dan laju alir 0.14 mL/detik dengan 3 kali pengulangan	39
4.5 Akurasi metode SIA potensiometri.....	47

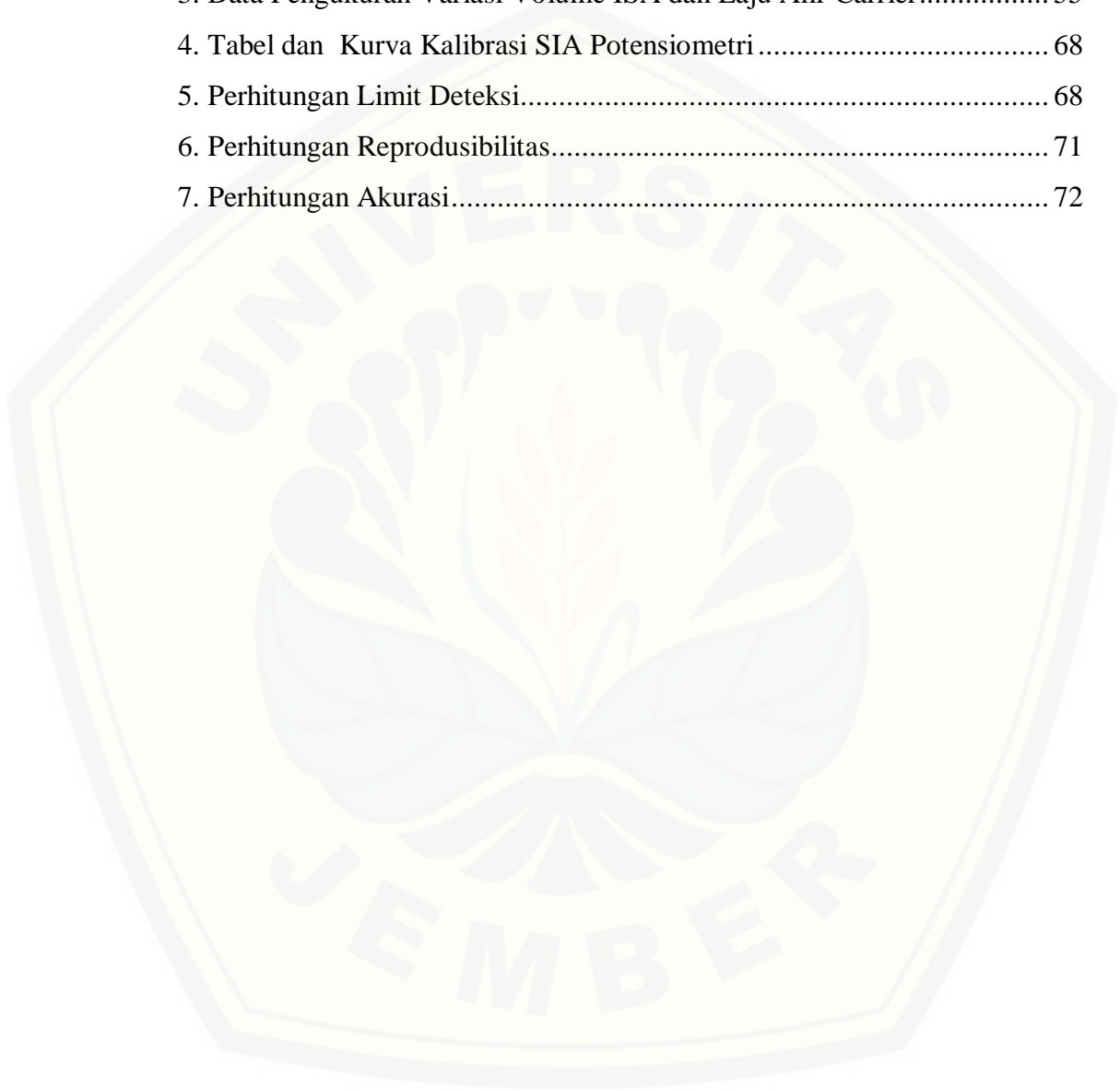


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tanaman Gadung	6
2.2 Pengukuran menggunakan Elektroda Selektif Ion.....	15
2.3 Kurva Kalibrasi dari Elektroda Selektif Ion.....	16
2.4 Beberapa contoh rangkaian <i>Sequential Injection Analysis</i>	21
4.1 Skema rangkaian SIA Potensiometer.....	35
4.2 Tampilan Halaman Kerja pada software LabView.....	37
4.3 Optimasi Laju Alir carrier pada metode SIA potensiometer.....	38
4.4 Optimasi Volume ISAB pada metode SIA dengan detektor	40
4.5 Kurva Kalibrasi Ion Sianida menggunakan Metode SIA Potensiometri	41
4.6 Kurva kalibrasi ion sianida pada metode spektrofotometer visibel	42
4.7 Reprodusibilitas Pengukuran Ion Sianida menggunakan SIA.....	44
4.8 Reprodusibilitas Pengukuran Ion Sianida menggunakan Metode	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Pembuatan Larutan Sianida.....	52
2. Data Penentuan Panjang Gelombang Maksimum untuk sianida.....	53
3. Data Pengukuran Variasi Volume ISA dan Laju Alir Carrier.....	55
4. Tabel dan Kurva Kalibrasi SIA Potensiometri.....	68
5. Perhitungan Limit Deteksi.....	68
6. Perhitungan Reprodusibilitas.....	71
7. Perhitungan Akurasi.....	72



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Umbi gadung (*Discorea hispida*) merupakan salah satu penghasil karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sekitar 29,7 gram dalam 100 gram umbi gadung segar (Hariana, 2004). Pengolahan gadung selama ini masih terbatas yaitu hanya diolah menjadi keripik gadung. Kandungan karbohidrat yang cukup tinggi membuat gadung berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi berbagai macam olahan makanan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Kendala yang dialami dalam pengolahan umbi gadung adalah adanya zat beracun salah satunya adanya kandungan sianida. Kandungan sianida pada gadung segar yaitu sekitar 469 ppm (Winarno, 2002). Kandungan sianida ini sangat berbahaya bagi tubuh manusia, akan tetapi kadar tersebut bisa diturunkan sampai pada ambang batas yang aman untuk dikonsumsi dengan pengolahan yang baik dan benar.

Sianida pada gadung dapat terlepas sebagai sianida bebas ketika umbi tersebut mengalami luka (akibat pengupasan dan pemotongan). Sianida yang dilepaskan oleh gadung juga dapat larut dalam air sehingga salah satu metode pengolahannya dapat dilakukan dengan merendam umbi gadung didalam air garam. Air rendaman umbi gadung tersebut biasanya langsung dibuang melalui saluran pembuangan yang mengarah langsung ke lingkungan. Konsentrasi sianida dalam limbah yang cukup besar berpotensi untuk mencemari lingkungan. Pengetahuan tentang konsentrasi sianida yang terkandung dalam limbah tersebut sangat diperlukan untuk menentukan penanganan yang harus dilakukan sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Sianida merupakan salah satu zat yang sangat reaktif dan termasuk dalam golongan zat beracun. Sianida terbentuk secara alami di alam karena adanya aktifitas metabolisme dari beberapa makhluk hidup seperti bakteri, tumbuhan dan beberapa mikroorganisme lain. Sianida juga dapat terbentuk pada proses pelapisan logam dan penambangan emas. Sianida yang masuk kedalam tubuh akan menimbulkan gangguan fungsi hati, kerusakan pada tulang, gangguan sistem pernapasan dan dapat menyebabkan kematian (Effendi, 2003).

Metode analisis untuk menentukan ion sianida sangat banyak. Salah satu

metode yang paling sering digunakan adalah metode potensiometri. Potensiometri adalah salah satu teknik analisis secara elektrokimia, dimana beda potensial yang dihasilkan pada kedua elektroda yang tidak terpolarisasi (*indicator electrode* dan *reference electrode*) diukur dengan arus mendekati nol (Khopkar, 1990) sehingga diperoleh hasil berupa komposisi kimia dari larutan (Kellner *et al.*, 1998). Metode potensiometri sangat selektif dan sensitif dalam penentuan beberapa senyawa yang dapat mengion terutama untuk senyawa organik (Zielinska *et al.*, 2004), selain itu metode ini juga termasuk salah satu metode yang dapat bekerja dengan baik dalam range deteksi yang luas (Situmorang *et al.*, 1999). Salah satu penelitian yang dilakukan untuk mendeteksi sianida dalam limbah cair yaitu dengan membandingkan metode spektrofotometri untuk sistem *batch* dan *flow injection analysis*. Hasil yang diperoleh dari kedua metode ini memiliki nilai akurasi sebesar 97.6-99.2% (Hassan *et al.*, 2007).

Sequential Injection Analysis (SIA) merupakan salah satu sistem yang menggunakan metode *online* dan otomatis yang dikontrol dengan komputer. Sistem ini masih jarang digunakan untuk analisis. Sistem ini biasanya terdiri dari *syringe pump*, *holding coil*, katup multiposisi dan detektor. Komponen-komponen tersebut dihubungkan satu dengan yang lain menggunakan pipa kapiler PTFE. Kerja sistem ini berbeda dengan FIA (*Flow Injection Analysis*). Kerja sistem ini diawali dengan pembentukan semen-segmen antara reagen dan sample dengan cara menginjektikannya pada *holding coil*, kemudian dialirkan menuju *flow cell* (sel alir) detektor. Detektor yang digunakan pada SIA bermacam-macam. Keunggulan SIA ini yaitu jumlah reagen yang dibutuhkan sangat sedikit, analisisnya berlangsung dengan *online*, cepat dan otomatis serta tidak menghasilkan limbah yang cukup banyak, sehingga analisis menggunakan metode ini akan lebih menghemat penggunaan reagen serta ramah lingkungan (Ruzicka & Marshal 1990).

Analisis ion sianida pada umbi gadung menggunakan *Sequential Injection Analysis* dengan detektor potensiometer belum pernah dilakukan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pengukuran menggunakan SIA diantaranya yaitu laju

alir dan volume sampel. Penelitian tentang faktor-faktor tersebut belum dilakukan dan diketahui kondisi optimum dalam penentuan ion sianida, sehingga penelitian ini perlu dilakukan. Keuntungan menggunakan sistem ini yaitu analisisnya dilakukan secara *online*, otomatis, mudah, cepat, lebih akurat dan lebih teliti. Sistem ini juga sangat menguntungkan jika jumlah sampel yang tersedia sedikit karena pada sistem ini sample tidak dialirkan secara terus menerus tetapi diinjeksikan dalam jumlah tertentu, sehingga tidak membutuhkan sampel dalam jumlah yang banyak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dicari pemecahannya berdasarkan latar belakang di atas yaitu :

1. Bagaimana pengaruh laju alir carrier terhadap respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis* ?
2. Bagaimana pengaruh volume ISAB terhadap respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis* ?
3. Bagaimana respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis* berdasarkan karakteristik pengukuran secara analitik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai merujuk pada rumusan masalah di atas yaitu :

1. Mengetahui pengaruh laju alir carrier terhadap respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis*.
2. Mengetahui pengaruh volume ISAB terhadap respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis*.
3. Mengetahui respon dari elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis* berdasarkan karakteristik pengukuran secara analitik yang meliputi daerah linier, limit deteksi, akurasi, sensitivitas dan reproduibilitas.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda selektif ion CN^- (ELIT CN1178)
2. Umbi Gadung yang digunakan adalah umbi gadung yang diambil dari Desa Sukamakmur, Kecamatan Ajung, Kabupaten Jember..
3. Umbi gadung yang digunakan dengan perbandingan 1:3 dan direndam dalam larutan garam 15% selama 5-7 hari.
4. Diameter *tubing* yang digunakan adalah 0,08 mm.
5. Panjang *mixing coil* yang digunakan adalah 100 cm.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu memberikan informasi tentang metode analisis yang sederhana dalam mendeteksi ion sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis* dengan detektor potensiometri.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umbi Gadung

2.1.1 Karakteristik Gadung

Gadung merupakan salah satu jenis tanaman yang dapat tumbuh di daerah beriklim tropis, seperti di Indonesia. Tanaman gadung ini dapat ditanam kapan saja karena tanaman ini tidak mengenal musim tanam (Rustina, 2011). Gadung yang tumbuh di beberapa daerah masih belum dibudidayakan. Gadung biasanya dapat ditemui di pekarangan, kebun dan hutan. Jumlah gadung yang dihasilkan pada beberapa daerah di Indonesia cukup signifikan. Tanaman gadung di Indonesia memiliki sebutan yang berbeda seperti sikapa (Bali dan Sulawesi) dan undo (Ambon). Gadung dapat dimanfaatkan menjadi makanan alternatif maupun makanan ringan dengan pengolahan yang benar. Gadung dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Tracheobionta*
Superdivisi : *Spermatophyta*
Divisi : *Magnoliophyta*
Klas : *Liliopsida*
Subklas : *Lilidae*
Ordo : *Liliales*
Familia : *Dioscoreacea*
Genus : *Dioscorea*
Spesies : *Dioscorea hispida* Dennst

(Pambayun, 2007).

Tanaman gadung adalah salah satu jenis tanaman perdu yang memiliki batang berduri, dapat merambat, berdaun lebar dan berbulu, serta memiliki akar yang menyerupai akar serabut. Tanaman ini memiliki batang berdiameter sekitar 0,9 cm, batangnya dapat merambat dan panjangnya dapat mencapai 10-20 meter, tergantung pada lingkungan tumbuhnya. Daun tanaman ini berbulu seperti beludru dan merupakan daun majemuk. Lebar daun tanaman ini adalah sekitar 30x28 cm.

gadung memiliki bunga yang tumbuh didaerah ketiak daun. Daun tersebut berbulir serta berbulu. Urutan pertumbuhan tanaman gadung yaitu diawali dengan menanam umbinya, kemudian mulai tumbuh akar dan tunas. Batang tunas yang telah mencapai panjang tertentu akan mulai tumbuh daun serta mulai membentuk umbi baru. Umbi yang dihasilkan biasanya berupa rimpang yang bulat, besar dan kulitnya berwarna coklat muda serta memiliki serabut yang kasar. Warna daging umbi gadung beraneka ragam tergantung pada jenisnya (Pambayun, 2007).



Gambar 2.1 Tanaman Gadung (Anonim,2016).

Umbi gadung berdasarkan warna daging umbinya dikelompokkan menjadi gadung putih dan gadung kuning. Contoh umbi gadung putih yaitu gadung arintil, kapur dan punel, sedangkan umbi gadung kuning yaitu gadung kunyit dan padi. Umbi gadung kuning kebanyakan memiliki umbi yang lebih padat dan besar dibandingkan dengan gadung putih (Muchtadi, 2010).

Tanaman gadung dapat tumbuh di hutan tropis dengan curah hujan tinggi, hutan kering, tanah hitam, tanah lempung ataupun tanah berpasir. Tanaman gadung juga dapat tumbuh disela-sela tanaman lain. Tanaman gadung dapat tumbuh dengan baik didaerah dataran rendah dengan ketinggian kurang dari 1200 meter diatas permukaan laut (Pambayun, 2007)

Umbi gadung dikatakan telah siap panen jika daun yang menempel pada batang sudah mulai rontok, kemudian pangkal batang lapuk dan dapat terlepas dari umbinya. Gadung yang mengalami tanda-tanda tersebut harus segera dipanen. Umbi gadung yang terlambat dipanen akan menghasilkan serat yang lebih banyak sehingga akan menurunkan kualitas produk olahan (Pambayun, 2007).

2.1.2 Komposisi Umbi Gadung

Umbi gadung memiliki kandungan karbohidrat, lemak, zat gizi mikro, kalsium, besi serta kalori yang lebih rendah dari singkong, akan tetapi kandungan protein, fosfor, vitamin B dan air yang terdapat dalam gadung lebih tinggi dari singkong. Protein umbi gadung tersusun dari asam amino glutamat dengan jumlah yang cukup signifikan. Hal ini menyebabkan umbi gadung memiliki rasa yang lebih gurih saat dikonsumsi dibandingkan dengan umbi-umbi yang lainnya (Pambayun, 2007)

Umbi gadung selain memiliki kandungan zat gizi juga memiliki kandungan alkaloid yaitu dioskorin. Dioskorin merupakan senyawa yang memiliki rumus kimia $C_{13}H_{19}O_2N$ dengan berat molekul 221,16 gram/mol. Dioskorin bersifat relatif basa, memiliki satu atau lebih atom nitrogen dan mudah larut dalam air, asam, basa serta alkohol, akan tetapi dioskorin sangat suka larut dalam eter dan benzene. Senyawa ini tergolong senyawa toksik karena dapat mengakibatkan kelumpuhan karena senyawa ini memiliki efek *haemolisis* pada sistem saraf. Gejala yang ditimbulkan jika mengkonsumsi gadung yang pengolahannya tidak benar dan sempurna yaitu pusing, lemas, munta-muntah, kejang perut, radang tenggorokan dan pingsan (Pambayun, 2007).

