



**PENGEMBANGAN SENSOR KIMIA BERBASIS REAGEN KERING
UNTUK ANALISIS KUANTITATIF ION-ION LOGAM BERAT
MENGUNAKAN 1-(2-Dyridylazo)-2-naphtol (PAN)**

S K R I P S I

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Program Sarjana Sains
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember



Asal:	Harah	Klass
Terima Tgl : 26 FEB 2002	Harah	546.3
Oleh No. Induk : 0361		SET
KLASIR / PENYALIN:	idaw	P

Febrina Setyowati
NIM. 971810301019

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

PEBRUARI, 2002

MOTTO :

Pedang dari bahan yang paling baik
selalu pedang yang paling lentur,
demikian pula orang yang paling baik
selalu paling luwes dan paling ramah
kepada orang-orang yang lebih rendah daripadanya (FULLER)

Kehilangan adalah bagian dari kehidupan
tapi itu membuat hidup lebih berarti
(Message from MIB)

Aku persembahkan Skripsi ini boeat:

Bapak dan Ibu tercinta

Kakak-Kakakku (mbak Rini, mbak Wie,
mbak Triek, mbak Yahud) dan Adikku
(Tatat)

The three beloved nieces (Lalal, Tita
dan Dida)

Konco-konco se-team (Indah, Dwi dan
Udin) terima kasih atas kerjasama dan
kebersamaannya

Mc D, you're the best I ever had

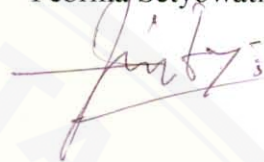
Almamaterku

DEKLARASI

- Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan April 2001 sampai dengan bulan Agustus 2001 di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Februari 2002

Febrina Setyowati



ABSTRAK

FEBRINA SETYOWATI (971810301019). **PENGEMBANGAN SENSOR KIMIA BERBASIS KAN REAGEN KERING UNTUK ANALISIS ION LOGAM BERAT MENGGUNAKAN 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN)** (Dibawah bimbingan Drs. Bambang Kuswandi, MSc., PhD. sebagai Dosen Pembimbing Utama, dan Drs. Agus Abdul Gani, Msi. Sebagai Dosen Pembimbing Anggota).

Reagen 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN) telah digunakan sebagai reagen spektrofotometrik untuk analisa ion logam berat dengan metode konvensional. Pada penelitian ini digunakan reagen PAN dalam bentuk larutan dan kemudian hasilnya dibandingkan dengan metode baru, yaitu reagen kering. Reagen diimobilisasikan pada matriks Nafion dan kemudian direaksikan dengan ion logam Cu(II), Co(II), Cd(II), Hg(II), Ni(II), Zn(II), dan Pb(II). Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa PAN dalam bentuk reagen larutan terhadap ion logam Hg(II), Ni(II), Co(II) dan Cu(II) mempunyai urutan kesensitifan Cu(II)>Ni(II)>Hg(II)>Hg(II). Sedangkan dalam bentuk reagen kering terhadap ion logam Co(II), Cd(II), Pb(II), Hg(II) dan Zn(II) mempunyai urutan kesensitifan Hg(II)>Zn(II)>Co(II)>Pb(II)>Cd(II). Pada penelitian ini ion logam yang dapat dideteksi oleh kedua metode adalah ion Hg(II) dan Co(II). Sehingga, untuk membandingkan dua jenis metode pengukuran ditinjau dari ion Hg(II) dan Co(II). Perbandingan ini meliputi nilai batas deteksi dan reproduibilitas. Batas deteksi yang berhasil dicapai oleh PAN dalam bentuk reagen larutan pada pengukuran ion Co(II) dan Hg(II) berturut-turut sebesar 0.0944 ppm dan 0.0654 ppm. Sedangkan dalam bentuk reagen kering diperoleh batas deteksi untuk pengukuran ion Co(II) dan Hg(II) masing-masing sebesar 0.119 ppm dan 0.093 ppm. Analisis perbandingan pengukuran dengan menggunakan reagen larutan dan reagen kering terhadap ion Hg(II) dan Co(II) tidak mempunyai perbedaan sistematis. Hal ini ditunjukkan oleh kurva gabungan dari kedua metode ini yang mempunyai koefisien korelasi bernilai 1.

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 25 FEB 2002

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua



(Drs. Bambang Kuswandi, MSc., Ph.D)

NIP.132 094 129

Sekretaris



(Drs. Agus Abdul Gani, MSi.)

NIP. 131 577 294

Penguji I



(Drs. Sudarko, Ph.D)

NIP. 132 005 050

Penguji II



(Asnawati, SSi., MSi.)

NIP. 132 240 146

Mengesahkan

lekan FMIPA UNEJ



(Sumadi, MS)

NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan hidayah dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan judul **Pengembangan Sensor Kimia Berbasis Reagen Kering Untuk Analisis Kuantitatif Ion Logam Berat Menggunakan 1-(2-pyridilazo)-2-naphtol (PAN)**.

Skripsi ini ditulis untuk melengkapi salah satu syarat untuk mencapai derajat Kesarjanaan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Bambang Kuswandi, MSc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama atas ide, bantuan dan bimbingan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Drs. Agus Abdul Gani, MSi. Selaku Dosen Pembimbing Anggota atas ide, bantuan dan bimbingan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember
4. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember
5. Pimpinan dan Staf Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember atas bantuan fasilitas dan kesempatan yang diberikan selama penelitian.
6. Teman-teman Angkatan '97 yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari skripsi ini jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan sumbangan bagi Ilmu Pengetahuan.