2.1.3 Kandungan Sianida dalam Umbi Gadung

Umbi gadung segar secara teori dapat mengandung 50-400 mg/kg sianida (Sibuea dan Maligan, 2011). Kandungan asam sianida pada umbi gadung berdasarkan penelitian Rudito, dkk (2009) yaitu 120 mg/kg. Kandungan sianida pada gadung berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Harjono, dkk (2009) yaitu 469 mg/kg. Menurut Winarno (2002), dosis asam sianida yang dapat ditoleransi oleh tubuh manusia adalah 0,5-3,5 mg/kg. Sianida yang diperbolehkan ada dalam produk olahan pangan menurut Standar Nasional Indonesia yaitu sianida yang terbentuk secara alami atau akibat adanya penambahan zat lain seperti perisa alami. Konsentrasi sianida yang diperbolehkan ada dalam produk olahan pangan maksimal yaitu sebesar 1 ppm (Badan Standardisasi Nasional, 2006).

Sianida yang terdapat dalam umbi gadung biasanya berupa sianida dalam bentuk bebasnya yaitu asam sianida (HCN), selain itu juga terdapat sianida dalam bentuk terikat yaitu senyawa glikosida seperti linamarin dan lotausralin. Asam sianida yang dihasilkan merupakan salah satu bentuk proteksi dari tanaman ketika terjadi peradangan atau luka pada tanaman. Asam sianida dalam gadung terbentuk sebagai hasil hidrolisis senyawa-senyawa glikosida sianogenik diantaranya linamarin, durin dan lotausralin. Linamarin akan terhidrolisis dengan adanya aktivitas enzim linamarase sehingga akan membentuk glukosa dan senyawa sianohidrin. Sianohidrin yang dihasilkan akan dipecah menjadi asam sianida dan aseton. Linamarase adalah enzim yang dapat menghidrolisis linamarin menjadi sianida. Linamarase tergolong dalam enzim ekstraseluler, oleh sebab itu ketika terjadi peradangan yang menyebabkan rusaknya dinding sel maka linamarase yang terdapat dalam sel akan bereaksi dengan linamarase sehingga reaksi hidrolisis dapat berlangsung (Widodo, 2005).

2.1.4 Manfaat Umbi Gadung

Umbi gadung dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan alternatif sebagai sumber karbohidrat, hal ini dikarenakan komponen utama penyusun umbi gadung adalah karbohidrat. Komposisi karbohidrat yang ada pada gadung berpotensi untuk dikembangkan menjadi bahan utama industri pengolahan tepung dan beberapa produk olahan lainnya (Pambayun, 2007).

Komposisi karbohidrat yang lebih rendah dibandingkan dengan singkong, membuat umbi gadung dapat dijadikan sebagai pengobatan untuk penderita diabetes mellitus dan rematik. Senyawa alkaloid yang terkandung dalam umbi gadung dapat dimanfaatkan sebagai racun untuk hewan dan obat untuk luka. Limbah hasil pengolahan tepung gadung dapat dimanfaatkan sebagai insektisida (Hariana, 2004).

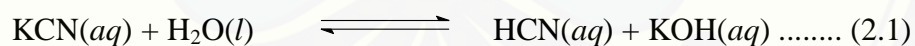
2.2 Sianida

Sianida berasal dari bahasa Yunani yang memiliki arti 'biru'. Hal ini didasarkan pada istilah yang diberikan untuk hidrogen sianida di Jerman yaitu Blausäure (dalam Bahasa Inggris = *blue acid*). Hidrogen sianida merupakan

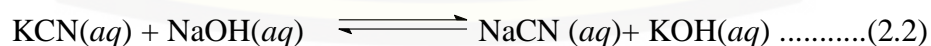
bentuk bebas dari sianida yang berupa gas berbau pahit mirip seperti almond dan tidak berasa. Hidrogen sianida dalam suhu kamar berwujud cairan mulai dari tidak berwarna sampai berwarna biru pucat. Hidrogen sianida bersifat mudah menguap dan terbakar serta mudah larut dalam air.

Sianida dapat ditemukan didaratan maupun di perairan. Sianida paling banyak ditemukan di perairan, hal ini dikarenakan limbah industri mayoritas berupa cairan dan akan dibuang ke perairan. Industri yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan sianida diantaranya industri pelapisan logam, pertambangan, kimia organik dan pupuk. Konsentrasi sianida yang digunakan pada industri pertambangan baik itu pertambangan emas atau perak dapat mencapai 250 mg/liter. Konsentrasi sianida maksimum dalam perairan yang disarankan yaitu sekitar 0,005 mg/liter. Kadar maksimum sianida yang terkandung dalam air untuk konsumsi menurut WHO yaitu 0,07 mg/liter (Effendi, 2003).

Sianida yang terdapat di perairan sangat dipengaruhi oleh suhu, oksigen terlarut, pH, salinitas dan adanya ion-ion lain. Sianida yang terdapat dalam perairan akan menghambat pertukaran oksigen pada makhluk hidup di perairan tersebut. Ion sianida akan mudah berikatan senyawa-senyawa yang tersuspensi dalam perairan. Sifat sianida yang mudah larut dalam air membuat sianida dapat berdisosiasi membentuk asam sianida. Persamaan reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Sianida dapat bereaksi dengan basa membentuk garam. Garam yang terbentuk dapat berdisosiasi membentuk asam sianida. Persamaan reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



(Effendi, 2003).

Sianida memiliki sifat mudah menguap yang mengakibatkan senyawa ini dapat mencemari udara. Konsentrasi sianida di udara yang melebihi batas sangat

berbahaya bagi makhluk hidup. Sianida yang terdapat di udara kebanyakan berbentuk partikel-partikel berukuran kecil yang dapat berkurang jumlahnya jika terjadi hujan atau salju. Sianida yang telah membentuk asam sianida akan lebih sulit untuk dihilangkan atau dikurangi jumlahnya, hal ini dikarenakan waktu paruh asam sianida untuk menghilang dari udara yaitu sekitar 1-3 tahun. Jumlah sianida yang terdapat di perairan dapat dikurangi dengan menambahkan mikroorganisme pengurai sianida, sehingga sianida akan diuraikan oleh mikroorganisme tersebut. Proses pengurangan atau penghilangan sianida ini selain dapat digunakan di perairan juga dapat diterapkan untuk mengurangi sianida yang berada di tanah (Anonim, 2016).

2.3 Elektrokimia

Elektrokimia adalah salah satu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya didasarkan pada sifat-sifat kelistrikan cuplikan yang dianalisis dalam suatu sel yang disebut sel elektrokimia. Sel elektrokimia mempelajari hubungan antara konsentrasi dengan beda potensial, arus listrik dan jumlah muatan listrik. Analisis secara elektrokimia dibagi menjadi potensiometri, konduktometri, koulometri, polarografi dan voltametri (Hendayana *et al.*, 1994).

Konsep dasar reaksi yang terjadi didalam elektrokimia yaitu reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi yaitu reaksi dimana terjadi pelepasan elektron oleh suatu spesi, sedangkan reaksi reduksi yaitu reaksi dimana terjadi penangkapan elektron oleh suatu spesi. Reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada satu spesi secara bersamaan mengakibatkan adanya aliran elektron. Aliran elektron tersebut menunjukkan bahwa terdapat arus listrik. Perpindahan elektron tersebut akan membuat muatan atom-atom yang berikatan mengalami perubahan muatan yang biasa disebut dengan redoks. Informasi berupa arus listrik maupun beda potensial yang terukur akan diubah sehingga konsentrasi, aktifitas dan kinetika reaksi suatu spesi dalam larutan (Khopkar, 1990).

2.4 Potensiometri

Potensiometri merupakan bagian dari teknik analisis kuantitatif dengan menggunakan sel elektrokimia. Potensiometri adalah salah satu pengukuran yang

didasarkan pada pengukuran dua elektroda yang tidak terpolarisasi pada arus mendekati nol. Metode ini telah lama digunakan untuk mendeteksi titik akhir titrasi, akan tetapi sekarang metode potensiometri ini dapat juga digunakan untuk mengetahui konsentrasi ion dari suatu analit (Khopkar, 1990).

Potensiometri adalah salah satu metode sederhana yang dapat digunakan untuk mengaplikasikan sensitifitas, selektifitas dan kecepatan deteksi pada proses analisis yang dilakukan secara langsung. Pengukuran dengan metode potensiometri dibagi menjadi beberapa jenis tergantung dari elektroda yang digunakan seperti redoks, elektroda kaca, ion selektif elektroda dan sensitive elektroda. Nilai potensial sel elektrokimia merupakan nilai yang muncul ketika terjadi perubahan energi bebas pada reaksi kimia sampai kondisi setimbang tercapai. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = -nFE_{\text{reaksi}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$\Delta G = -nFE$ dan $\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}$ maka persamaannya dapat ditulis

$$-nFE = -nFE^{\circ} + RT \ln Q$$

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

$$E = E^{\circ} - \frac{0,0592}{n} \log Q \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

G adalah perubahan energi bebas reaksi

n adalah jumlah elektron yang digunakan dalam reaksi

F adalah bilangan Faraday

R adalah tetapan gas ideal

T adalah temperatur mutlak

E° adalah nilai potensial standar

E_{reaksi} adalah nilai potensial reaksi (Hendayana, 1994)

Reaksi yang terjadi pada kondisi standar, maka nilai potensial selnya merupakan perbedaan beda potensial antara katoda dan anoda yang dinyatakan sebagai berikut:

$$E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{katoda}} - E^{\circ}_{\text{anoda}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Potensiometri dibagi menjadi dua jenis yaitu potensiometri langsung dan tidak langsung. Potensiometri langsung merupakan pengukuran yang dilakukan dimana nilai potensial sel ditentukan serta di hubungkan dengan besarnya aktifitas maupun konsentrasi spesi kimia dalam larutan. Potensiometri tidak langsung merupakan pengukuran beda potensial untuk menentukan titik ekuivalen dan titik akhir suatu titrasi dengan cara melakukan variasi beda potensial kemudian dimonitor sebagai fungsi penambahan reagen pada larutan sampel (Kellner *et al.*, 1998).

2.5 Elektroda

Elektroda merupakan salah satu komponen penting yang harus ada dalam analisis elektrokimia. Elektroda digunakan untuk menghantarkan listrik dari sel dan lingkungan dengan nilai potensial yang telah dibuat konstan dan tidak bereaksi dengan analit yang dianalisis. Elektroda yang sering digunakan ada dua macam yaitu elektroda kerja (*working electrode*) atau elektroda indikator (*indicator electrode*) dan elektroda pembanding (*reference electrode*).

2.5.1 Elektroda Kerja atau Elektroda Indikator

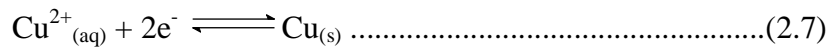
Elektroda kerja adalah elektroda tempat terjadinya reaksi redoks dari suatu analit. Nilai potensial yang dihasilkan bergantung pada aktivitas ion dalam analit tersebut. Karakteristik yang harus dimiliki oleh sebuah elektroda kerja yaitu memiliki range potensial yang lebar, hambatan atau gangguan yang kecil dan permukaan yang reproduibel. Range potensial dari suatu elektroda kerja bergantung pada jenis elektroda kerja dan larutan elektrolit yang digunakan. elektroda kerja dikelompokkan menjadi dua berdasarkan bahan penyusunnya yaitu elektroda logam dan elektroda membran (Sukarti, 1998).

2.5.1.1 Elektroda Logam

Elektroda logam dibagi menjadi empat jenis yaitu elektroda jenis pertama, kedua tiga dan redoks.

a. Elektroda jenis pertama (*first kind*)

Elektroda jenis pertama merupakan elektroda yang bersifat reversible terhadap kation yang berasal dari elektroda logam tersebut. Contoh elektroda jenis pertama ini adalah perak, raksa, cadmium, timbal dan seng.



$$E = E^{\circ}_{\text{Cu}} - \frac{0,0592}{2} \log \frac{1}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

$$= E^{\circ}_{\text{Cu}} - \frac{0,0592}{2} p\text{Cu} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana pCu merupakan nilai $-\log [\text{Cu}^{2+}]$, sehingga elektroda tembaga dapat mengukur pCu secara langsung (Hendayana, 1994).

b. Elektroda jenis kedua (*second kind*)

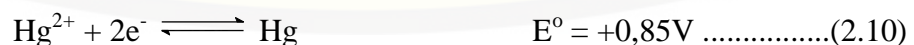
Elektroda jenis kedua merupakan elektroda yang memiliki nilai potensial yang bergantung pada besarnya konsentrasi anion pada larutan yang terbentuk karena adanya reaksi antara ion-ion pada larutan dengan ion pada elektroda sehingga membentuk endapan atau ion kompleks yang stabil. Contoh elektroda jenis kedua salah satunya adalah elektroda perak yang digunakan untuk mendeteksi ion halida. Ion klorida dapat ditentukan menggunakan elektroda perak dengan cara membuat larutan sampel yang akan dianalisis menjadi jenuh.



(Hendayana, 1994).

c. Elektroda jenis ketiga (*third kind*)

Elektroda jenis ketiga merupakan elektroda logam yang memiliki nilai potensial yang bergantung pada besarnya konsentrasi ion logam lain dalam larutan. Contoh elektroda jenis ketiga yaitu elektroda raksa (Hg). Elektroda raksa ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi logam-logam seperti Zn^{2+} , Ca^{2+} atau Cd^{2+} .



$$E = 0,85 - 0,059 \log \frac{K\text{HgY}[\text{MY}^{2-1}]}{K\text{MY}[\text{HgY}^{2-}][\text{M}^{2+}]} \dots\dots\dots(2.11)$$

(Hendayana, 1994).

d. Elektroda redoks

Elektroda redoks merupakan elektroda yang digunakan pada reaksi-reaksi redoks. Logam-logam yang umum digunakan untuk membuat elektroda redoks diantaranya adalah platina, emas dan palladium. Contoh elektroda redoks adalah elektroda platina yang digunakan untuk mendeteksi ion-ion Ce^{3+} dan Ce^{4+} .

$$E = E^0 - 0,059 \log \left[\frac{Ce^{3+}}{Ce^{4+}} \right] \dots\dots\dots(2.12)$$

(Hendayana, 1994).

2.5.1.2 Elektroda Membran

Elektroda membran atau biasa dikenal dengan sebutan elektroda selektif ion (ESI) adalah membran yang digunakan untuk mendeteksi ion-ion tertentu dalam sel elektrokimia. Komponen penyusun elektroda membran yaitu membran selektif ion, larutan pengisi internal elektroda dan elektroda pembanding internal. Elektroda selektif ion adalah elektroda yang bekerja secara potensiometrik dan memberikan informasi berupa sinyal yang dikonversi menjadi potensial listrik serta selektif terhadap ion-ion tertentu. Nilai potensial yang terukur oleh elektroda selektif ion sangat kecil (mV- μ V) sehingga pengukurannya harus menggunakan milivoltmeter dan mikrovoltmeter. Elektroda selektif ion memiliki sensitifitas dan selektifitas yang baik dalam mendeteksi ion-ion tertentu dalam suatu analit (Sawyer *et al.*, 1995).

Nilai potensial membran (E_m) berhubungan dengan besarnya aktifitas ion (i) yang ada didalam larutan, hal ini dikarenakan elektroda selektif ion bekerja secara selektif terhadap ion-ion tertentu. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara potensial membran dengan aktifitas ion dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_m = \frac{RT}{Z_i} \ln \frac{a'_i}{a_i} \dots\dots\dots(2.13)$$

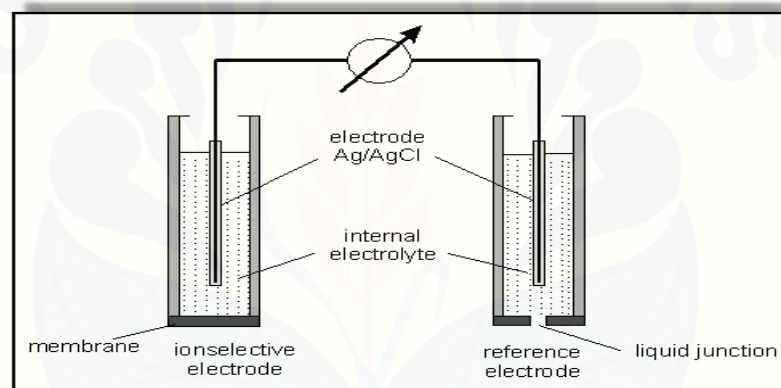
Dimana Z_i adalah muatan ion I , a'_i adalah aktifitas ion i dalam larutan sampel dan a''_i adalah aktifitas ion i dalam larutan pengisi internal (Kellener *et al.*, 1998).

Elektroda selektif ion bekerja mengikuti persamaan Nerst dimana membran sebagai pemisah antara dua larutan yang memiliki aktifitas yang berbeda akan

menghasilkan beda potensial pada jarak tertentu pada membran. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

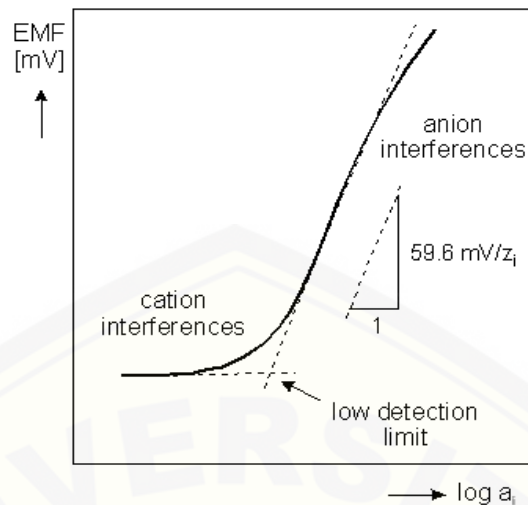
$$E = RT/zF \cdot \ln (a_2/a_1) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana E adalah gaya elektromotif (emf) dari sel (V), F adalah konstanta Faraday sedangkan a_1 dan a_2 adalah aktifitas ion. Beda potensial diukur dengan cara meletakkan elektroda selektif ion dan elektroda pembanding dalam satu larutan sampel. Pengukuran dilakukan pada arus nol dan larutan harus dalam keadaan setimbang. Keadaan setimbang adalah keadaan dimana terjadi transfer ion dari membran menuju larutan sama dengan transfer ion dari larutan menuju ke membran.



Gambar 2.2 Pengukuran menggunakan Elektroda Selektif Ion.

Kurva kalibrasi untuk pengukuran menggunakan elektroda selektif ion dapat dibuat dengan cara mengkalibrasi larutan dengan elektroda selektif ion. Nilai potensial yang dihasilkan dan aktivitas analit dari kalibrasi tersebut kemudian dibuat kurva kalibrasi seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Kurva Kalibrasi dari Elektroda Selektif Ion.

Aktivitas ion dari suatu analit umumnya ditentukan dengan cara melihat daerah linier dari kurva kalibrasi. Aktivitas ion selain ion analit merupakan salah satu pengganggu yang cukup berpengaruh terhadap beda potensial yang terukur. Pengaruh tersebut dapat dipertimbangkan keberadaannya melalui persamaan Nikolski Eismen yang dinyatakan sebagai berikut:

$$E = \text{konst} + S (\log(a_x) + (z_x/z_y) \cdot \log(K_{xy} \cdot a_y)) \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

- a_x = aktivitas ion target
- a_y = aktivitas ion pengganggu
- z_x = muatan ion target
- z_y = muatan ion pengganggu
- $K_{x,y}$ = Koefisien Selektifitas

Elektroda selektif ion memiliki karakteristik diantaranya yaitu:

a. Sensitivitas

Sensitivitas dapat dinyatakan dengan besarnya nilai slope sebuah kurva yang dibuat dengan range tertentu (Miller dan Miller, 1991).

Sensitivitas dapat dinyatakan sebagai rasio perubahan sinyal terhadap perubahan konsentrasi dari analit. Nilai sensitivitas yang sangat besar menunjukkan bahwa dengan konsentrasi analit yang kecil akan dapat memberikan perubahan sinyal yang berarti (Kateman, 1993).

b. Reprodusibilitas

Reprodusibilitas adalah kemampuan elektroda dalam memberikan respon yang sama ketika percobaan tersebut diulang dengan cara sistem di atur ulang dengan input yang sama. Pengulangan percobaan dilakukan untuk mengetahui limit dari percobaan tersebut. Nilai limit yang kecil sangat diharapkan dalam pengulangan percobaan tersebut (Caulcutt, 1995).

Hasil pengulangan dinyatakan sebagai besarnya koefisien variasi dari simpangan induk. Koefisien variasi dalam analisis kimia biasanya dibawah 5%, artinya dalam 100 kali pengulangan terdapat 5 kali kesalahan. Koefisien variasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Kv = \left[\frac{SD}{x} \right] x 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

Kv = koefisien variasi

SD = standar deviasi

X = signal rata-rata sampel (Miller dan Miller, 1991).

Standar deviasi (SD) atau simpangan baku merupakan sebuah perhitungan tentang seberapa besar kesalahan yang mungkin dapat terjadi dalam suatu pengukuran. Standar deviasi yang semakin besar menunjukkan bahwa data hasil pengukuran yang diperoleh tidak seragam, apabila standar deviasi sama dengan nol maka data hasil pengukuran tersebut nilainya seragam. Standar deviasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

SD = standar deviasi

\bar{x} = potensial rata-rata

n = banyaknya pengulangan

c. Slope/ kemiringan

Slope atau kemiringan dari kurva kalibrasi pada pengukuran potensiometri menunjukkan pengukuran tersebut mengikuti pola nerstian jika nilai slope untuk ion bermuatan satu 59,1 mV/dekade dan untuk ion bermuatan dua 29,58 mV/dekade (Eggins, 2000).

d. Linieritas

Linieritas dapat dilihat dari daerah linier kurva kalibrasi. Daerah linier kurva kalibrasi digambarkan dengan cara memplotkan konsentrasi analit sebagai sumbu x dan potensial yang dihasilkan sebagai sumbu y. Respon linier suatu kurva kalibrasi ditunjukkan dengan persamaan:

$$y = bx + a \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana b merupakan slope/kemiringan dari kurva dan a merupakan titik perpotongan terhadap sumbu y (Caulcutt, 1995).

e. Limit deteksi

Limit deteksi merupakan konsentrasi terkecil dari suatu analit yang masih dapat dideteksi, biasanya limit deteksi dinyatakan dengan mikrogram atau gamma (Svehla, 1985).

2.5.2 Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding merupakan elektroda yang nilai potensialnya telah diketahui dan dibuat konstan selama pengukuran berlangsung. Elektroda pembanding juga dapat diartikan sebagai elektroda yang nilai potensialnya telah diketahui, konstan serta tidak bereaksi dengan komposisi analit yang diukur (Underwood, 1999).

Elektroda pembanding yang biasa digunakan yaitu elektroda perak klorida dan elektroda kalomel. Elektroda perak klorida (Ag/AgCl) dibuat dengan cara mencelupkan elektroda perak kedalam larutan kalium klorida jenuh. Larutan kalium klorida yang digunakan biasanya dijenuhkan dengan AgCl atau larutan 3,5 M kalium klorida yang memiliki nilai potensial sebesar 0,199 V dan 0,205 pada suhu 25°C . Reaksi setengah sel dari elektroda perak klorida dapat ditulis sebagai berikut:



Elektroda kalomel atau biasa dikenal dengan elektroda SCE (*Saturated Calomel Electrode*) . elektroda kalomel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan elektroda perak klorida, diantaranya yaitu elektroda kalomel memiliki koefisien temperatur yang lebih besar sehingga nilai potensial elektrodanya juga lebih besar pada temperature yang sama, kontaminasi terhadap elektrolit juga minimal karena elektroda ini tidak mudah bocor, selain itu elektroda kalomel memiliki nilai tahanan yang tinggi (2000-3000 Ω) dengan kapasitas penghantar arus yang relatif tinggi. Elektroda kalomel disamping memiliki kelebihan juga memiliki kekurangan yaitu elektroda ini tidak dapat digunakan pada suhu yang tinggi (Hendayana, 1994).

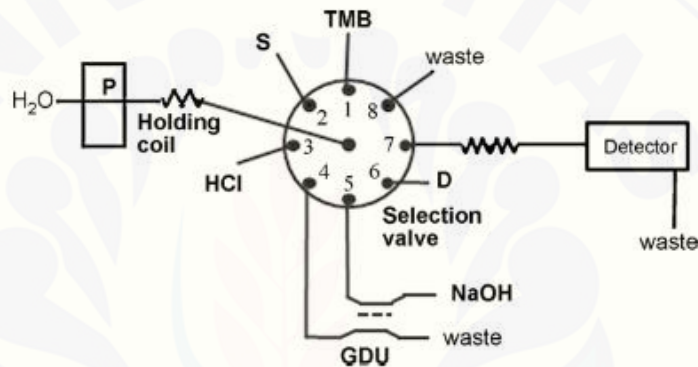
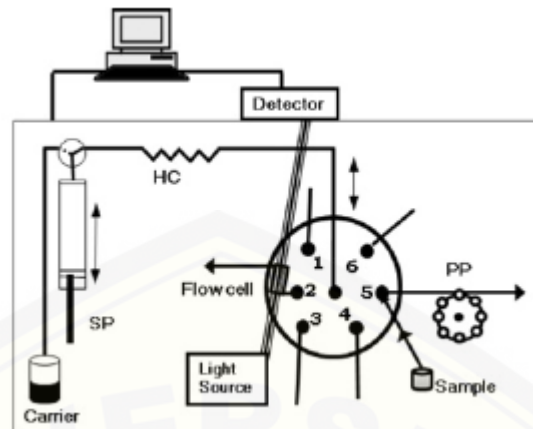
2.6 Sequential Injection Analysis (SIA)

Sistem analisis otomatis yang telah diketahui terbagi menjadi dua golongan yaitu sistem diskrit dan kontinyu. Sistem diskrit diartikan sebagai sistem dimana sampel dipisahkan dari komponen lain dan diletakkan pada tempat yang berbeda pada saat terjadi proses analisis. Sistem kontinyu merupakan sistem dimana sampel menjadi bagian dari suatu sistem alir pada saat terjadi proses analisis. Sampel diinjeksikan kemudian dibawa menuju suatu alat pendeteksi (detektor) kemudian dibuang. Sistem kontinyu (*Continuous Flow Analysis*) dibagi menjadi *Segmented Continuous Flow Analysis* (SCFA) atau dikenal dengan *Sequential Injection Analysis* (SIA) dan *Unsegmented Continuous Flow Analysis* (UCFA) atau dikenal dengan *Flow Injection Analysis* (FIA) (Ruzicka dan Marshall, 1990).

Sequential Injection Analysis (SIA) merupakan suatu metode yang menggunakan prinsip dispersi dari segmen-segmen yang dibentuk antara sampel dan reagen kemudian dideteksi oleh detektor. SIA merupakan generasi terbaru dari teknik pengukuran menggunakan sistem alir dalam analisis kimia. SIA dan FIA (*Flow Injection Analysis*) sangat berbeda jika ditinjau dari peralatan dan cara kerjanya. *Flow Injection Analysis* merupakan metode analisis yang dilakukan dengan cara menginjeksikan atau memasukkan sampel dan reagen dalam sebuah aliran carier atau pembawa menuju *loop* sampel dan diteruskan sampai melalui detektor. Pompa yang digunakan dalam FIA biasanya berupa pompa *peristaltic* yang kecepatannya dapat diatur sedangkan SIA tidak menggunakan pompa

peristaltik tetapi menggunakan pompa *syringe*, selain itu SIA juga tidak menggunakan katup injeksi melainkan menggunakan katup multiposisi (*multiposition selection valve*) dan *reaction coil*. Katup multiposisi berguna untuk memilih sampel dan reagen. SIA memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan FIA. Kelebihan dari SIA diantaranya yaitu SIA tidak memerlukan sampel dan reagen dalam jumlah yang besar sehingga akan menurunkan konsumsi sampel maupun reagen, hal ini juga akan menurunkan jumlah limbah yang dihasilkan, SIA juga tidak memerlukan carrier dalam jumlah besar dan SIA dilengkapi dengan katup mutiposisi yang dapat diatur sedemikian rupa sehingga dapat memilih sampel dan reagen secara otomatis (Mesquita dan Rangel, 2009).

SIA bekerja berdasarkan pemrograman yang dilakukan, aliran dua arah yang discontinue dan grafik yang presisi dengan kontrol komputer. Pengujian sampel dilakukan dengan cara menghisap sampel dengan volume tertentu melalui katup multiposisi menuju *holding coil*, kemudian menghisap reagen dengan volume tertentu dengan cara yang sama seperti sampel sehingga terbentuk segmen sampel-reagen di *holding coil*. Segmen yang terbentuk akan mulai mengalami dispersi pada saat berada di *holding coil*. Segmen sampel-reagen yang berada di *holding coil* dialirkan menuju *reaction coil*, ketika dialirkan menuju *reaction coil* segmen tersebut terus mengalami dispersi sehingga membentuk campuran sample-reagen. Produk hasil reaksi yang berada di *reaction coil* lalu dialirkan menuju detektor, ketika campuran sampai di detektor maka akan muncul puncak (*peak*) pada grafik. Puncak tersebut menunjukkan konsentrasi dari analit yang diukur. Puncak yang semakin tinggi menunjukkan bahwa proses dispersi berlangsung dengan baik dan konsentrasi analit yang terukur semakin tinggi. Konsentrasi sampel dapat ditentukan dengan cara yang sama dengan membandingkannya dengan larutan standar (Ruzicka dan Marshall, 1990).



Gambar 2.4 Beberapa contoh rangkaian *Sequential Injection Analysis*.

2.6.1 Instrumentasi SIA

SIA disusun dari beberapa komponen yaitu pompa, katup multiposisi, reaktor, detektor dan perangkat lunak.

a. Pompa

Pompa merupakan suatu unit penggerak yang memiliki kecepatan konstan dan dapat diatur, selain itu pompa ini harus bebas dari gangguan denyut selama terjadi aliran (*pulse-free*) yang dikhawatirkan akan mempengaruhi hasil pengukuran. Pompa dibagi menjadi beberapa jenis, dua diantaranya yaitu pompa *peristaltic* dan pompa *syringe*. Pompa *peristaltic* merupakan pipa elastis yang dapat ditekan oleh pemutar (*roller pump*) secara bergantian sehingga fluida yang berada didalam pipa tersebut dapat mengalir. Pompa *syringe* merupakan pompa jenis penyuntik yang memiliki ukuran mikroliter dan milliliter. Pompa ini bekerja seperti piston bertekanan sehingga dengan adanya tekanan piston akan terdorong

dan larutan yang berada pada tabung akan terdorong keluar dari tabung (Mesquita dan Rangel, 2009).

b. Multiposition selection valve

Multiposition selection valve adalah katup multiposisi yang dapat diatur menggunakan komputer untuk memilih saluran (*line*) yang akan digunakan. katup multiposisi ini ada beberapa macam seperti katup multiposisi 6 valve, 8 valve dan 10 valve (Mesquita dan Rangel, 2009).

c. Mixing coil

Mixing coil digunakan sebagai tempat terjadinya reaksi dispersi antara sampel dan reagen. *Mixing coil* ini biasanya berupa pipa dengan diameter tertentu dan memiliki sifat yang elastis. Sifat elastis ini sangat membantu dalam pengaturan bentuk dari *mixing coil*. *Mixing coil* tidak hanya berbentuk saluran yang lurus dan panjang tetapi dapat dibuat simpul dan melingkar (Mesquita dan Rangel, 2009).

d. Detektor

Detektor yang digunakan dalam SIA harus memiliki respon yang cepat dengan jumlah sampel dan reagen yang sedikit, sensitifitasnya juga tinggi dan linier. Beberapa detektor yang digunakan dalam SIA diantaranya yaitu potensiometer, elektroda selektif ion, amperometer, konduktometer, kolorimeter, dan spektrofotometer (Ruzicka, 1990).

e. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengaturan SIA banyak macamnya. Perangkat lunak ini digunakan untuk mengontrol aliran sampel, reagen dan carier serta pengontrolan pengambilan larutan sampel, sehingga pengukuran secara online dapat dilakukan. Perangkat lunak yang dapat digunakan salah satunya yaitu LabView yang dapat dijalankan pada Windows (Anonim, 2016).

Penggunaan sistem SIA potensiometri dapat dilakukan dengan memasukkan perintah seperti pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Protokol untuk sistem SIA Potensiometri

Langkah	Protokol	Deskripsi
1	<i>Run</i>	Untuk mulai sistem SIA Potensiometri
2	Bagian A mulai	Memulai pengaturan pada SIA Potensiometri
3	<i>Switch</i> ke posisi kanan	Menghubungkan syring pump dengan carier
4	<i>Pick up</i> 1000 μL <i>on</i>	Pengambilan KNO_3
5	<i>Switch</i> ke posisi kiri	Menghubungkan syringe pump ke katup multiposisi
6	<i>Switch port</i> ke posisi 2	Menghubungkan syringe pump ke larutan ISA
7	<i>Pick up</i> 100 μL <i>on</i>	Pengambilan larutan ISA
8	<i>Switch port</i> ke posisi 3	Menghubungkan syring pump dengan sampel
9	<i>Pick up</i> 500 μL <i>on</i>	Pengambilan sampel
10	<i>Switch port</i> ke posisi 2	Menghubungkan syringe pump ke larutan ISA
11	<i>Pick up</i> 100 μL <i>on</i>	Pengambilan larutan ISA
12	<i>Syringe pump off</i>	Menghubungkan syringe pump dengan carier
13	<i>Pick up</i> carier hingga penuh	Pengambilan KNO_3 hingga 5 mL
14	<i>Switch port</i> ke posisi 6	Menghubungkan syringe pump dengan detektor
15	<i>Switch on</i> detektor	Bagian B aktif, Pengukuran beda potensial dimulai
16	<i>Switch off</i>	Bagian A dan B berhenti dan diperoleh data hasil pengukuran dalam bentuk notepad

2.7 Software LabView

LabView adalah salah satu bahan pemrograman yang berbasis G-programming. G-programming adalah sebuah pemrograman yang dilakukan dengan sistem grafik dimana teks diganti dengan icon-icon ketika melakukan pembuatan program. Program ini berbeda dengan program yang berbasis teks ketika menjalankan urutan sebuah perintah. LabView disebut juga salah satu instrument virtual, hal ini dikarenakan output yang ditampilkan dan cara mengoperasikannya hampir sama dengan instrument nyata seperti oscilloscopes dan multimeter. LabView merupakan produk yang dikeluarkan oleh National Instruments. Software ini diciptakan untuk kegiatan yang bersifat visual dan pengendalian peralatan elektronika dengan PC (Anonim, 2016).