Jember, Februari 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN MOTTO.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN DEKLARASI.....	iv
ABSTRAK.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Logam Berat.....	4
2.1.1 Pengertian Logam Berat.....	4
2.1.2 Toksisitas Logam Berat.....	4
2.1.3 Timbal (Pb).....	4
2.1.4 Kadmium (Cd).....	5
2.1.5 Merkuri (Hg).....	6
2.1.6 Nikel Ni).....	7
2.1.7 Kobalt (Co).....	8
2.1.8 Seng(II).....	8
2.1.9 Tembaga.....	9

2.2	Teknik Analisis Spektrofotometri.....	10
2.3	Hukum Dasar Spektroskopi Absorpsi.....	11
2.4	Keuntungan-Keuntungan Teknik Spektrofotometri.....	13
2.5	Reagen 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN)	14
2.6	Teknik Imobilisasi Reagen.....	16
2.6.1	Adsorpsi.....	16
2.6.1.1	Pengertian Adsorpsi.....	16
2.6.1.2	Jenis Adsorpsi.....	17
2.6.2	Mikroenkapsulasi.....	17
2.6.3	Penjeraban (<i>Entrapment</i>).....	18
2.6.4	Ikatan Silang (<i>Cross Linking</i>).....	18
III.	METODOLOGI	
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.1.1	Waktu Penelitian.....	19
3.1.2	Tempat Penelitian.....	19
3.2	Alat dan Bahan.....	19
3.2.1	Alat.....	19
3.2.2	Bahan.....	19
3.3	Prosedur Kerja.....	19
3.3.1	Preparasi Larutan Logam Berat Standart.....	19
3.3.2	Preparasi Reagen PAN.....	20
3.3.3	Preparasi Buffer.....	20
3.3.4	Preparasi Blanko.....	21
3.3.5	Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Ion Logam dengan Reagen Larutan.....	21
3.3.6	Studi Pengaruh pH terhadap Stabilitas Kompleks dengan Reagen Larutan.....	21
3.3.7	Prosedur Imobilisasi.....	21
3.3.8	Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Ion Logam dengan Reagen Kering.....	21

3.3.9	Studi Pengaruh pH terhadap Stabilitas Kompleks Dengan Reagen Kering.....	22
3.3.10	Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	22
3.4	Metode Analisis.....	22
3.4.1	Penentuan Sensitivitas.....	22
3.4.2	Penentuan Batas Deteksi.....	22
3.4.3	Penentuan Koefisien Variasi.....	23
3.4.4	Membandingkan Dua Cara Analisis dengan Uji t.....	23
3.4.5	Analisis Batas Deteksi Menggunakan Uji-t Berpasangan...	23
3.4.6	Analisis Reprodusibilitas Menggunakan Simpangan Baku Gabungan.....	24
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Hasil Penelitian.....	25
4.1.1	Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Kompleks PAN-Logam Berat Menggunakan Reagen Larutan.....	25
4.1.2	Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Kompleks PAN-Logam Berat Menggunakan Reagen Kering.....	27
4.1.3	Penentuan pH Optimum Kompleks PAN-Logam Berat Menggunakan Reagen Larutan.....	30
4.1.4	Penentuan pH Optimum Kompleks PAN-Logam Berat Menggunakan Reagen Kering.....	32
4.1.5	Kurva Kalibrasi Kompleks Logam Berat-PAN Menggunakan Reagen Larutan.....	34
4.1.6	Kurva Kalibrasi Kompleks Logam Berat-PAN Menggunakan Reagen Kering.....	36
4.1.7	Imobilisasi Reagen PAN pada Nafion.....	38
4.2	Analisis Data	39
4.2.1	Sensitivitas Reagen PAN terhadap Logam Berat.....	39

4.2.2	Batas Deteksi Pengukuran Logam Berat Menggunakan Reagen PAN.....	40
4.2.3	Reproduktibilitas Reagen PAN dalam Pengukuran Logam Berat.....	42
4.3	Pembahasan.....	43
4.3.1	Panjang Gelombang Maksimum Kompleks PAN-Logam Berat.....	43
4.3.2	pH Optimum Kompleks PAN-Logam Berat.....	45
4.3.3	Kompleks PAN-Logam Berat.....	46
4.3.4	Batas Deteksi Pengukuran PAN terhadap Ion Logam Berat.....	48
4.3.5	Reproduktibilitas Pengukuran Menggunakan Reagen PAN	49
4.3.6	Analisis Perbandingan Metode Reagen Larutan dan Reagen Kering.....	49
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran.....	55
	DAFTAR PUSTAKA.....	56

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1	Hubungan antara panjang gelombang, warna, dan warna komplementer dalam daerah tampak.....	12
2	Sensitivitas PAN terhadap ion logam.....	39
3	Batas deteksi PAN dalam pengukuran logam berat.....	41
4	Nilai koefisien variasi pengukuran ion Hg(II)	42
5	Nilai koefisien variasi pengukuran ion Co(II)	43
6	Karakterisasi reagen PAN pada pengukuran ion Hg(II)	50
7	Karakterisasi reagen PAN pada pengukuran ion Co(II)	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN).....	14
Gambar 2. Reaksi perubahan bentuk netral PAN.....	15
Gambar 3. Reaksi antara ion Cu^{2+} dengan PAN.....	15
Gambar 4. Spektra Kompleks PAN-Cu 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	25
Gambar 5. Spektra Kompleks PAN-Zn 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	25
Gambar 6. Spektra Kompleks PAN-Co 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	26
Gambar 7. Spektra Kompleks PAN-Hg 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	26
Gambar 8. Spektra Kompleks PAN-Ni 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	26
Gambar 9. Spektra Kompleks PAN-Pb 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	27
Gambar 10. Spektra Kompleks PAN-Cd 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Larutan.....	27
Gambar 11. Spektra Kompleks PAN-Cu 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	28
Gambar 12. Spektra Kompleks PAN-Zn 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	28
Gambar 13. Spektra Kompleks PAN-Co 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	28
Gambar 14. Spektra Kompleks PAN-Hg 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	29