LabView dapat terintegrasi penuh dengan hardware untuk komunikasi sebagai instrument pengukurannya. Software ini juga didukung dengan data built-in untuk melakukan pengolahan data yang menggunakan perangkat lunak standar seperti IP/TCP networking. LabViewTM 8 adalah generasi terbaru dari LabVIEWTM 7. Software ini baru dirilis pada bulan Oktober 2005 (www.ni.com) . LabVIEW

menggunakan kode-kode serta beberapa istilah yang sesuai dengan bahasa text-based untuk menampilkan uraian hasil ketika melakukan pemrograman panel (Anonim, 2016).

LABVIEW telah dipakai untuk pengembangan di dalam laboratorium sujak pertama kali rilis. Laboratorium di beberapa negara seperti Lawrence Livermore, White Sands, Sandia, Batelle, Argonne, Oak Ridge dan CERN. Software ini selain digunakan di dalam laboratorium juga digunakan oleh beberapa universitas dalam proses pembelajaran (Anonim, 2016).

2.8 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu metode analisis yang didasarkan pada pengukuran banyaknya sinar monokromatis yang diserap oleh cuplikan pada panjang gelombang tertentu. Sinar monokromatis dapat diperoleh dengan cara melewatkan sinar polikromatis pada suatu celah sempit yang disebut monokromator. Sinar polikromatis memiliki range panjang gelombang yang sangat lebar, sehingga membutuhkan monokromator untuk mengubahnya menjadi sinar monokromatis yang memiliki panjang gelombang tertentu. Analisis dengan metode spektrofotometri dapat dikelompokkan berdasarkan daerah panjang gelombang elektromagnetiknya, yaitu: spektrofotometri UV (200-380 nm), spektrofotometri Visibel (380-700 nm) dan spektrofotometri Inframerah (700-3000 nm) (Khopkar, 1990).

2.8.1 Hukum Lambert-Beer

Hukum Lambert-Beer menjelaskan bahwa banyaknya radiasi yang diserap maupun yang ditransmisikan oleh spesi kimia dalam cuplikan adalah suatu fungsi eksponensial dari konsentrasi spesi dalam larutan dan ketebalan kuvet atau dengan kata lain nilai absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi larutan dan ketebalan dinding sel (kuvet). Lambert menyatakan bahwa nilai absorbansi berbanding lurus dengan ketebalan dinding sel yang dilewati sinar dan dinyatakan sebagai:

$$A = k.b \dots\dots\dots(2.20)$$

Beer menyatakan bahwa nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi spesi di dalam larutan, dinyatakan sebagai:

$$A = k.c \dots\dots\dots(2.21)$$

sehingga dari kedua persamaan tersebut diperoleh persamaan Lambert-Beer yang dinyatakan sebagai:

$$A = k.b.c \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

k = nilai tetapan Hukum Lambert-Beer

a = absorptivitas

c = konsentrasi larutan

(Day and Underwood, 2002).

2.8.2 Spektrofotometer Visibel

Spektrofotometer merupakan salah satu instrumen kimia yang menggunakan prinsip spektrofotometri. Prinsip dasar spektrofotometer *visible* adalah ketika ada sumber cahaya tampak (*visible*) yang dilewatkan pada sampel maka cahaya tersebut akan diserap dan beberapa diteruskan hingga mencapai detektor. Besarnya nilai absorbansi yang diperoleh berhubungan dengan konsentrasi analit yang diukur, hal ini sesuai dengan Hukum Beer yang menyatakan bahwa besarnya nilai absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi analit dan ketebalan dari dinding sel (Hendayana *et al*,1994).

2.8.3 Bagian-bagian Spektrofotometer

a. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan dalam spektroskopi absorpsi adalah lampu Wolfram. Sumber cahaya lainnya yang biasa digunakan yaitu lampu hidrogen dan lampu deuterium. Kedua lampu ini biasanya digunakan dalam analisis pada daerah sinar UV. Lampu wolfram banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki energi radiasi yang tidak bervariasi pada berbagai panjang gelombang (Kurniati, 2012).

b. Monokromator

Monokromator merupakan salah satu alat optic yang berfungsi untuk menguraikan cahaya yang bersifat polikromatis menjadi sinar monokromatis. Sinar polikromatik dari sumber cahaya akan diuraikan menjadi panjang gelombang tunggal, kemudian panjang gelombang tersebut akan dipisahkan menjadi jalur-jalur yang sempit (Kurniati, 2012).

c. Kuvet

Kuvet atau sel adalah tempat atau wadah yang digunakan untuk meletakkan larutan yang akan dianalisis. Kuvet yang biasa digunakan dalam spektrofotometer bermacam-macam tergantung dari daerah panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan. Kuvet yang terbuat dari kaca biasanya digunakan dalam analisis pada daerah sinar tampak sedangkan kuvet yang terbuat dari silica atau quartz biasanya digunakan dalam analisis pada daerah sinar UV. Bentuk dan ukuran kuvet juga bermacam-macam, tetapi yang biasa digunakan adalah kuvet yang berbentuk prima tegak segiempat dengan panjang 1 cm, lebar 1 cm dan tinggi 5 cm (Kurniyati, 2012).

d. Detektor

Detektor merupakan salah satu instrument yang berfungsi untuk memberikan respon berupa sinyal yang nantinya akan diolah dan dicatat oleh recorder. Sinar foton yang diterima oleh detektor akan diubah menjadi sinyal berupa arus listrik. Syarat yang harus dipenuhi untuk detektor diantaranya adalah memiliki sensitifitasnya tinggi, waktu respon yang singkat dan stabilitas yang lama (Kurniati, 2012).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik, Laboratorium Biokimia dan Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia, Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember dimulai Januari 2017 hingga September 2017.

3.2 Alat dan Bahan

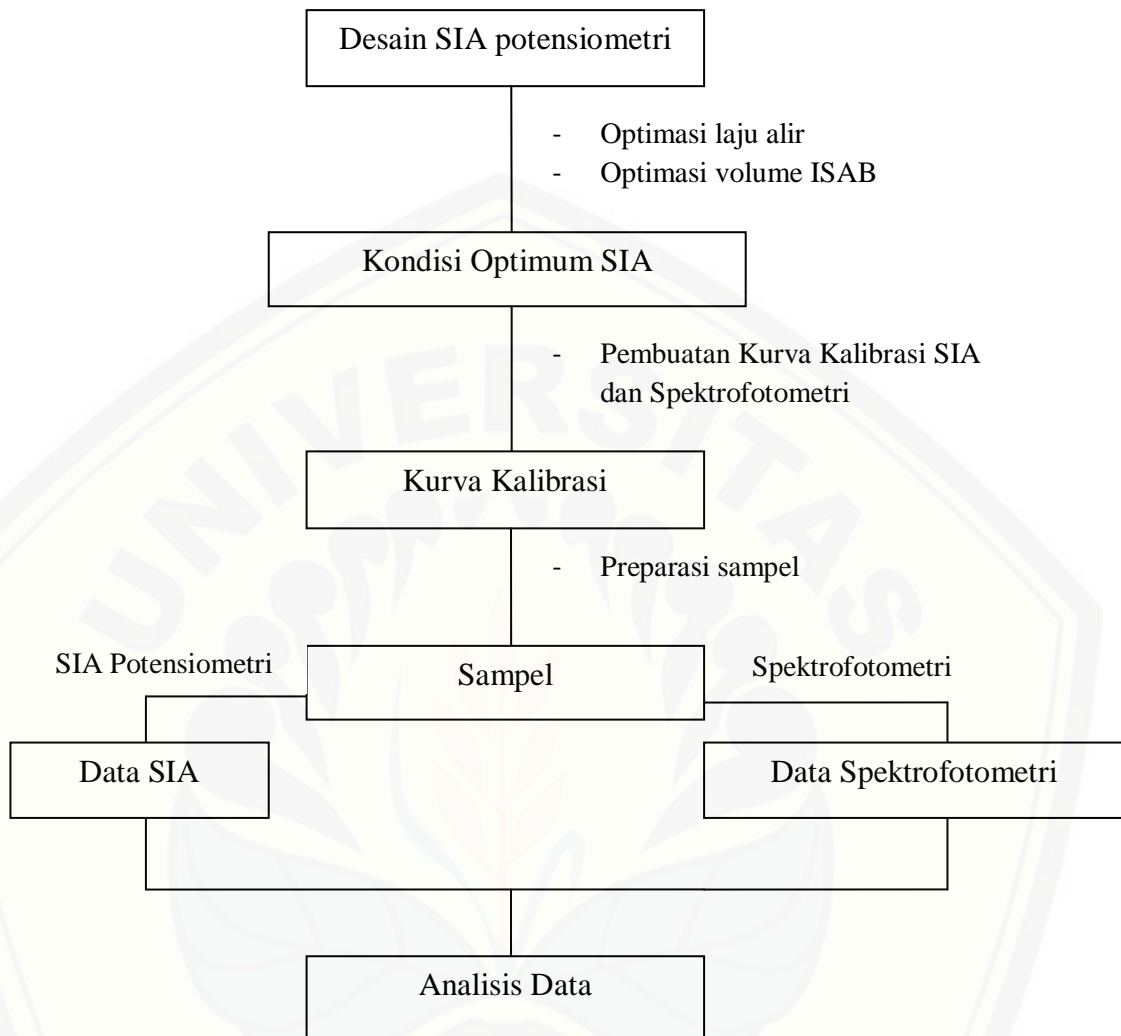
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set *Sequential Injection Analysis*, pengaduk, neraca digital, pipet mohr 1 mL; 5 mL; 10 mL, pipet volum 1 mL; 5 mL, ball pipet, beaker glass 150 mL; 100 mL; 50 mL, pipet tetes, corong kaca, gelas ukur 50 mL, labu ukur 100 mL, tabung reaksi, spektrofotometer visible, Sentrifius, Software Labview 8TM serta komputer. Alat potensiometer menggunakan ELIT CN⁻ 1178 serta elektroda pembanding Litium asetat ELIT 003.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kalium sianida (KCN) (Merck), natrium hidroksida (NaOH) (Merck), kalium nitrat (KNO₃) (Merck), natrium karbonat (Na₂CO₃) 8% (Merck), asam pikrat 1% (Merck) dan aquades.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan

a. Larutan induk sianida

Larutan induk sianida dibuat dengan cara melarutkan kalium sianida sebanyak 2,15 gram (massa molekul relatif 56 g/mol) dalam beaker glass 50 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda batas, sehingga diperoleh larutan sianida 1000 ppm.

b. Larutan standart sianida

Larutan standar sianida dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk menjadi larutan standart sianida dengan konsentrasi 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm, dan 1000 ppm.

c. Larutan ISAB Natrium Hidroksida

Larutan ini dibuat dengan melarutkan 40.001 gram natrium hidroksida kedalam beaker glass 50 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL dan ditambah dengan aquades sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan NaOH 10 M.

d. Larutan kalium nitrat 1 M

Larutan ini dibuat dengan melarutkan 10.110 gram kalium nitrat kedalam beaker glass 50 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL dan ditambah dengan aquades sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan kalium nitrat 1 M.

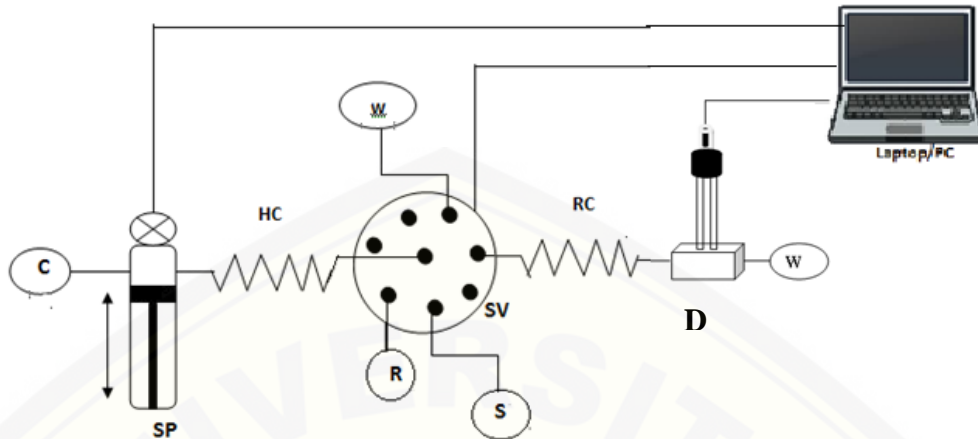
e. Larutan Natrium Karbonat 0.5 M

Larutan ini dibuat dengan melarutkan 2.650 gram natrium kedalam beaker glass 50 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL dan ditambah dengan aquades sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan natrium karbonat 0.5 M.

f. Larutan Asam Pikrat 1 % (b/b)

Larutan ini dibuat dengan melarutkan 1 gram asam pikrat kedalam beaker glass 50 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL dan ditambah dengan aquades sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan asam pikrat 1%.

3.4.2 Desain Analisis Ion Sianida menggunakan *Sequential Injection Analysis*



Gambar 3.1. Skema SIA untuk analisis ion sianida pada umbi gadung.

C adalah carier, SP adalah *syring pump*, HC adalah *holding coil*, SV adalah *selection valve*, W adalah *waste*, R adalah reagen, S adalah sampel, RC adalah *reaction coil*, D adalah detektor.

3.4.3 Parameter Pengamatan dalam Sistem SIA

a. Respon Elektroda terhadap Perubahan Laju Alir

Konsentrasi yang digunakan adalah 10 ppm dan variasi laju alirnya adalah 1,35 mL/detik, 0,50 mL/detik, 0,14 mL/detik dan 0,10 mL/detik. Larutan NaOH 10 M diinjeksikan sebanyak 10 μL menuju *holding coil*, kemudian sebanyak 500 μL larutan standar sianida 10 ppm diinjeksikan menuju *holding coil*. Proses injeksi antara larutan standar dengan larutan ISAB dilakukan sampai terbentuk segmen R-S-R pada *holding coil*. Segmen yang terbentuk pada *holding coil* lalu dialirkan menuju *mixing coil*. Campuran pada *mixing coil* kemudian dialirkan menuju detektor. Respon yang dihasilkan akan direkam oleh komputer dan diolah menjadi data. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali.

b. Respon Elektroda terhadap volume ISAB

Larutan sianida yang digunakan adalah larutan standar sianida adalah 10 ppm. Larutan ISAB yang digunakan yaitu larutan natrium hidroksida 10 M. Volume larutan ISAB yang dihisap yaitu 150 μL , 200 μL dan 250 μL . Laju alir yang digunakan adalah laju alir optimum.

3.4.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi

3.4.4.1 SIA Potensiometri

Laju alir dan volume ISAB optimum yang diperoleh digunakan untuk membuat kurva kalibrasi larutan standar sianida dengan konsentrasi 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm dan 1000 ppm. Larutan NaOH 10 M dihisap sebanyak 100 μ L menuju *holding coil*, kemudian sebanyak 500 μ L larutan standar sianida 10 ppm diinjeksikan menuju *holding coil*. Proses segmentasi antara larutan standar dengan larutan ISAB dilakukan sampai terbentuk segmen R-S-R pada *holding coil*. Segmen yang terbentuk pada *holding coil* lalu dialirkan menuju *mixing coil* dengan laju alir carrier 0.14 mL/detik. Campuran pada *mixing coil* kemudian dialirkan menuju detektor. Respon yang dihasilkan akan direkam oleh komputer dan diolah menjadi data. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali.

3.4.4.2 Spektrofotometer Visibel

Larutan standar sianida dengan konsentrasi 10 ppm diambil sebanyak 5 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL. Larutan tersebut ditambah dengan 5 mL natrium karbonat 0.5 M dan 5 mL asam pikrat 1%. Campuran tersebut diaduk dan dipanaskan pada penangas air selama 5 menit lalu didinginkan dengan cepat kemudian ditambah aquades sampai tanda batas. Larutan standar didiamkan selama 36 jam pada suhu ruang. Larutan tersebut diukur absorbansinya pada panjang gelombang 500-600 nm menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Panjang gelombang maksimum yang didapatkan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi larutan standar sianida dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm, 6 ppm, 7 ppm, 8 ppm, 9 ppm dan 10 ppm.

3.4.5 Persiapan Sampel

Sampel umbi gadung segar dipilih, dikupas dan dipotong kecil-kecil dengan ketebalan ± 2 mm. Gadung yang telah dipotong-potong, ditimbang sebanyak 25 gram kemudian dimasukkan ke dalam gelas plastik. Irisan gadung tersebut direndam dalam 75 mL larutan garam 15%, kemudian ditutup rapat dan disimpan selama 5-7 hari. Potongan gadung dikeluarkan dan air rendaman tersebut disaring kedalam beaker glass, kemudian di sentrifugasi selama 30 menit.