Gambar 15.	Spektra Kompleks PAN-Ni 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	29
Gambar 16.	Spektra Kompleks PAN-Pb 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	29
Gambar 17.	Spektra Kompleks PAN-Cd 10 ppm pada pH 7 Menggunakan Reagen Kering	30
Gambar 18.	Kurva Optimasi pH ion Co(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Larutan.....	30
Gambar 19.	Kurva Optimasi pH ion Ni(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Larutan.....	31
Gambar 20.	Kurva Optimasi pH ion Cu(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Larutan.....	31
Gambar 21.	Kurva Optimasi pH ion Hg(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Larutan.....	31
Gambar 22.	Kurva Optimasi pH ion Hg(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	32
Gambar 23.	Kurva Optimasi pH ion Pb(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	32
Gambar 24.	Kurva Optimasi pH ion Cd(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering.....	33
Gambar 25.	Kurva Optimasi pH ion Co(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	33
Gambar 26.	Kurva Optimasi pH ion Cu(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	33
Gambar 27.	Kurva Optimasi pH ion Zn(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	34
Gambar 28.	Kurva Optimasi pH ion Ni(II) 10 ppm Menggunakan Reagen Kering	34
Gambar 29.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Hg pada Panjang Gelombang 592 nm dan pH Optimum 7 Menggunakan Reagen Larutan	35

Gambar 30.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Ni pada Panjang Gelombang 595 nm dan pH Optimum 7 Menggunakan Reagen Larutan	35
Gambar 31.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Co pada Panjang Gelombang 499 nm dan pH Optimum 6 Menggunakan Reagen Larutan	35
Gambar 32.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Cu pada Panjang Gelombang 553 nm dan pH Optimum 6 Menggunakan Reagen Larutan	36
Gambar 33.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Hg pada Panjang Gelombang 577 nm dan pH Optimum 7 Menggunakan Reagen Kering	36
Gambar 34.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Cd pada Panjang Gelombang 598 nm dan pH Optimum 8 Menggunakan Reagen Kering	37
Gambar 35.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Pb pada Panjang Gelombang 451 nm dan pH Optimum 9 Menggunakan Reagen Kering	37
Gambar 36.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Co pada Panjang Gelombang 583 nm dan pH Optimum 6 Menggunakan Reagen Kering	37
Gambar 37.	Kurva Kalibrasi Kompleks PAN-Zn pada Panjang Gelombang 568 nm dan pH Optimum 7 Menggunakan Reagen Kering	38
Gambar 38.	Kurva Sensitifitas Reagen Larutan terhadap Ion Logam	39
Gambar 39.	Kurva Sensitifitas Reagen Larutan terhadap Ion Logam	40
Gambar 40.	Kurva Perbandingan Metode Analisa pada Pengukuran Ion Hg(II).....	52
Gambar 41.	Kurva Perbandingan Metode Analisa pada Pengukuran Ion Co(II).....	53

DAFTAR LAMPIRAN

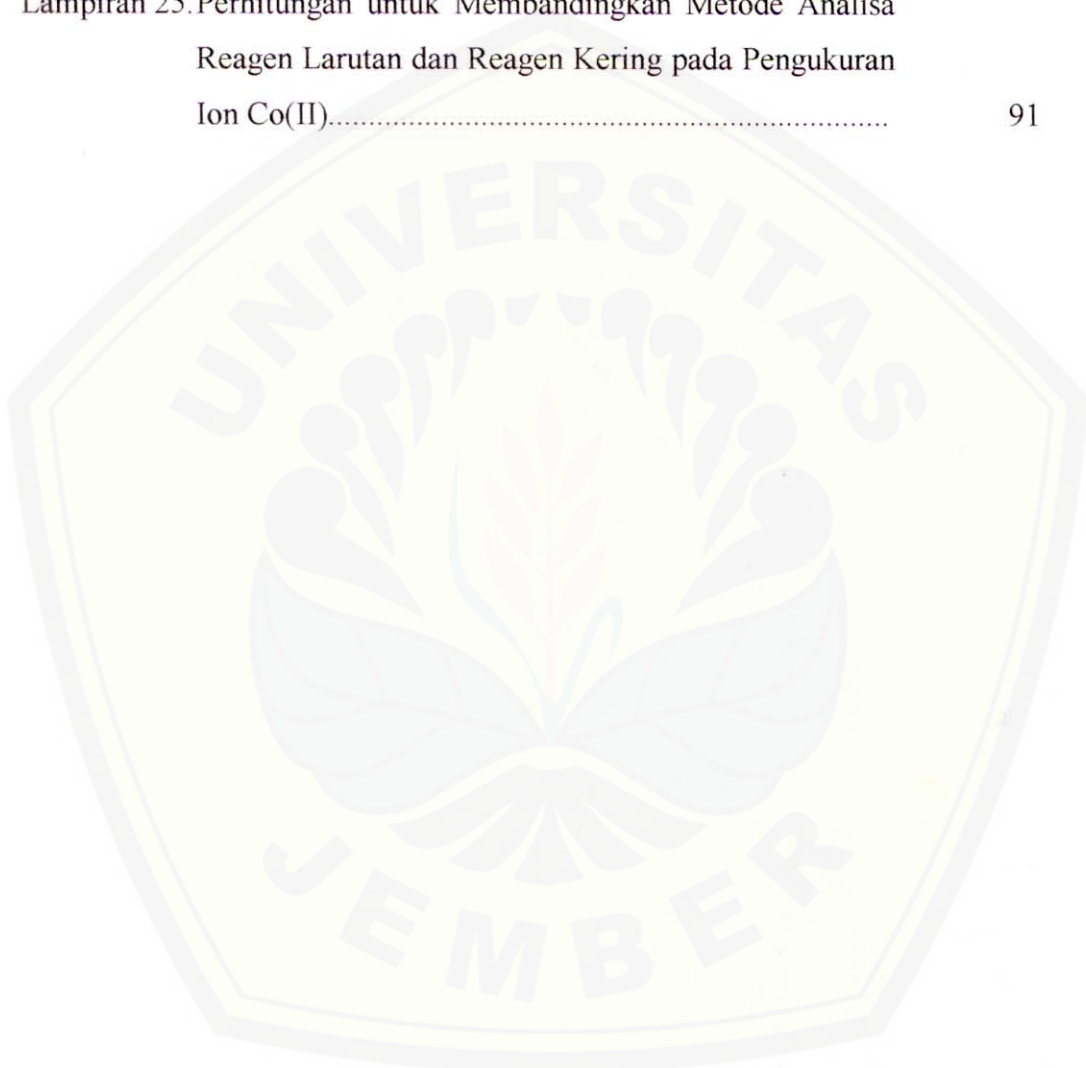
	Halaman
Lampiran 1. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Blanko Menggunakan Reagen Larutan.....	58
Lampiran 2. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Co(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	59
Lampiran 3. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Zn(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	60
Lampiran 4. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Pb(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	61
Lampiran 5. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Hg(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	62
Lampiran 6. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cd(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	63
Lampiran 7. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Ni(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	64
Lampiran 8. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cu(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	65
Lampiran 9. Data Absorbansi pada Penentuan pH Optimum Menggunakan Reagen Larutan.....	66
Lampiran 10. Data Absorbansi pada Pembuatan Kurva Kalibrasi Menggunakan Reagen Larutan.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Blanko Menggunakan Reagen Larutan.....	58
Lampiran 2. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Co(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	59
Lampiran 3. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Zn(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	60
Lampiran 4. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Pb(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	61
Lampiran 5. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Hg(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	62
Lampiran 6. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cd(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	63
Lampiran 7. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Ni(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	64
Lampiran 8. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cu(II) Menggunakan Reagen Larutan.....	65
Lampiran 9. Data Absorbansi pada Penentuan pH Optimum Menggunakan Reagen Larutan.....	66
Lampiran 10. Data Absorbansi pada Pembuatan Kurva Kalibrasi Menggunakan Reagen Larutan.....	67