3.4.6 Pengukuran Sampel

3.4.6.1 Pengukuran sampel menggunakan SIA

Larutan ISAB dihisap sebanyak 100 μL menuju *holding coil*, kemudian sebanyak 500 μL larutan sampel air rendaman umbi gadung diinjeksikan menuju *holding coil*. Proses segmentasi antara sampel dengan larutan ISAB dilakukan sampai terbentuk segmen R-S-R pada *holding coil*. Segmen yang terbentuk pada *holding coil* lalu dialirkan menuju *mixing coil*. Campuran pada *mixing coil* kemudian dialirkan menuju detektor. Respon yang dihasilkan akan direkam oleh komputer dan diolah menjadi data. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk sampel.

3.4.6.2 Pengukuran sampel menggunakan Spektrofotometer visible

Larutan sampel air rendaman umbi gadung diambil sebanyak 5 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL. larutan tersebut ditambah dengan 5 mL natrium karbonat 0.5 M dan 5 mL asam pikrat 1%. Campuran tersebut diaduk dan dipanaskan pada penangas air selama 5 menit lalu didiamkan sampai dingin pada suhu ruang. Larutan tersebut diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer Uv-Vis.

3.4.7 Kriteria Pengukuran Analitik

a. Linieritas

Linieritas dapat digambarkan dari kurva kalibrasi dengan memplotkan antara sumbu x dan y, dimana sumbu x adalah konsentrasi sianida dan sumbu y adalah potensial yang dihasilkan. Konsentrasi sianida yang digunakan adalah 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm dan 1000 ppm. Respon yang linier ditunjukkan melalui persamaan garis seperti pada persamaan 2.18.

b. Sensitivitas

Sensitivitas dinyatakan sebagai slope dari kurva yang diperoleh dengan range tertentu (Miller dan Miller, 1991). Menurut aturan IUPAC, sensitivitas yang dinyatakan dengan slope merupakan sensitivitas kurva. Kateman (1993) menyatakan sensitivitas sebagai rasio perubahan sinyal tiap unit perubahan konsentrasi analit. Nilai sensitivitas yang besar berarti bahwa perubahan konsentrasi yang kecil dari analit dapat memberikan respon yang berarti.

c. Limit Deteksi

Salah satu karakteristik dari sensor adalah kemampuannya untuk mendeteksi konsentrasi suatu analit. Semakin kecil konsentrasi yang bisa dideteksi, semakin baik karakteristik sensor tersebut. Limit deteksi atau batas identifikasi adalah kuantitas atau konsentrasi terkecil dari suatu analit yang masih dapat ditentukan atau dideteksi. Batas deteksi biasanya dinyatakan dalam mikrogram (μg) atau gamma (Svehla, 1985).

$$Y_{\text{LOD}} = Y_{\text{B}} + 3 S_{\text{B}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

Y_{LOD} = limit deteksi

Y_{B} = sinyal blanko

S_{B} = standar deviasi kurva kalibrasi

d. Reprodusibilitas

Reprodusibilitas merupakan suatu kemampuan elektroda dalam memberikan output yang sama ketika diberikan input yang tetap setelah sistem di reset ulang. Diharapkan pada pengulangan percobaan yang dilakukan akan dihasilkan limit antar percobaan yang sekecil mungkin, (Caulcutt, 1995). Hasil pengulangan dapat dinyatakan sebagai koefisien variasi dari simpangan induk. Dalam analisa kimia biasanya memiliki Kv dibawah 5 %, maksudnya dalam 100 kali ulangan hanya terdapat 5 kali kesalahan.

Standart deviasi (SD) yaitu suatu perhitungan tentang perkiraan seberapa jauh kesalahan yang mungkin terjadi dari suatu pengukuran (Christian, 1994). Semakin besar simpangan baku atau standart deviasi yang dimiliki sekumpulan data hasil pengukuran, berarti data tersebut semakin tidak seragam. Jika standar deviasi sama dengan nol, artinya data tersebut benar-benar seragam (semua data memiliki nilai yang sama).

e. Akurasi

Akurasi merupakan suatu ukuran yang menyatakan derajat kedekatan hasil analisis dengan kadar analit sebenarnya dan biasanya dinyatakan dengan persen perolehan kembali (recovery) analit yang digunakan (Gandjar, 2007).

$$\% \text{ Rekoverti Relatif} = \frac{\text{Hasil pengukuran dengan metode SIA}}{\text{Hasil pengukuran dengan metode standar}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Penentuan akurasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara membandingkan konsentrasi yang diperoleh menggunakan metode SIA dengan nilai konsentrasi yang diperoleh menggunakan metode spektrofotometri visibel. Ukuran nilai akurasi dapat ditentukan dengan mengamati perbedaan konsentrasi yang terukur.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Laju alir carrier berpengaruh terhadap pembentukan puncak yang runcing dengan nilai beda potensial yang paling tinggi.
2. Volume ISAB yang digunakan berpengaruh terhadap pembentukan puncak yang runcing dengan nilai beda potensial yang paling tinggi.
3. Respon elektroda CN^- dalam mendeteksi sianida menunjukkan kinerja yang baik dengan beberapa karakteristik yaitu daerah linier dengan nilai regresi 0,9833, limit deteksi 0,011 ppm, sensitivitas sebesar -28,789, reproduibilitas $\leq 2\%$ dan akurasi 92-95 %.

5.2 Saran

Preparasi sampel sebaiknya dihubungkan dengan SIA sehingga lebih mempercepat dalam pengukuran konsentrasi sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2016. LabVIEW.<http://www.ni.com/LabVIEW/> [15 Juli 2016].
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. *Bahan Tambahan Pangan-Persyaratan Perisa dan Penggunaan dalam Produk Pangan*. [Serial Online].
- Calcuot, Rolland. 1995. *Statistic For Analitical Chemist*. London: Chapman and Hall.
- Christian, Garry.1994.*Analitical Chemistry*. Canada: John Willey and Sons Inc.
- Effendi, H. 2003.*Telaah kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kasinus.
- Eggins, B.R.2000. *Chemical Sensors and Biosensors*. England: John Willey and Sons, Inc.
- Gandjar, G.H., dan Rohman, A., . 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Hariana, A. 2004. *Tumbuhan Obat dan Khasiatnya*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Harjono, dkk.2008. Detoksifikasi Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.) dengan Pemanasan Terbatas dalam Pengolahan Tepung Gandum. Dipublikasikan. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol.9 No.2.[Serial Online].<http://elibrary.ub.ac.id>. [19 April 2016].
- Hassan, Saad S.M. Hamza, Mohamed S.A. Kelany, Ali E. 2007. A novel spectrophotometric method for batch and flow injection determination of cyanide in electroplating wastewater.*Talanta* 71: 1088-1095.
- Hendayana, S.1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi pertama. Semarang: FKIP Semarang Press.
- Kateman, G.1993. *Quality Control in Analytical Chemistry*. New York: J.Willey and Sons.
- Kellner, R., Mermet, J.M., Otto, M. and Widner, H.M. 1998. *Analytical Chemistry*. Weinheim: Willey-VCH.
- Khopkar, S.M.1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Terjemahan A. Saptoharjo dari Basic Concepts of Analytical Chemistry. Jakarta: UI-Press.
- Kurniyati. 2012. Penurunan Kadar Besi (Fe) dalam Air Sumur dengan Menggunakan Arang Tempurung Kelapa pada Konsentrasi 10 %B/V

dengan Variasi Lama Perendaman.. *Skripsi*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Mesquita, Raquel B.R. dan Rangel, Antonio O.S.S. 2009. A review on sequential injection methods for water analysis. *Analytica Chimica Acta* 648: 7-22.

Miller, J.C. dan Miller, J.N. 1991. *Statistika Untuk Kimia Analitik, edisi kedua*. Bandung: ITB Press.

Muchtadi, T., dkk. 2010. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bandung: Alfabeta.

Sawyer, D.T., Sobkowiak dan Robert, Jr. 1995. *Electrochemistry for Chemis 2nd edition*. Sounders College Publishing.

Sibuea, Maligan, Jaya Mahar,. 2011. Efek Hipokolesterolemik tepung Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) pada Tikus Wistar Jantan yang diberi Diet Hipokolesterol. Dipublikasikan. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12 No.2. [Serial Online].

Situmorang,M., Alexander, P.W. dan Hibbert, B.D. 1999. Flow Injection Potentiometry for enzymatic assay of cholesterol with a tungsten electrode sensor. *Anal. Science*, 49: 639-649.

Pambayun, R. 2007. *Kiat Sukses Teknologi Pengolahan Umbi Gadung*. Yogyakarta: Ardana Media.

Rudito, dkk.2009. Studi Komparasi Karakteristik Parsial Gadung Dayak Kalimantan dan Gadung Jawa (*Dioscorea hispida*) sebagai Dasar Eksplorasi untuk Pangan Alternatif. Dipublikasikan. *Prosiding Seminar Nasional FTP UNUD*. [Serial Online].<http://elib.pdii.lipi.go.id>. [19 April 2016].

Ruzicka,J & Marshall,G.D. 1990. Sequential Injection: a new concept for chemical sensors, process analysis and laboratory assays. *Anal Chim Acta*, 237: 329-343.

Sukarti, Emi.1998. *Teknik Analisis Suntik Alir Potensiometri dengan Elektrode Membran Ion Selektif* . Jurnal Ilmiah Widya Mandala, tahun V no 002-Juni 1998.

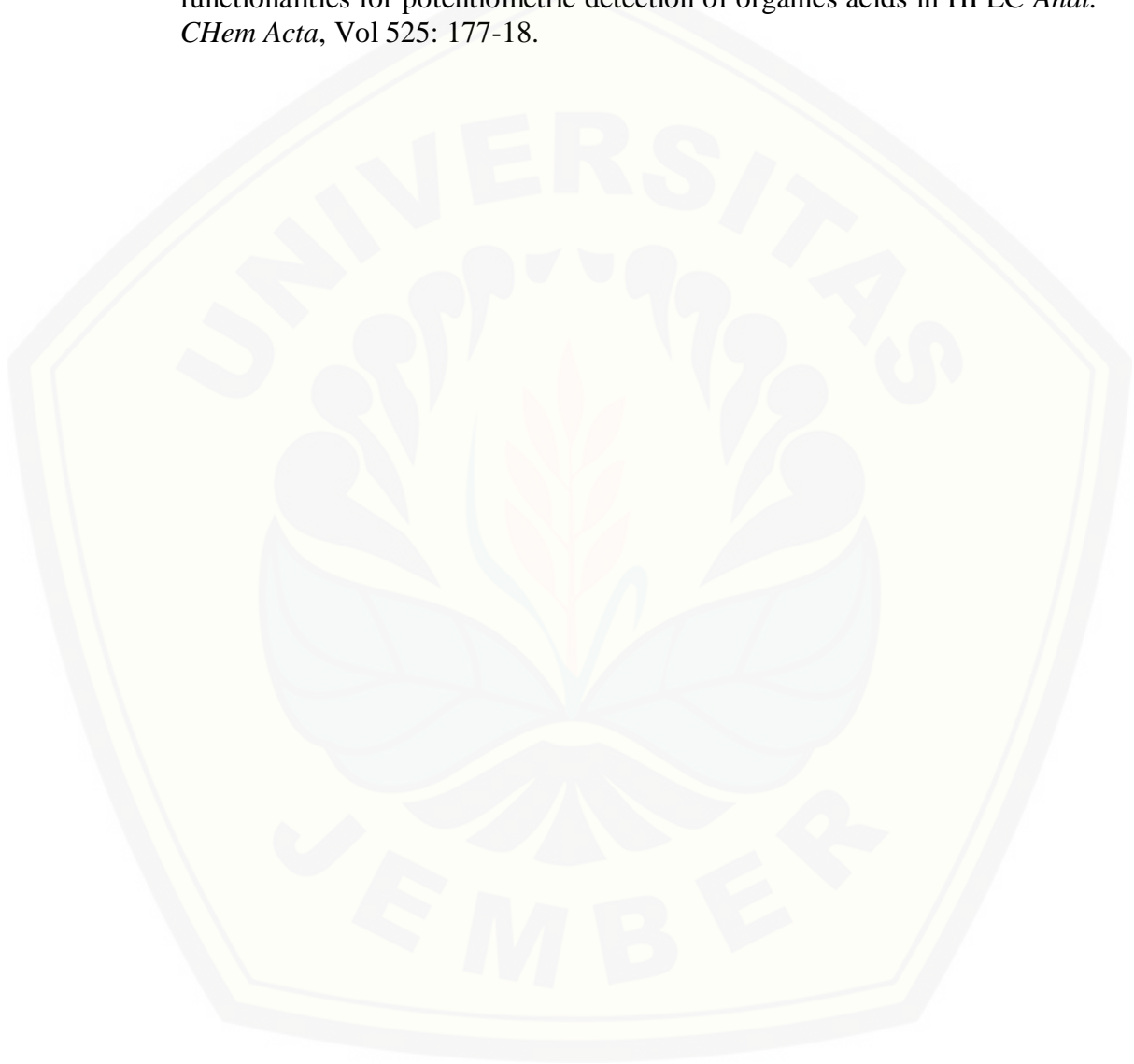
Svehla, G.1985. *Vogels Buku Teks Analisis Kualitatif Makro dan Semimikro edisi kelima*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.

Underwood, A.L., dan Day, R.A.Jr. 1999. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.

Widodo, F.G. 2005. *Tanaman Beracundalam Kehidupan Ternak*. Malang: UMM Press.

Winarno, F.G. 2002. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Penerbit Gramedia.

Zielinska,D., Gil, A., Pitraszkiewicz, M., Pietraszkiewicz, O., Van do Vijer, D., dan Nagels, L.J. 2004. Pondand and macrocyclic amine reseptors with urea functionalities for potentiometric detection of organics acids in HPLC *Anal. CHem Acta*, Vol 525: 177-18.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan Sianida

- a. Pembuatan larutan baku Sianida 1000 ppm

$$M_r \text{ KCN} = 65,12 \text{ g/mol}$$

$$M_r \text{ CN}^- = 26,018 \text{ g/mol}$$

$$1000 \text{ ppm} = \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} = \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}}$$

$$\text{Massa KCN} = \frac{65,12 \text{ g/mol}}{26,018 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} = 2503 \text{ mg} = 2,503 \text{ g}$$

- b. Pembuatan larutan standar Sianida

- a) 0,1 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,01 \text{ mL}$$

- b) 1 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,1 \text{ mL}$$

- c) 10 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 1,0 \text{ mL}$$

- d) 100 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 10 \text{ mL}$$

- e) 1000 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 100 \text{ mL}$$

Lampiran 2. Data Penentuan Panjang Gelombang Maksimum untuk sianida

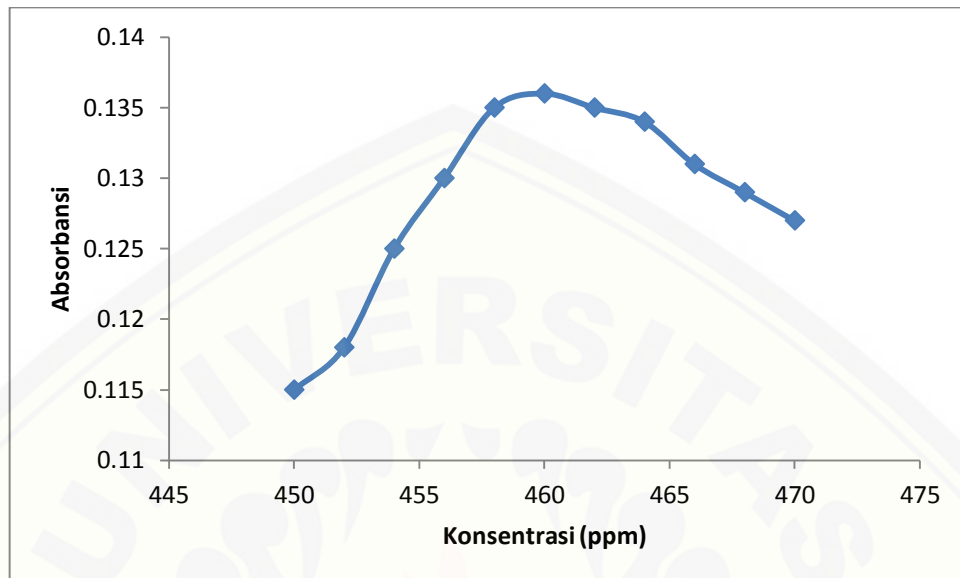
- a. Data Penentuan Panjang Gelombang Maksimum sianida dengan rentang 10 nm

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
450	0,115
460	0,135
470	0,126
480	0,119
490	0,116
500	0,112
510	0,111
520	0,108
530	0,106
540	0,104
550	0,102

- b. Data penentuan panjang gelombang maksimum sianida dengan rentang 2 nm

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
450	0,115
452	0,118
454	0,125
456	0,130
458	0,135
460	0,136
462	0,135
464	0,134
466	0,131
468	0,129
470	0,127

- c. Kurva Panjang Gelombang Maksimum sianida dengan Interval 2 nm pada Konsentrasi 5 ppm



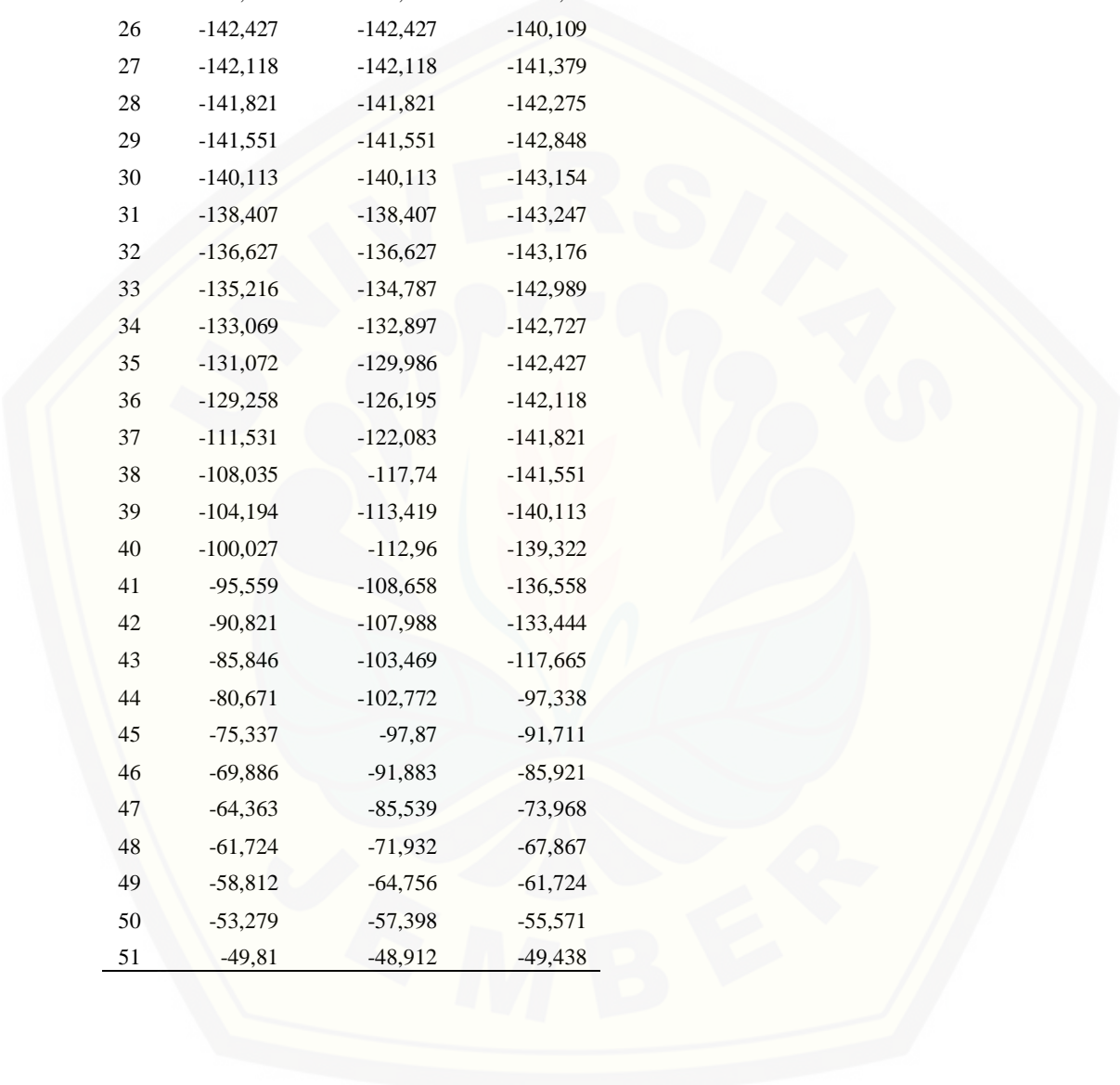
Lampiran 3. Data Pengukuran Variasi Volume ISA dan Laju Alir Carrier**a. Data Beda Potensial pada Pengukuran Variasi Volume ISA**

Variasi Volume ISA 150 μ L				Variasi Volume ISA 200 μ L			
t	P1	P2	P3	t	P1	P2	P3
1	-46,841	-49,02	-45,428	1	-57,104	-54,856	-51,237
2	-52,071	-53,038	-52,657	2	-70,25	-63,506	-60,757
3	-58,531	-59,58	-60,238	3	-84,012	-72,596	-70,521
4	-65,171	-66,459	-68,056	4	-98,204	-82,071	-80,458
5	-71,945	-73,49	-75,999	5	-112,625	-91,868	-90,495
6	-78,806	-80,499	-83,96	6	-127,066	-101,915	-100,564
7	-85,712	-82,926	-91,839	7	-141,315	-112,129	-110,596
8	-92,622	-87,326	-99,548	8	-155,162	-122,422	-120,528
9	-99,494	-93,829	-107,006	9	-168,405	-132,698	-130,297
10	-106,292	-96,571	-114,149	10	-180,856	-142,857	-139,846
11	-112,978	-99,892	-120,925	11	-192,347	-152,795	-149,122
12	-119,517	-106,292	-127,295	12	-202,727	-162,409	-158,074
13	-125,875	-112,978	-133,232	13	-211,874	-171,595	-166,659
14	-132,02	-119,517	-138,724	14	-219,692	-180,253	-174,834
15	-137,919	-125,875	-143,767	15	-226,112	-188,288	-182,566
16	-143,541	-132,02	-148,368	16	-231,096	-195,614	-189,822
17	-148,856	-137,919	-152,541	17	-234,635	-202,152	-196,576
18	-153,835	-138,99	-156,308	18	-236,747	-207,836	-202,809
19	-158,451	-141,67	-159,691	19	-237,478	-212,611	-208,502
20	-162,676	-154,828	-162,72	20	-236,897	-216,435	-213,644
21	-166,485	-158,448	-165,42	21	-235,097	-219,282	-218,227
22	-169,855	-162,065	-167,818	22	-232,19	-221,141	-222,25
23	-172,765	-165,605	-169,939	23	-228,302	-233,014	-225,713
24	-175,196	-168,992	-171,801	24	-223,573	-221,921	-228,621
25	-177,131	-172,151	-173,419	25	-218,151	-220,896	-230,984
26	-178,557	-175,009	-174,802	26	-212,19	-218,988	-232,814
27	-179,464	-177,497	-175,952	27	-205,845	-216,256	-234,128
28	-179,845	-179,55	-176,866	28	-199,267	-212,776	-234,944
29	-179,698	-181,11	-177,531	29	-192,605	-208,631	-235,285
30	-179,023	-182,126	-177,931	30	-185,998	-203,916	-234,642
31	-177,825	-182,554	-178,043	31	-179,574	-198,731	-233,712
32	-176,114	-182,36	-177,838	32	-173,447	-193,185	-232,418
33	-173,903	-181,518	-177,284	33	-167,718	-187,386	-230,79
34	-171,208	-180,013	-176,346	34	-162,471	-181,448	-228,862
35	-168,052	-177,837	-174,985	35	-157,77	-175,483	-226,667

36	-164,46	-174,993	-173,165	36	-153,663	-169,601	-224,24
37	-160,46	-171,494	-170,846	37	-150,18	-163,908	-221,616
38	-156,084	-167,359	-167,995	38	-132,044	-158,504	-218,829
39	-151,368	-162,617	-164,579	39	-127,47	-153,482	-215,914
40	-146,35	-157,305	-160,571	40	-122,279	-147,307	-212,906
41	-141,069	-151,465	-155,949	41	-116,499	-140,129	-209,838
42	-135,567	-145,147	-150,698	42	-110,171	-132,923	-206,743
43	-129,888	-138,404	-144,812	43	-103,343	-125,703	-203,653
44	-124,074	-131,295	-138,292	44	-96,076	-121,354	-200,599
45	-118,169	-123,881	-131,148	45	-88,434	-111,238	-197,611
46	-112,218	-116,225	-123,399	46	-80,491	-100,878	-104,103
47	-106,264	-108,392	-115,076	47	-72,324	-90,355	-82,875
48	-100,348	-100,447	-106,217	48	-64,013	-79,753	-75,941
49	-94,509	-92,455	-96,869	49	-55,641	-58,63	-62,355
50	-63,053	-84,478	-87,089	50	-49,293	-44,266	-46,726
51	-58,662	-76,578	-76,94				
52	-54,566	-68,813	-66,496				
53	-50,777	-53,898	-55,834				
54	-47,3	-49,846	-45,037				

Variasi Volume ISA 250 μ L

t	P1	P2	P3
1	-48,55	-51,275	-49,207
2	-54,5	-59,582	-54,831
3	-60,765	-67,859	-60,318
4	-67,289	-75,997	-65,631
5	-74,008	-83,895	-70,738
6	-80,855	-91,463	-75,618
7	-87,758	-98,622	-80,254
8	-94,643	-105,306	-84,637
9	-101,434	-111,465	-88,764
10	-108,059	-117,061	-92,64
11	-114,446	-122,07	-96,271
12	-120,529	-126,483	-99,671
13	-126,245	-130,303	-102,854
14	-131,539	-133,546	-105,838
15	-136,363	-136,237	-108,644
16	-138,41	-138,41	-111,292
17	-140,109	-140,109	-120,703
18	-141,379	-141,379	-122,85
19	-142,275	-142,275	-124,942



20	-142,848	-142,848	-126,989
21	-143,154	-143,154	-128,996
22	-143,247	-143,247	-130,966
23	-143,176	-143,176	-133,546
24	-142,989	-142,989	-136,237
25	-142,727	-142,727	-138,41
26	-142,427	-142,427	-140,109
27	-142,118	-142,118	-141,379
28	-141,821	-141,821	-142,275
29	-141,551	-141,551	-142,848
30	-140,113	-140,113	-143,154
31	-138,407	-138,407	-143,247
32	-136,627	-136,627	-143,176
33	-135,216	-134,787	-142,989
34	-133,069	-132,897	-142,727
35	-131,072	-129,986	-142,427
36	-129,258	-126,195	-142,118
37	-111,531	-122,083	-141,821
38	-108,035	-117,74	-141,551
39	-104,194	-113,419	-140,113
40	-100,027	-112,96	-139,322
41	-95,559	-108,658	-136,558
42	-90,821	-107,988	-133,444
43	-85,846	-103,469	-117,665
44	-80,671	-102,772	-97,338
45	-75,337	-97,87	-91,711
46	-69,886	-91,883	-85,921
47	-64,363	-85,539	-73,968
48	-61,724	-71,932	-67,867
49	-58,812	-64,756	-61,724
50	-53,279	-57,398	-55,571
51	-49,81	-48,912	-49,438

b. Data Potensial pada Pengukuran Variasi Laju Alir untuk Potensiometri

t	Laju Alir 1,35 μ L			t	Laju Alir 0,5 μ L		
	P1	P2	P3		P1	P2	P3
1	-53,079	-50,19	-50,555	1	-48,071	-51,614	-51,614
2	-50,865	-50,912	-51,805	2	-51,182	-51,067	-50,521
3	-49,822	-51,63	-53,047	3	-53,406	-51,945	-53,699
4	-49,646	-52,342	-54,344	4	-54,952	-52,805	-55,386
5	-50,088	-53,047	-55,609	5	-55,998	-53,665	-57,103
6	-50,949	-53,745	-56,875	6	-56,685	-54,526	-58,832
7	-52,071	-54,435	-58,125	7	-57,129	-55,385	-60,54
8	-53,334	-55,116	-59,344	8	-57,421	-56,238	-62,209
9	-54,644	-55,787	-60,625	9	-57,634	-57,079	-63,807
10	-55,934	-56,448	-61,859	10	-57,822	-57,903	-65,316
11	-57,156	-57,098	-63,094	11	-58,025	-58,703	-66,706
12	-58,281	-57,736	-64,281	12	-58,271	-59,474	-67,955
13	-59,291	-58,362	-65,484	13	-58,578	-60,161	-68,405
14	-60,18	-58,975	-66,656	14	-58,959	-60,78	-68,827
15	-60,951	-59,575	-67,766	15	-59,415	-61,345	-69,249
16	-61,611	-60,161	-68,859	16	-59,948	-61,865	-69,672
17	-62,172	-60,732	-69,922	17	-60,552	-62,349	-70,095
18	-62,651	-61,288	-70,953	18	-61,22	-62,803	-70,519
19	-63,064	-61,829	-71,937	19	-61,943	-63,231	-70,941
20	-63,428	-62,354	-72,953	20	-62,71	-63,638	-71,363
21	-63,762	-62,862	-73,844	21	-63,511	-64,026	-71,784
22	-64,081	-63,354	-74,703	22	-64,335	-64,398	-72,202
23	-64,402	-63,829	-75,531	23	-65,171	-64,755	-72,619
24	-64,737	-64,323	-76,297	24	-66,008	-65,1	-73,033
25	-65,099	-64,804	-76,953	25	-66,838	-65,434	-73,445
26	-65,497	-65,873	-77,641	26	-67,651	-66,323	-73,853
27	-65,938	-66,9	-78,219	27	-68,441	-67,273	-74,258
28	-66,428	-67,912	-78,719	28	-69,201	-68,111	-74,659
29	-66,97	-68,895	-79,25	29	-69,927	-68,898	-75,055
30	-67,565	-69,833	-79,641	30	-70,613	-69,632	-75,447
31	-68,212	-70,729	-80,031	31	-71,258	-70,312	-75,834
32	-68,908	-71,578	-80,312	32	-71,86	-70,939	-76,216
33	-69,649	-72,383	-80,5	33	-72,417	-71,514	-76,592
34	-70,429	-73,144	-80,656	34	-72,931	-72,04	-76,962
35	-71,241	-73,866	-80,75	35	-73,402	-72,521	-77,326
36	-72,077	-74,532	-80,734	36	-73,831	-72,96	-77,683
37	-72,927	-75,144	-80,672	37	-74,221	-73,363	-78,034
38	-73,782	-75,707	-80,531	38	-74,575	-73,762	-78,377

39	-74,632	-76,219	-80,344	39	-74,896	-74,157	-78,713
40	-75,467	-76,66	-80,031	40	-75,187	-74,549	-79,041
41	-76,275	-77,037	-79,75	41	-75,453	-74,936	-79,361
42	-77,046	-77,367	-79,312	42	-75,696	-75,32	-79,673
43	-77,77	-77,643	-78,812	43	-75,921	-75,698	-79,977
44	-78,437	-77,843	-78,281	44	-76,132	-76,071	-80,272
45	-79,036	-78,003	-77,594	45	-76,332	-76,439	-80,558
46	-79,559	-78,111	-77,031	46	-76,526	-76,801	-80,835
47	-79,997	-78,178	-76,25	47	-76,716	-77,157	-81,102
48	-80,342	-78,205	-75,469	48	-76,905	-77,507	-81,36
49	-80,588	-78,135	-74,5	49	-77,097	-77,85	-81,609
50	-80,727	-77,967	-73,719	50	-77,294	-78,186	-81,847
51	-80,755	-77,75	-72,719	51	-77,499	-78,515	-82,076
52	-80,667	-77,46	-71,656	52	-77,712	-78,836	-82,294
53	-80,46	-77,097	-70,687	53	-77,936	-79,15	-82,502
54	-80,13	-76,674	-69,531	54	-78,172	-79,456	-82,699
55	-79,677	-76,209	-68,344	55	-78,421	-79,753	-82,886
56	-79,099	-75,665	-67,062	56	-78,682	-80,042	-83,062
57	-78,396	-75,078	-65,906	57	-78,955	-80,323	-83,228
58	-77,569	-74,449	-64,562	58	-79,242	-80,594	-83,382
59	-76,621	-73,777	-63,375	59	-79,54	-80,857	-83,526
60	-75,552	-73,059	-62,062	60	-79,849	-81,11	-83,658
61	-74,368	-72,312	-60,75	61	-80,168	-81,354	-83,78
62	-73,071	-71,537	-59,469	62	-80,495	-81,588	-83,89
63	-71,667	-70,73	-58,094	63	-80,829	-81,813	-83,989
64	-70,16	-69,895	-56,531	64	-81,168	-82,027	-84,077
65	-68,557	-69,018	-55,312	65	-81,51	-82,232	-84,154
66	-66,862	-68,131	-54,45	66	-81,852	-82,426	-84,22
67	-65,084	-67,22	-54	67	-82,192	-82,61	-84,274
68	-63,229	-66,294	-53,904	68	-82,529	-82,784	-84,318
69	-61,303	-65,377	-52,562	69	-82,86	-82,947	-84,35
70	-59,315	-64,404	-52,714	70	-83,182	-83,1	-84,371
71	-57,273	-63,424	-51,219	71	-83,493	-83,241	-84,381
72	-55,183	-62,429	-50	72	-83,792	-83,373	-84,381
73	-53,054	-59,432	-45,921	73	-84,075	-83,493	-84,369
74	-50,894	-56,474	-41,125	74	-84,341	-83,602	-84,346
75	-48,71	-53,588	-36,484	75	-84,587	-83,701	-84,313
76	-46,51	-50,728	-31,988	76	-84,813	-83,789	-84,269
77	-44,302	-47,926	-27,876	77	-85,016	-83,866	-84,215
78	-42,094	-45,155	-23,877	78	-85,194	-83,932	-84,15
79	-39,891	-42,415	-19,962	79	-85,347	-83,987	-84,075
80	-37,702	-39,707	-16,874	80	-85,473	-84,031	-83,99