Lampiran 11. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cu(II) Menggunakan Reagen Kering.....	69
Lampiran 12. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Ni(II) Menggunakan Reagen Kering.....	70
Lampiran 13. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Hg(II) Menggunakan Reagen Kering.....	72
Lampiran 14. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Zn(II) Menggunakan Reagen Kering.....	74
Lampiran 15. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Cd(II) Menggunakan Reagen Kering.....	76
Lampiran 16. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Pb(II) Menggunakan Reagen Kering.....	78
Lampiran 17. Data Absorbansi pada Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Co(II) Menggunakan Reagen Kering.....	79
Lampiran 18. Data Absorbansi pada Penentuan pH Optimum Menggunakan Reagen Kering.....	81
Lampiran 19. Data Absorbansi pada Pembuatan Kurva Kalibrasi Reagen Kering.....	82
Lampiran 20. Analisa Batas Deteksi Pengukuran Hg(II) Menggunakan Uji-t.....	84
Lampiran 21. Analisa Batas Deteksi Pengukuran Co(II) Menggunakan Uji-t.....	85
Lampiran 22. Analisa Reprodusibilitas pada Pengukuran Hg(II) dengan Membandingkan Simpangan Baku.....	86

Lampiran 23. Analisa Reprodusibilitas pada Pengukuran Co(II) dengan Membandingkan Simpangan Baku.....	88
Lampiran 24. Perhitungan untuk Membandingkan Metode Analisa Reagen Larutan dan Reagen Kering pada Pengukuran Ion Hg(II).....	90
Lampiran 25. Perhitungan untuk Membandingkan Metode Analisa Reagen Larutan dan Reagen Kering pada Pengukuran Ion Co(II).....	91





I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam berat sering terdapat dalam air, baik air tanah maupun air permukaan. Dalam air, logam berat biasanya berwujud sebagai kation. Ion-ion tersebut ada yang merupakan ion bebas, pasangan ion organik dan ion-ion kompleks. Melalui proses rantai makanan logam berat yang terkandung dalam air dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup, sehingga dapat mengganggu kesehatan. Hasil penelitian pengaruh logam berat terhadap manusia menunjukkan bahwa ion-ion logam berat menjadi penyebab terjadinya beberapa jenis penyakit, seperti darah tinggi, kerusakan hati, gangguan sistem gerak dan otak, dan lain-lain; dan apabila tingkat akumulasi logam berat dalam tubuh sangat tinggi dapat menyebabkan kematian. Dengan demikian, keberadaan dan kandungan logam berat dalam air perlu dideteksi sedini mungkin untuk menghindari akibat-akibat buruk yang ditimbulkannya. Oleh karena itu perlu diupayakan pembuatan sensor kimia.

Salah satu metode sensor kimia untuk analisis logam berat yang telah diupayakan saat ini adalah dengan metode reagen kering. Pada metode ini, reagen yang berfungsi sebagai pengompleks ion logam terlebih dahulu diimobilisasikan pada suatu matriks polimer, kemudian direaksikan dengan ion logam. Kandungan ion logam kemudian dapat diukur dengan menggunakan metode tertentu.

Pengukuran kandungan logam berat dengan menggunakan metode reagen kering telah dilakukan dengan cara *flow system* oleh Madden, dkk pada tahun 1995. Metode ini digunakan untuk analisis ion-ion Cu(II), Ni(II), Cd(II), Zn(II), Mn(II), Pb(II) dan Hg(II). Matriks polimer yang digunakan adalah Nafion dan reagen yang digunakan adalah *1-(2-pyridylazo)-2-naphthol* (PAN). Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode ini menunjukkan bahwa PAN sensitif terhadap ion Ni(II) dan range kurva kalibrasi yang dapat dicapai antara 0.02 - 0.12 mM ($1.2 - 7.2 \text{ mg L}^{-1}$).

Dalam penelitian ini, akan dipelajari penggunaan reagen kering untuk analisis kandungan logam berat dalam air dengan metode spektroskopi. Salah satu

sifat logam berat adalah dapat dikomplekskan oleh reagen-reagen tertentu, misalnya *1-(2-pyridylazo)-2-naphthol* (PAN). Dengan reagen PAN ini logam berat dapat membentuk senyawa kompleks yang memiliki spektrum warna tertentu. Kandungan ion-ion logam berat dapat dideteksi dengan metode analisis spektroskopi. Metode ini mengukur intensitas warna yang ditimbulkan oleh senyawa-senyawa kompleks berwarna, dimana intensitas warna sebanding dengan konsentrasi ion logam.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada bagian latar belakang, beberapa permasalahan yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah.