81	-35,533	-37,066	-13,919	81	-85,572	-84,064	-83,895
82	-33,39	-34,46	-11,085	82	-85,642	-84,087	-83,79
83	-31,28	-31,89	-8,673	83	-85,683	-84,098	-83,675
84	-29,208	-29,355	-6,419	84	-85,694	-84,099	-83,551
85	-27,179	-26,855	-4,207	85	-85,677	-84,09	-83,417
86	-25,199	-24,392	-2,038	86	-85,63	-84,069	-83,275
87	-23,273	-21,965	0	87	-85,554	-84,039	-83,123
88	-21,403	-19,574	0	88	-85,45	-83,998	-82,963
89	-19,595	-17,219	0	89	-85,318	-83,946	-82,794
90	-17,851	-14,936	0	90	-85,159	-83,885	-82,617
91	-16,174	-12,688	0	91	-84,975	-83,813	-82,432
92	-14,568	-10,474	0	92	-84,765	-83,732	-82,239
93	-13,033	-8,295	0	93	-84,533	-83,641	-82,038
94	-11,572	-6,15	0	94	-84,279	-83,54	-81,83
95	-10,187	-4,069	0	95	-84,005	-83,43	-81,614
96	-8,877	-2,019	0	96	-83,713	-83,31	-81,392
97	-7,643	0	0	97	-83,404	-83,181	-81,163
98	-6,487	0	0	98	-83,081	-83,044	-80,928
99	-5,407	0	0	99	-82,745	-82,897	-80,686
100	-4,403	0	0	100	-82,398	-82,742	-80,439
101	-3,475	0	0	101	-82,043	-82,579	-80,185
102	-2,62	0	0	102	-81,682	-82,408	-79,927
103	-1,839	0	0	103	-81,316	-82,228	-79,663
104	-1,129	0	0	104	-80,948	-82,041	-79,395
105	-0,488	0	0	105	-80,579	-81,846	-79,122
106	0,085	0	0	106	-80,212	-81,644	-78,845
107	0,593	0	0	107	-79,848	-81,435	-78,564
108	1,039	0	0	108	-79,49	-81,219	-78,279
109	1,424	0	0	109	-79,138	-80,997	-77,99
110	1,752	0	0	110	-78,795	-80,768	-77,699
111	2,025	0	0	111	-78,462	-80,533	-77,404
112	2,247	0	0	112	-78,14	-80,293	-77,108
113	2,42	0	0	113	-77,831	-80,046	-76,808
114	2,548	0	0	114	-77,535	-79,795	-76,507
115	2,633	0	0	115	-77,255	-79,538	-76,204
116	2,678	0	0	116	-76,989	-79,277	-75,9
117	2,687	0	0	117	-76,74	-79,011	-75,594
118	2,664	0	0	118	-76,507	-78,741	-75,288
119	2,61	0	0	119	-76,291	-78,467	-74,981
120	2,528	0	0	120	-76,092	-78,19	-74,674
121	2,423	0	0	121	-75,91	-77,909	-74,366
122	2,297	0	0	122	-75,744	-77,625	-74,059

123	2,152	0	0	123	-75,595	-77,338	-73,753
124	1,991	0	0	124	-75,461	-77,048	-73,447
125	1,818	0	0	125	-75,343	-76,756	-73,142
126	1,634	0	0	126	-75,239	-76,462	-72,839
127	1,442	0	0	127	-75,148	-76,167	-72,537
128	1,244	0	0	128	-75,069	-75,87	-72,236
129	1,043	0	0	129	-75,001	-75,571	-71,938
130	0,84	0	0	130	-74,942	-75,272	-71,642
131	0,638	0	0	131	-74,892	-74,972	-71,349
132	0,437	0	0	132	-74,847	-74,672	-71,058
133	0,241	0	0	133	-74,807	-74,372	-70,771
134	0,05	0	0	134	-74,77	-74,072	-70,486
135	-0,135	0	0	135	-74,733	-73,772	-70,205
136	-0,312	0	0	136	-74,695	-73,473	-69,928
137	-0,479	0	0	137	-74,654	-73,175	-69,654
138	-0,637	0	0	138	-74,607	-72,878	-69,385
139	-0,784	0	0	139	-74,553	-72,582	-69,12
140	-0,92	0	0	140	-74,489	-72,288	-68,859
141	-1,044	0	0	141	-74,413	-71,997	-68,603
142	-1,156	0	0	142	-74,323	-71,707	-68,351
143	-1,254	0	0	143	-74,217	-71,42	-68,105
144	-1,34	0	0	144	-74,092	-71,135	-67,863
145	-1,413	0	0	145	-73,947	-70,853	-67,627
146	-1,473	0	0	146	-73,78	-70,574	-67,396
147	-1,52	0	0	147	-73,588	-70,299	-67,171
148	-1,554	0	0	148	-73,369	-70,027	-66,952
149	-1,576	0	0	149	-73,122	-69,744	-66,375
150	-1,586	0	0	150	-72,845	-69,457	-65,986
151	-1,585	0	0	151	-72,536	-69,179	-65,875
152	-1,572	0	0	152	-72,194	-68,907	-65,75
153	-1,548	0	0	153	-71,816	-68,615	-64,914
154	-1,515	0	0	154	-71,403	-68,288	-63,775
155	-1,472	0	0	155	-70,951	-67,964	-63,542
156	-1,421	0	0	156	-70,462	-67,613	-62,583
157	-1,361	0	0	157	-69,932	-67,227	-61,4
158	-1,295	0	0	158	-69,362	-66,85	-61,354
159	-1,222	0	0	159	-68,751	-66,416	-59,626
160	-1,143	0	0	160	-68,098	-65,969	-59,025
161	-1,059	0	0	161	-67,403	-65,51	-58,464
162	-0,971	0	0	162	-66,666	-65,042	-57,946
163	-0,88	0	0	163	-65,886	-64,565	-57,471
164	-0,786	0	0	164	-65,064	-64,082	-57,042

165	-0,69	0	0	165	-64,2	-63,594	-56,659
166	-0,593	0	0	166	-63,294	-63,103	-56,324
167	-0,495	0	0	167	-62,347	-62,611	-56,038
168	-0,398	0	0	168	-61,359	-62,118	-55,801
169	-0,301	0	0	169	-60,332	-61,628	-55,613
170	-0,206	0	0	170	-59,266	-61,142	-55,474
171	-0,114	0	0	171	-58,162	-60,662	-55,385
172	-0,024	0	0	172	-57,022	-60,189	-55,345
173	0,063	0	0	173	-55,847	-59,71	-54,994
174	0,146	0	0	174	-54,638	-59,242	-54,657
175	0,225	0	0	175	-53,398	-58,738	-53,396
176	0,3	0	0	176	-52,128	-58,22	-52,91
177	0,37	0	0	177	-50,829	-57,704	-52,874
178	0,434	0	0	178	-49,504	-57,172	-51,614
179	0,493	0	0	179	-48,155	-56,683	-51,539
180	0,547	0	0	180	-46,784	-56,176	-50,857
181	0,594	0	0	181	-45,393	-55,693	-50,521
182	0,636	0	0	182	-43,985	-53,237	-47,926
183	0,671	0	0	183	-42,561	-50,783	-45,155
184	0,701	0	0	184	-41,125	-48,398	-42,415
185	0,724	0	0	185	-39,678	-46,037	-39,707
186	0,741	0	0	186	-38,223	-43,698	-37,066
187	0,752	0	0	187	-36,763	-41,381	-34,46
188	0,758	0	0	188	-35,3	-39,082	-31,89
189	0,757	0	0	189	-33,836	-36,8	-29,355
190	0,751	0	0	190	-32,374	-34,534	-26,855
191	0,74	0	0	191	-30,917	-32,281	-24,392
192	0,723	0	0	192	-29,468	-30,039	-21,965
193	0,701	0	0	193	-28,027	-27,807	-19,574
194	0,675	0	0	194	-26,599	-25,583	-17,219
195	0,644	0	0	195	-25,185	-23,364	-14,936
196	0,61	0	0	196	-23,787	-21,148	-12,688
197	0,571	0	0	197	-22,408	-18,934	-10,474
198	0,53	0	0	198	-21,051	-16,735	-8,295
199	0,485	0	0	199	-19,716	-14,548	-6,15
200	0,438	0	0	200	-18,407	-12,413	-4,069

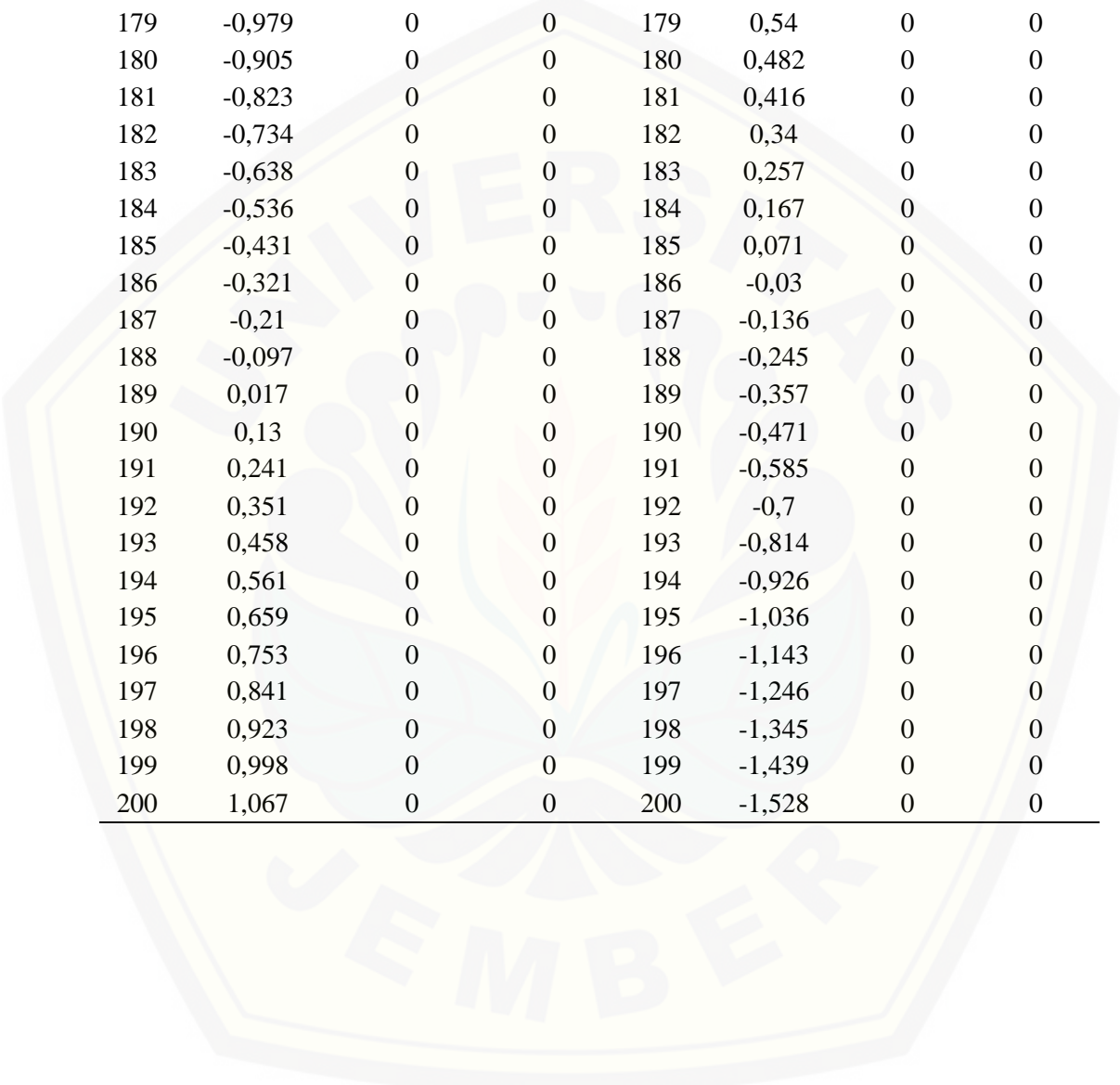
t	Laju Alir 0,14 μ L			t	Laju Alir 0,1 μ L		
	P1	P2	P3		P1	P2	P3
1	-53,402	-50,218	-50,218	1	-50,056	-53,979	-53,979
2	-51,113	-50,546	-50,873	2	-54,362	-58,493	-63,008
3	-49,938	-50,87	-51,52	3	-57,507	-59,93	-62,804
4	-49,616	-51,191	-52,152	4	-59,696	-60,139	-60,766

5	-49,933	-51,506	-52,767	5	-61,136	-60,073	-59,806
6	-50,72	-51,815	-53,36	6	-62,031	-60,089	-60,171
7	-51,844	-52,117	-53,928	7	-62,578	-60,368	-62,039
8	-53,205	-52,411	-54,468	8	-62,959	-61,011	-65,519
9	-54,733	-52,953	-57,288	9	-63,346	-62,083	-70,657
10	-56,378	-53,531	-58,733	10	-63,888	-63,619	-77,44
11	-58,111	-55,005	-69,747	11	-64,721	-65,636	-85,807
12	-59,919	-57,123	-80,421	12	-65,959	-68,137	-95,65
13	-61,801	-59,729	-91,008	13	-67,695	-71,113	-106,828
14	-63,766	-62,808	-102,823	14	-70,007	-74,546	-119,169
15	-65,832	-65,825	-108,065	15	-72,951	-78,408	-132,483
16	-68,021	-68,81	-113,582	16	-76,564	-82,668	-146,563
17	-70,359	-71,784	-119,37	17	-80,869	-87,287	-161,196
18	-72,874	-74,721	-124,66	18	-85,871	-92,225	-176,166
19	-75,594	-77,513	-127,755	19	-91,561	-97,437	-191,26
20	-78,546	-80,239	-132,04	20	-97,917	-102,879	-206,271
21	-81,758	-82,964	-137,464	21	-104,905	-108,504	-221,005
22	-85,253	-85,736	-143,946	22	-112,48	-114,267	-235,281
23	-89,051	-88,59	-151,38	23	-120,589	-120,122	-248,933
24	-93,17	-91,55	-159,644	24	-129,172	-126,026	-261,815
25	-97,622	-94,633	-168,602	25	-138,162	-131,937	-273,799
26	-102,418	-99,748	-178,115	26	-147,487	-141,169	-284,778
27	-107,562	-105,235	-188,043	27	-157,074	-150,435	-294,662
28	-113,055	-111,104	-198,247	28	-166,846	-160,058	-303,385
29	-118,892	-117,362	-208,596	29	-176,724	-170,063	-310,897
30	-125,066	-124,01	-218,969	30	-186,631	-180,358	-317,169
31	-131,566	-131,046	-229,256	31	-196,49	-190,838	-322,189
32	-138,374	-138,463	-239,357	32	-206,226	-201,395	-325,96
33	-145,472	-146,252	-249,187	33	-215,766	-211,915	-328,501
34	-152,837	-154,307	-258,676	34	-225,042	-222,282	-329,845
35	-160,444	-162,669	-267,763	35	-233,987	-232,386	-330,035
36	-168,262	-170,935	-276,403	36	-242,539	-242,119	-329,125
37	-176,263	-179,1	-284,56	37	-250,644	-251,38	-327,179
38	-184,413	-187,148	-292,209	38	-258,247	-260,077	-324,266
39	-192,677	-195,009	-299,335	39	-265,305	-268,129	-320,462
40	-201,02	-202,924	-305,931	40	-271,774	-275,463	-315,845
41	-209,404	-210,86	-311,995	41	-277,62	-282,021	-310,498
42	-217,793	-218,787	-317,531	42	-282,813	-287,753	-304,504
43	-226,148	-226,702	-322,548	43	-287,329	-292,624	-297,947
44	-234,431	-234,674	-327,055	44	-291,148	-296,61	-290,909
45	-242,605	-242,635	-331,064	45	-294,257	-299,698	-283,471
46	-250,632	-250,52	-334,59	46	-296,647	-301,887	-275,71

47	-258,477	-258,268	-337,644	47	-298,317	-303,183	-267,703
48	-266,104	-265,822	-340,238	48	-299,266	-303,607	-259,519
49	-273,479	-273,132	-342,384	49	-299,502	-303,183	-251,224
50	-280,571	-280,151	-344,089	50	-299,034	-301,947	-242,88
51	-287,347	-286,841	-345,36	51	-297,878	-299,937	-234,544
52	-293,78	-293,168	-346,204	52	-296,052	-297,201	-226,265
53	-299,843	-299,103	-346,621	53	-293,577	-293,789	-218,09
54	-305,51	-304,623	-346,613	54	-290,478	-289,756	-210,059
55	-310,759	-309,712	-346,18	55	-286,783	-285,157	-202,207
56	-315,569	-314,354	-345,318	56	-282,522	-280,052	-194,563
57	-319,924	-318,541	-344,025	57	-277,727	-274,5	-187,153
58	-323,806	-322,265	-342,295	58	-272,431	-268,56	-179,995
59	-327,203	-325,523	-340,125	59	-266,671	-262,29	-173,107
60	-330,104	-328,313	-337,51	60	-260,483	-255,749	-166,498
61	-332,501	-330,635	-334,446	61	-253,904	-248,991	-160,178
62	-334,388	-332,49	-330,93	62	-246,973	-242,07	-154,149
63	-335,761	-333,88	-326,961	63	-239,727	-235,036	-148,412
64	-336,618	-334,808	-322,539	64	-232,206	-227,936	-142,966
65	-336,961	-335,277	-317,667	65	-224,448	-220,097	-119,884
66	-336,794	-335,291	-312,35	66	-216,491	-212,319	-116,033
67	-336,12	-334,854	-306,596	67	-208,372	-204,635	-112,411
68	-334,947	-333,969	-300,415	68	-200,127	-196,829	-102,802
69	-333,285	-332,639	-293,821	69	-191,793	-189,192	-99,977
70	-331,144	-330,87	-286,83	70	-183,403	-181,767	-97,857
71	-328,537	-328,665	-279,464	71	-174,991	-173,827	-77,201
72	-325,478	-326,029	-271,744	72	-166,588	-166,075	-73,892
73	-321,982	-322,967	-263,698	73	-158,224	-158,528	-70,849
74	-318,067	-319,486	-255,354	74	-149,929	-150,891	-60,291
75	-313,751	-315,592	-246,744	75	-141,729	-143,43	-56,357
76	-309,053	-311,294	-237,903	76	-133,649	-136,26	-55,297
77	-303,993	-306,601	-228,866	77	-125,712	-129,378	-54,219
78	-298,592	-301,523	-219,673	78	-117,94	-122,692	-50,95
79	-292,872	-296,073	-210,362	79	-110,353	-114,29	-47,926
80	-286,856	-290,264	-200,976	80	-102,968	-106,202	-45,155
81	-280,565	-284,114	-191,556	81	-95,801	-98,419	-42,415
82	-274,024	-277,639	-182,143	82	-88,866	-90,933	-39,707
83	-267,255	-270,858	-172,781	83	-82,175	-83,733	-37,066
84	-260,283	-263,794	-163,511	84	-75,738	-76,809	-34,46
85	-253,129	-256,468	-154,374	85	-69,565	-70,149	-31,89
86	-245,819	-248,907	-145,409	86	-63,662	-63,742	-29,355
87	-238,375	-241,136	-136,656	87	-58,035	-57,576	-26,855
88	-230,821	-233,183	-128,149	88	-52,687	-51,639	-24,392

89	-223,178	-225,079	-119,924	89	-47,62	-45,921	-21,965
90	-215,469	-216,852	-112,011	90	-42,835	-41,125	-19,574
91	-207,715	-208,536	-104,44	91	-38,331	-36,484	-17,219
92	-199,938	-200,162	-97,237	92	-34,107	-31,988	-14,936
93	-192,158	-191,762	-90,423	93	-30,16	-27,876	-12,688
94	-184,394	-183,37	-84,018	94	-26,485	-23,877	-10,474
95	-176,666	-175,018	-78,039	95	-23,077	-19,962	-8,295
96	-168,991	-166,74	-72,497	96	-19,93	-16,874	-6,15
97	-161,387	-158,566	-67,401	97	-17,038	-13,919	-4,069
98	-153,87	-150,528	-62,756	98	-14,391	-11,085	-2,019
99	-146,455	-142,657	-58,564	99	-11,983	-8,673	0
100	-139,157	-135,092	-57,62	100	-9,803	-6,419	0
101	-131,989	-127,846	-56,774	101	-7,843	-4,207	0
102	-124,964	-120,931	-55,971	102	-6,093	-2,038	0
103	-118,094	-114,352	-55,218	103	-4,542	0	0
104	-111,388	-108,131	-54,824	104	-3,179	0	0
105	-104,856	-102,273	-54,525	105	-1,995	0	0
106	-98,507	-96,767	-53,901	106	-0,978	0	0
107	-92,348	-91,615	-53,355	107	-0,117	0	0
108	-86,386	-86,82	-52,895	108	0,598	0	0
109	-80,627	-82,34	-51,53	109	1,178	0	0
110	-75,075	-76,165	-47,926	110	1,635	0	0
111	-69,733	-70,349	-45,155	111	1,978	0	0
112	-64,606	-64,883	-42,415	112	2,217	0	0
113	-59,695	-59,757	-39,707	113	2,364	0	0
114	-55	-54,96	-37,066	114	2,428	0	0
115	-50,524	-50,48	-34,46	115	2,417	0	0
116	-46,265	-46,302	-31,89	116	2,342	0	0
117	-42,221	-42,412	-29,355	117	2,211	0	0
118	-38,393	-38,796	-26,855	118	2,032	0	0
119	-34,777	-35,435	-24,392	119	1,813	0	0
120	-31,369	-32,313	-21,965	120	1,561	0	0
121	-28,168	-29,413	-19,574	121	1,284	0	0
122	-25,168	-26,717	-17,219	122	0,987	0	0
123	-22,366	-24,207	-14,936	123	0,678	0	0
124	-19,756	-21,865	-12,688	124	0,361	0	0
125	-17,332	-19,56	-10,474	125	0,041	0	0
126	-15,09	-17,289	-8,295	126	-0,276	0	0
127	-13,024	-15,05	-6,15	127	-0,587	0	0
128	-11,126	-12,841	-4,069	128	-0,888	0	0
129	-9,39	-10,648	-2,019	129	-1,176	0	0
130	-7,811	-8,467	0	130	-1,448	0	0

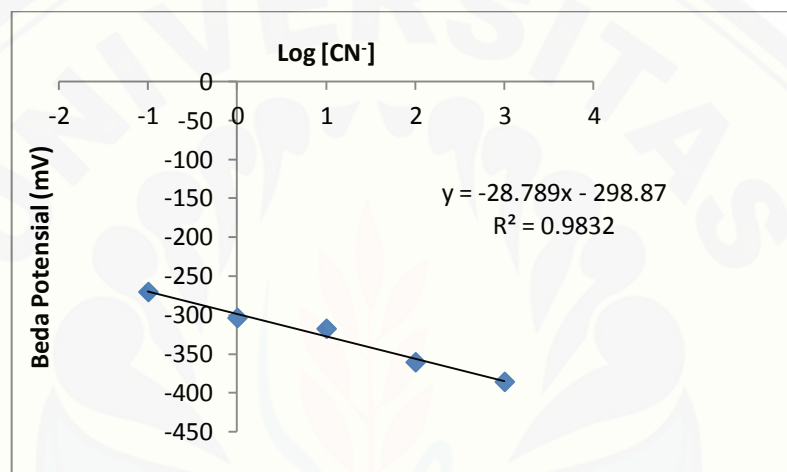
131	-6,38	-6,311	0	131	-1,701	0	0
132	-5,091	-4,177	0	132	-1,933	0	0
133	-3,937	-2,061	0	133	-2,144	0	0
134	-2,911	0	0	134	-2,331	0	0
135	-2,005	0	0	135	-2,494	0	0
136	-1,212	0	0	136	-2,632	0	0
137	-0,526	0	0	137	-2,744	0	0
138	0,061	0	0	138	-2,831	0	0
139	0,556	0	0	139	-2,894	0	0
140	0,965	0	0	140	-2,932	0	0
141	1,295	0	0	141	-2,946	0	0
142	1,553	0	0	142	-2,937	0	0
143	1,746	0	0	143	-2,907	0	0
144	1,879	0	0	144	-2,856	0	0
145	1,958	0	0	145	-2,786	0	0
146	1,989	0	0	146	-2,698	0	0
147	1,978	0	0	147	-2,594	0	0
148	1,929	0	0	148	-2,476	0	0
149	1,849	0	0	149	-2,344	0	0
150	1,741	0	0	150	-2,202	0	0
151	1,611	0	0	151	-2,051	0	0
152	1,462	0	0	152	-1,892	0	0
153	1,298	0	0	153	-1,727	0	0
154	1,124	0	0	154	-1,558	0	0
155	0,942	0	0	155	-1,387	0	0
156	0,756	0	0	156	-1,215	0	0
157	0,568	0	0	157	-1,044	0	0
158	0,382	0	0	158	-0,875	0	0
159	0,199	0	0	159	-0,71	0	0
160	0,022	0	0	160	-0,55	0	0
161	-0,147	0	0	161	-0,396	0	0
162	-0,307	0	0	162	-0,25	0	0
163	-0,456	0	0	163	-0,112	0	0
164	-0,594	0	0	164	0,017	0	0
165	-0,718	0	0	165	0,136	0	0
166	-0,829	0	0	166	0,244	0	0
167	-0,926	0	0	167	0,34	0	0
168	-1,008	0	0	168	0,425	0	0
169	-1,075	0	0	169	0,497	0	0
170	-1,127	0	0	170	0,557	0	0
171	-1,165	0	0	171	0,604	0	0
172	-1,187	0	0	172	0,638	0	0



173	-1,196	0	0	173	0,66	0	0
174	-1,191	0	0	174	0,669	0	0
175	-1,172	0	0	175	0,666	0	0
176	-1,141	0	0	176	0,652	0	0
177	-1,098	0	0	177	0,625	0	0
178	-1,044	0	0	178	0,588	0	0
179	-0,979	0	0	179	0,54	0	0
180	-0,905	0	0	180	0,482	0	0
181	-0,823	0	0	181	0,416	0	0
182	-0,734	0	0	182	0,34	0	0
183	-0,638	0	0	183	0,257	0	0
184	-0,536	0	0	184	0,167	0	0
185	-0,431	0	0	185	0,071	0	0
186	-0,321	0	0	186	-0,03	0	0
187	-0,21	0	0	187	-0,136	0	0
188	-0,097	0	0	188	-0,245	0	0
189	0,017	0	0	189	-0,357	0	0
190	0,13	0	0	190	-0,471	0	0
191	0,241	0	0	191	-0,585	0	0
192	0,351	0	0	192	-0,7	0	0
193	0,458	0	0	193	-0,814	0	0
194	0,561	0	0	194	-0,926	0	0
195	0,659	0	0	195	-1,036	0	0
196	0,753	0	0	196	-1,143	0	0
197	0,841	0	0	197	-1,246	0	0
198	0,923	0	0	198	-1,345	0	0
199	0,998	0	0	199	-1,439	0	0
200	1,067	0	0	200	-1,528	0	0

Lampiran 4 Tabel dan Kurva Kalibrasi SIA Potensiometri
Tabel Data SIA Potensiometri

Konsentrasi	Pengulangan			Rata-rata	SD	Kv (%)
	1	2	3			
0,1	-270,099	-278,306	-262,758	-270,388	7,778	2,88
1	-291,504	-302,5	-315,705	-303,236	12,117	4
10	-317,162	-321,888	-315,378	-318,143	3,364	1,06
100	-361,005	-356,479	-344,504	-353,996	8,526	2,41
1000	-383,299	-387,501	-386,791	-385,864	2,249	0,58



Kurva kalibrasi sianida dengan SIA Potensiometri

Lampiran 5. Perhitungan Limit Deteksi

a. Limit Deteksi SIA Potensiometri

Tabel Data Potensiometri

Ulangan	Potensial Blanko (Y)	[Y-Y ₁]	[Y-Y ₁] ²
1	-243,38	0,6448	0,4158
2	-243,13	0,9008	0,8114
3	-244,72	-0,6932	0,4805
4	-244,16	-0,1322	0,0175
5	-244,43	-0,4062	0,1650
6	-244,54	-0,5152	0,2654
7	-244,49	-0,4602	0,2118
8	-244,27	-0,2382	0,0567
9	-243,86	0,1648	0,0272
10	-243,29	0,7348	0,5399
Rata-rata (Y1)	-244,023		Σ = 2,9913

Pers, Kurva Kalibrasi $y = -28,789x - 298,87$

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum [Y - Y_1]^2}{n - 2}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,9913}{10 - 2}}$$

$$= 0,58$$

$$\text{Pengukuran } Y_{\text{LOD}} = Y_B + 3 S_D$$

$$= -244,023 + 3 (0,58)$$

$$= -242,3$$

Konsentrasi limit deteksi

$$(X) = \frac{Y - c}{m}$$

$$= \frac{-242,3 + 298,87}{-28,789}$$

$$= -1,965$$

$$\text{Log [CN]} = -1,965$$

$$\text{Antilog [CN]} = 0,011$$

Jadi, konsentrasi terkecil yang dapat dideteksi untuk metode SIA Potensiometri yaitu 0,011 ppm.

b. Limit Deteksi Spektrofotometer Visibel

Tabel Data Spektrofotometer

Ulangan	Potensial Blanko (Y)	[Y-Y ₁]	[Y-Y ₁] ²
1	0,002	0,0008	6,4E-07
2	0,001	-0,0002	4E-08
3	0,003	0,0018	3,24E-06
4	0,002	0,0008	6,4E-07
5	0,001	-0,0002	4E-08
6	-0,001	-0,0022	4,84E-06
7	0,001	-0,0002	4E-08
8	0,002	0,0008	6,4E-07
9	-0,001	-0,0022	4,84E-06
10	0,002	0,0008	6,4E-07
Rata-rata (Y1)	0,0012		Σ =1,56E-05

Pers, Kurva Kalibrasi $y = 0,00558x + 0,1043$

$$\begin{aligned} S_D &= \sqrt{\frac{\sum [Y - Y_1]^2}{n - 2}} \\ &= \sqrt{\frac{1,56.E - 05}{10 - 2}} \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pengukuran } Y_{\text{LOD}} &= Y_B + 3 S_D \\ &= 0,0012 + 3 (0,001) \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

Konsentrasi limit deteksi

$$\begin{aligned} (X) &= \frac{Y - c}{m} \\ &= \frac{0,005 - 0,0077}{0,0028} \\ &= -0,9108 \end{aligned}$$

$$\text{Log [CN]} = -0,9108$$

$$\text{Antilog [CN]} = 0,123$$

Jadi, konsentrasi terkecil yang dapat dideteksi untuk metode spektrofotometer visible batch yaitu 0,123 ppm.

Lampiran 6. Perhitungan Reprodusibilitas

$$Kv = \left[\frac{SD}{Y1} \right] \times 100\%$$

a. Reprodusibilitas Metode Spektrofotometri

Tabel Data Spektrofotometri

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Rata-rata	SD	Kv (%)
	P1	P2	P3			
1	0,110	0,111	0,110	0,110333	0,000577	0,52
2	0,117	0,116	0,118	0,117	0,001	0,85
3	0,122	0,121	0,122	0,121667	0,000577	0,47
4	0,128	0,128	0,129	0,128333	0,000577	0,45
5	0,133	0,134	0,132	0,133	0,001	0,75
6	0,139	0,134	0,137	0,136667	0,002517	1,84
7	0,143	0,148	0,146	0,145667	0,002517	1,73
8	0,149	0,151	0,153	0,151	0,002	1,32
9	0,158	0,156	0,16	0,158	0,002	1,26
10	0,164	0,169	0,168	0,167	0,002646	1,58

Contoh perhitungan reprodusibilitas konsentrasi 1 ppm

$$Kv = \left[\frac{SD}{Y1} \right] \times 100\%$$

$$Kv = \left[\frac{0,00058}{0,11033} \right] \times 100\%$$

$$Kv = 0,0052 \times 100\%$$

$$Kv = 0,52\%$$

b. Reprodusibilitas Metode SIA Potensiometri

Tabel Data SIA Potensiometri

Konsentrasi (ppm)	Beda Potensial (mV)			Rata-rata	SD	Kv (%)
	1	2	3			
0,1	-270,099	-274,306	-269,758	-271,388	2,534	0,933
1	-301,504	-302,500	-305,378	-303,127	2,012	0,664
10	-315,705	-317,162	-321,888	-318,252	3,232	1,016
100	-349,005	-353,479	-354,504	-352,329	2,924	0,830
1000	-383,299	-387,501	-386,791	-385,864	2,250	0,583

Contoh perhitungan reprodusibilitas konsentrasi 0,1 ppm

$$Kv = \left[\frac{SD}{Y1} \right] \times 100\%$$

$$Kv = \left[\frac{2,534}{271,388} \right] \times 100\%$$

$$Kv = 0,00933 \times 100\%$$

$$Kv = 0,933\%$$

Lampiran 7. Perhitungan Akurasi

$$Akurasi = \frac{\text{konsentrasi sampel dengan metode SIA Potensiometri}}{\text{konsentrasi sampel dengan metode spektrofotometri visibel}} \times 100\%$$

Tabel Akurasi

Sampel	Konsentrasi Sampel Metode SIA potensiometri ppm	Konsentrasi Sampel Metode Spektrofotometri Visible ppm	Akurasi
1	9,605	10,037	95,69 %
2	4,840	5,222	92,67 %
3	8,571	9,296	92,20 %

Contoh perhitungan akurasi sampel 1

$$Akurasi = \frac{\text{konsentrasi sampel dengan metode SIA Potensiometri}}{\text{konsentrasi sampel dengan metode spektrofotometri visibel}} \times 100\%$$

$$= \left[\frac{9,605}{10,037} \right] \times 100\%$$

$$= 0,9569 \times 100\%$$

$$= 95,6\%$$