- 1) pada panjang gelombang berapakah kompleks PAN-logam berat memberikan nilai serapan maksimum?
- 2) sejauh mana tingkat kesensitifan reagen PAN terhadap ion-ion logam berat?
- 3) bagaimana batas deteksi yang ditunjukkan oleh reagen PAN dalam bentuk reagen larutan dan reagen kering dalam analisis logam berat?
- 4) bagaimana tingkat reproduibilitas reagen PAN dalam bentuk reagen kering dibandingkan dengan reagen larutan dalam analisis logam berat?
- 5) sejauh mana tingkat keakurasian analisis dengan metode reagen kering?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan merancang sensor kimia yang berbasis pada reagen kering untuk menganalisis kandungan ion-ion logam berat dalam sampel air dengan modifikasi dari metode analisis spektrofotometri.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini matriks yang digunakan adalah Nafion. Sedangkan logam berat yang diteliti adalah Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn).

1.5 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengujian logam berat menggunakan reagen PAN sehingga dapat digunakan untuk monitoring lingkungan sebagai metode analisis yang murah, aman dan sederhana





II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

2.1.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat adalah suatu istilah unsur kimia yang berada diantara logam dan metaloid dengan densitas atom lebih besar 6 g/cm^3 (Alloway and Ayres, 1997). Menurut Palar (1994) istilah logam berat lebih luas lagi biasanya digunakan untuk Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, dan Zn. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam lain, yang membedakannya adalah pengaruh yang ditimbulkan jika logam berat masuk ke dalam tubuh organisme hidup.

2.1.2 Toksisitas Logam Berat

Logam berat bersifat toksik (beracun) bila berada dalam bentuk kation dan membentuk ikatan dengan atom karbon yang berada dalam organisme hidup. Menurut Baird (1995), secara biokimia mekanisme dari toksisitas logam berat muncul dari afinitas yang kuat dari kation-kation logam terhadap sulfur. Sehingga, gugus "sulfhidril", -SH, yang umumnya berada dalam enzim yang mengontrol kecepatan reaksi metabolisme pada tubuh manusia, secara cepat akan mengikat kation-kation logam berat atau molekul-molekul yang mengandung logam. Karena ikatan sulfur-logam mempengaruhi enzim-enzim yang ada dalam tubuh manusia secara keseluruhan, enzim-enzim ini tidak dapat bekerja secara normal dan kesehatan manusia akan terganggu, dan seringkali akan berakibat fatal.

2.1.3 Timbal (Pb)

Timbal dalam tabel periodik unsur berada pada golongan IVA periode 6. Dua bentuk keadaan teroksidasinya (Pb(II) dan Pb(IV)) bersifat stabil tetapi dalam bidang ilmu kimia, pembahasan lebih ditekankan pada ion Pb^{2+} . Unsur timbal mudah dibentuk ($\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$) merupakan logam dengan warna biru keabu-abuan yang meleleh pada temperatur 327°C dan titik didihnya 1744°C (Alloway, 1995).

Persenyawaan bijih logam timbal ditemukan dalam bentuk *galena* (PbS), *anglesit* (PbSO₄) dan dalam bentuk *minim* (Pb₃O₄) (Palar, 1994). Menurut Fifield and Haines (1997), dalam setiap kilogram *galena* dapat ditemukan bijih timbal sebanyak 0.1 – 10 mg.

Penggunaan timbal secara luas dalam kehidupan manusia menyebabkan timbal sebagai salah satu unsur yang paling beracun. Sumber utama timbal di lingkungan berasal dari penambahan timbal sebagai bahan anti-knocking pada bensin. Sumber lainnya adalah penggunaan timbal sebagai bahan pembuatan pipa air, pelapis, pematian kaleng, dan bahan tambahan dalam pembuatan cat (Fifield and Haines, 1997).

Metode dasar dari analisis timbal adalah *electrothermal atomic absorption spectrometry* (EAAS) dan *inductively coupled plasma mass spectrometry* (ICP-MS) (Fifield and Haines, 1997). Menurut Stoepler (1992), interferen yang biasanya muncul pada metode *electrothermal atomic absorption spectrometry* adalah pembentukan senyawa timbal yang bersifat volatil seperti timbal oksida, timbal sulfida, timbal klorida, dan kehadiran senyawa-senyawa klorida dari logam alkali tanah. Batas deteksi yang dapat dicapai oleh metode ini dengan menggunakan *flame* sebesar 10 µg dm⁻³, dan dengan pembakaran grafit, *graphite furnace*, sebesar 0.02 µg dm⁻³. Sedangkan pada metode ICP-MS, batas deteksi yang dapat dicapai pada pengukuran timbal sebesar 0.01 µg dm⁻³.

2.1.4 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah unsur ke-67 yang paling berlimpah yang ada di kerak bumi. Logam ini mempunyai nomor atom 48; berat atom 112,4; berat jenis 8,64 g/cm⁻³; titik leleh 320,9°C; titik didih 767°C. Dalam bentuk logam berwarna putih keperakan, mengkilat dan *ductile*. Kadmium relatif lunak sehingga dapat dipadukan sebagai amalgam, misalnya dengan Zn (Stoepler, 1992).

Logam kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Hanya ada satu jenis mineral Cd di alam yaitu *greenockite* (CdS) yang selalu ditemukan bersamaan dengan mineral *sphalerite* (ZnS). Mineral *greenockite* ini

sangat jarang ditemukan di alam sehingga dalam eksplorasi logam Cd biasanya merupakan produk sampingan dari peristiwa peleburan dan *refining* bijih-bijih Zn (Palar, 1994).

Ada beberapa metode yang sangat sensitif untuk analisa kadmium. Konsentrasi unsur ini dalam lingkungan, khususnya di sampel air laut dan salju, biasanya berkisar pada level ng/L atau ng/kg, sehingga analisis langsung yang dapat dilakukan adalah dengan metode elektroanalitik dan untuk metode-metode lain harus dilakukan prekonsentrasi. Untuk analisis beberapa unsur termasuk kadmium dalam air laut dengan spektroskopi serapan atom dengan pembakaran grafit, *Graphite Furnance Atomic Adsorption Spektrometri*, digunakan prosedur ekstraksi pelarut ditiokarbamat dan pelarut-pelarut kuat (kloroform, Freon, CCl_4) yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1970-an. Pendekatan ini telah dan masih digunakan dan memberikan hasil yang baik pada analisa kimia larutan untuk penentuan dibawah level ng/L dengan menggunakan metode pembakaran grafit. Tetapi pada saat ini analisis kadmium umumnya dilakukan dengan metode ICP-MS yang diaplikasikan dalam *flow-system* (Stoeppler, 1992).

2.1.5 Merkuri (Hg)

Logam merkuri sangat keras (berat jenis 13,5 g/mL), pada temperatur kamar berwujud cair dengan warna putih-keperakan. Logam ini mempunyai tekanan uap yang tinggi (14 mg/m^3 pada temperatur 20°C dan 72 mg/m^3 pada temperatur 100°C) (Stoppler, 1992).

Keberadaan Hg di alam dapat berupa merkuro (+1) dan merkuri (+2). Logam ini dapat membentuk ikatan kovalen seperti, senyawa organo merkuri (metilmerkuri dan dimetilmerkuri) yang di alam terbentuk dari senyawa merkuri anorganik melalui proses biologis (Stoeppler, 1992). Ion Hg^{2+} membentuk banyak kompleks kuat. Kekhasan bilangan koordinasi dan tatanan stereokimianya adalah koordinasi dua, *linear*, dan koordinasi empat, *tetrahedral*. Koordinasi oktahedral kurang umum; beberapa kompleks koordinasi 3 dan 5 juga dikenal (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Analisis merkuri dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti *cold vapour atomic absorption spectrophotometry* (CVAAS), *radiochemical neutron activation analysis* (RNAA), *atomic fluorescence spectrophotometry* (AFS) atau *plasma induced atomic emission spectrophotometry* (EAS). Namun metode CVAAS merupakan metode yang paling sering digunakan. Pada penentuan merkuri, senyawa-senyawa merkuri harus dikonversikan menjadi ion-ion merkuri. Pada metode CVAAS, senyawa merkuri telah diubah menjadi bentuk ion-ion merkuri dalam bentuk gas oleh reduksi SnCl_2 . Kemudian uap yang mengandung ion merkuri tersebut dialirkan melewati AAS dengan bantuan aliran nitrogen. Kemudian serapan atom ditentukan pada panjang gelombang 253,7 nm. Dengan mengoptimalkan aliran gas nitrogen, volume sel reduksi dan sel absorpsi, dapat meningkatkan batas deteksi sampai 0.25 ng. Namun teknik ini mudah dipengaruhi oleh senyawa-senyawa pengganggu, seperti uap air, ion-ion halogen, khususnya iodida, asam-asam amino, logam mulia, Se dan Te, dimana senyawa-senyawa pengganggu ini memperkecil sinyal absorpsi melalui reaksi dengan merkuri atau memperkuat sinyal dengan mempengaruhi serapan (Stoepler, 1992).

2.1.6 Nikel (Ni)

Nikel tersebar luas di alam dan merupakan unsur ke-24 yang paling berlimpah di lapisan bumi. Berat atomnya adalah 58,71; nomor atom 28; berat jenis $8,9 \text{ g/cm}^3$; titik leleh 1453°C ; dan titik didihnya 2732°C . Dalam bentuk logam berwarna putih keperakan dan mudah ditempa. Bentuk keadaan teroksidasinya adalah +1, +2 dan +3. Senyawa utama dari nikel adalah nikel oksida, nikel hidroksida, nikel sulfat, nikel klorida, dan nikel karbonil $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ yang bersifat tidak berwarna, cairan yang mudah menguap dengan titik didih 43°C (Stoepler, 1992).

Nikel (II) membentuk sejumlah kompleks dengan bilangan koordinasi 6, 5 dan 4 yang memiliki semua jenis struktur yang utama, yaitu oktahedral, trigonal bipiramidal, piramidal bujur sangkar, tetrahedral dan bujursangkar (Cotton dan Wilkonson, 1989).

Analisis nikel secara AAS dilakukan pada temperatur atomisasi sebesar 2300°C. Kandungan nikel dianalisis pada panjang gelombang 323.0 nm. Selain itu, juga terdapat pita resonansi lainnya yang sensitifitasnya lebih rendah yang dapat digunakan untuk proses analisis selanjutnya (Stoeppler, 1992)

2.1.7 Kobalt (Co)

Kobalt termasuk jarang dan merupakan unsur ke-32 yang paling berlimpah di kerak bumi. Berat atomnya 58,9; nomor atom 27; berat jenis 8,9 g/cm⁻³; titik leleh 1495°C dan titik didihnya 2870°C. Dalam bentuk logam berwarna kelabu kebiru-biruan, mengkilat, keras, *ductile* dan bersifat magnetik. Keadaan teroksidasinya adalah +2 dan +3 (Stoeppler, 1992).

Kobalt utamanya berada dengan bijih arsenit dan sulfida (misal: *cobaltite*, CoAsS, yang terdiri dari ion-ion Co²⁺, As₂²⁺, dan S₂²⁻), tetapi logam dan senyawa-senyawanya utamanya diproduksi dari produk sampingan dari ekstraksi logam-logam lain, utamanya nikel (Sharpe, 1992). Kobalt merupakan pembentuk vitamin B12 yang sangat bermanfaat bagi mamalia, khususnya manusia. Sebaliknya, produksi kobalt dalam bidang industri pertambangan menyebabkan logam ini menjadi sumber bahaya yang sangat potensial bagi para pekerjanya (Stoeppler, 1992).

Analisis kobalt pada umumnya dilakukan dengan metode AAS secara *flame* dan *furnance*. Dengan metode ini kobalt diukur pada panjang gelombang 240.7 nm dan 242.5 nm. Panjang gelombang pita resonansi yang kedua memiliki sensitifitas 20% lebih rendah dari panjang gelombang pita resonansi yang pertama (Stoeppler, 1992).

2.1.8 Seng (Zn)

Zn merupakan unsur logam dengan nomor atom 30 dan massa isotop-isotopnya yang stabil adalah 66, 67, 68 dan 70, dengan massa rata-rata 65,38 a.m.u. Ion Zn(II) mempunyai konfigurasi elektron 1s², 2s², 2p⁶, 3s², 3p⁶, 3d¹⁰ (Robson, 1993).

Jumlah rata-rata Zn di litosfer diperkirakan sebesar 80 mg/kg. Sumber utama dari Zn adalah mineral *sphareelite*, (ZnFe)S, dan *wurtzite*. Zn sedikit berada dalam bentuk mineral-mineral seperti ZnCO₃ (Smithsonites), Zn₂SiO₄ (Willemite), ZnO (Zincite), ZnSO₄ (Sinkosite), ZnFe₂O₄ (Franklinite) dan Zn₃(PO₄)₂·4H₂O (hopeite) (Alloway, 1995).

Spektrofotometri serapan atom (AAS) merupakan teknik yang paling banyak digunakan untuk menganalisa seng. Batas deteksi dengan pembakaran udara-asetilen sekitar 0,005 µg mL⁻¹ dibawah kondisi ideal dan range kerja optimalnya pada panjang gelombang 213,9 nm adalah 0,05 µg mL⁻¹ sampai 2 µg mL⁻¹. Batas deteksi dengan pembakaran grafit, *graphite furnace*, sedikit lebih rendah. AAS dengan pembakaran grafit memiliki keuntungan yaitu sampel yang dibutuhkan untuk analisis hanya beberapa mikroliter (Robson, 1993).

Metode-metode spektrofotometri untuk penentuan seng dalam tanah dan tumbuhan memiliki kekurangan dalam hal sensitifitas dan selektifannya dibandingkan dengan teknik-teknik instrumental lainnya. Metode ditizon (difeniltiokarbamat) telah banyak digunakan selama beberapa dekade. Pada metode ini, seng dan beberapa unsur lainnya yang berada dalam jumlah yang sangat kecil diekstraksi dari larutan yang bersifat basa dengan ditizon yang dilarutkan dalam pelarut organik. Seng diekstraksi kembali kedalam larutan asam untuk memisahkannya dari tembaga. Pemisahan seng dari timbal dan kadmium dilakukan dengan penambahan ditizon dan dietilditiokarbamat, yang akan membentuk kompleks yang stabil dengan timbal dan kadmium tetapi tidak mempengaruhi ekstraksi seng dengan ditizon dalam pelarut organik. Kompleks seng-ditizon berwarna merah-keunguan, dengan batas deteksi sebesar 1 µg/mL (Robson, 1993).

2.1.9 Tembaga (Cu)

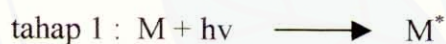
Logam Cu berwarna kemerahan, merupakan konduktor panas dan listrik yang baik juga sangat tahan terhadap korosi, sehingga logam ini banyak digunakan sebagai konduktor listrik dan pipa air. Logam ini juga digunakan sebagai beberapa macam campuran dengan logam lain (alloy) yang mempunyai

sifat lebih baik daripada logam tembaga sendiri, seperti *brass* (dengan Zn), perunggu (dengan Sn) dan *coinage metal* (dengan nikel). Cu(II) sulfat digunakan secara ekstensif sebagai fungisida. Cu dalam jumlah yang sangat sedikit berada dalam beberapa jenis enzim untuk melakukan reaksi redoks dalam sistem biokimia. Senyawa-senyawa Cu juga sebagai katalis untuk reaksi-reaksi anorganik dalam industri dan laboratorium (Sharpe, 1992).

Logam berat Cu (II) di dalam air, jarang sekali berbentuk atom sendiri, tetapi biasanya terikat oleh senyawa lain sehingga berbentuk molekul. Ikatan itu dapat berupa garam organik, seperti senyawa metil, etil, fenil maupun garam anorganik berupa oksida, klorida dan sulfida (Darmono, 1995). Biasanya pada salinitas 35 g/L air laut mengandung Cu sebanyak 0,5-6,0 nmol/kg (Alloway, 1995).

2.2 Teknik Analisis Spektrofotometri

Penyerapan sinar tampak atau ultraviolet oleh suatu molekul dapat menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari molekul tersebut dari tingkat dasar (ground stated) ke tingkat energi yang lebih tinggi (excited stated). Proses ini melalui dua tahap:



Penyerapan sinar ultraviolet atau sinar tampak oleh suatu molekul umumnya menghasilkan eksitasi elektron bonding, akibatnya panjang gelombang absorpsi maksimum dapat dikorelasikan dengan jenis ikatan yang ada di dalam molekul yang sedang diselidiki dan dalam analisa kuantitatif metode spektroskopi serapan ultraviolet dan sinar tampak dapat digunakan untuk penentuan senyawa-senyawa yang mengandung gugus pengabsorpsi (Hendayana, dkk; 1994).

Tahap pertama dari beberapa teknik analisa fotometri dan spektrofotometri adalah mempersiapkan kondisi-kondisi yang menghasilkan hubungan timbal balik antara serapan dan konsentrasi analit. Kondisi-kondisi ini menurut Skoog, et al., (1991) adalah:

- 1) penentuan panjang gelombang. Untuk memperoleh sensitifitas maksimum, penentuan secara spektrofotometri umumnya dibentuk melalui hubungan antara panjang gelombang dengan puncak serapan karena perubahan serapan per unit konsentrasi pada titik ini sangat besar,
- 2) menentukan variabel-variabel yang mempengaruhi serapan. Variabel-variabel umum yang mempengaruhi spektra serapan adalah sifat dari pelarut, pH larutan, temperatur, konsentrasi elektrolit yang tinggi, dan keberadaan zat-zat pengganggu. Pengaruh dari variabel-variabel ini harus diketahui dan kondisi analisis harus ditentukan sehingga serapan tidak akan dipengaruhi oleh variabel-variabel tersebut yang tidak terkontrol,
- 3) perlakuan terhadap sel/kuvet. Tempat diletakkannya sampel biasa disebut sebagai sel atau kuvet. Pada umumnya, sel/kuvet yang sering digunakan dalam pengukuran secara ultraviolet/sinar tampak adalah 1 cm; disesuaikan ukurannya satu sama lain, kalibrasi ukuran sel tergantung pada beberapa sumber. Sel/kuvet seharusnya tidak dikeringkan melalui pemanasan yang berulang-ulang karena dapat menyebabkan kerusakan pada fisik atau perubahan pada ukuran panjangnya,
- 4) menentukan hubungan antara serapan dengan konsentrasi. Standard kalibrasi untuk analisis fotometri atau spektrofotometri sedapat mungkin harus mengandung semua komposisi dari sampel, dan harus mencakup range konsentrasi analit.

2.3 Hukum Dasar Spektroskopi Absorpsi

Hukum Lambert-Beer mengemukakan tentang serapan materi terhadap sinar atau tenaga radiasi secara kuantitatif. Ketika suatu berkas sinar monokromatis dilewatkan pada suatu objek maka akan terjadi refleksi, absorpsi atau transmisi oleh objek. Jika sebagian dari radiasi tersebut diabsorpsi, ditransmisikan atau direfleksikan oleh objek, maka cahaya akan nampak sebagai warna komplementer pada panjang gelombang tertentu (Khopkar, 1985).

Tabel 1. Hubungan antara panjang gelombang, warna, dan warna komplementer dalam daerah tampak (visible) (Weiss, 1993)

Panjang gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
380 – 435	Ungu	Kuning – hijau
435 – 480	Biru	Kuning
480 – 490	Hijau – biru	Orange
490 – 500	Biru – hijau	Merah
500 – 560	Hijau	Purple
560 – 580	Kuning – hijau	Ungu
580 – 595	Kuning	Biru
595 – 650	Orange	Hijau – biru
610 – 750	Merah	Biru – hijau

Ketika sinar dengan intensitas I_0 mengenai sel/kuvet yang berisi larutan analit, beberapa bagian dari sinar tersebut akan dihamburkan, atau dipantulkan kembali oleh dinding sel/kuvet dan oleh partikel-partikel yang ada dalam larutan, I_s ; beberapa bagian lagi akan diserap, I_a ; dan sisanya diteruskan melewati larutan, I_t . Distribusi sinar yang melewati suatu sel/kuvet yang berisi larutan analit dengan ketebalan b adalah

$$I_0 = I_s + I_a + I_t \quad (2.1)$$

(Weiss, 1993).

Pada umumnya, I_s sangat kecil dan dalam eksperimen dapat dijaga konstan dengan menggunakan sel/kuvet dengan karakteristik yang sama dan dengan selalu menempatkan sel/kuvet dalam instrument pada tempat yang sama. Sehingga, $I_0 - I_s$ sama dengan I_0 . Sinar yang diserap, I_a , sebanding dengan konsentrasi spesi/zat pengabsorpsi yang ada dalam larutan analit. Sehingga, dengan mengukur I_0 dan I_t , nilai dari I_a dapat dihitung, dan konsentrasi dari spesi/zat pengabsorpsi dalam analit dapat diketahui. I_a tidak dapat ditentukan secara langsung tetapi dapat dihitung dari hubungan antara I_t dan I_0 yang disebut dengan persen transmittan, $\%T$, yang besarnya $I_t/I_0 \times 100\%$. Absorbansi, A , didefinisikan sebagai $\log I_0/I_t$, dimana persamaan ini sebanding dengan

konsentrasi, c , dari spesi/zat pengabsorpsi yang ada dalam larutan analit. Beer dan Lambert merumuskan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi secara matematik, yang kemudian dikenal sebagai Hukum Lambert-Beer. Hubungan tersebut biasanya ditulis sebagai

$$A = abc \quad (2.2)$$

dimana a dan b bernilai konstan. Konstanta a dikenal sebagai absorptivitas molar dan b adalah ketebalan dari sel/kuvet yang dilewati oleh sinar. Selama sel/kuvet yang digunakan mempunyai ketebalan yang konstan, absorbansi, A , sebanding dengan konsentrasi spesi/zat pengabsorpsi dalam larutan analit (Weiss, 1993).

2.4 Keuntungan-Keuntungan Teknik Spektrofotometri

Spektroskopi serapan berdasarkan pada radiasi ultraviolet dan sinar tampak merupakan salah satu cara yang paling banyak digunakan dalam analisis kuantitatif. Keuntungan-keuntungan dari metode spektrofotometri dan fotometri menurut Skoog, et al., (1991) adalah:

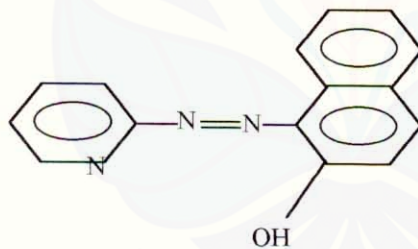
- 1) sensitifitasnya tinggi. Batas deteksi dari spektroskopi serapan sekitar 10^{-4} sampai 10^{-5} M. Range ini dapat juga mencapai 10^{-6} atau 10^{-7} M dengan melalui modifikasi prosedural,
- 2) selektifitasnya tinggi. Apabila panjang gelombang dimana satu jenis analit dapat diabsorpsi, maka tidak perlu dilakukan pemisahan terlebih dahulu. Namun, apabila muncul *overlapping* pita serapan, maka analisis dilakukan kembali pada panjang gelombang yang berbeda setelah dilakukan tahap pemisahan,
- 3) mempunyai akurasi yang baik. Kesalahan relatif dari konsentrasi dapat ditemukan dengan metode spektrofotometri ultraviolet/sinar tampak atau prosedur fotometri pada kisaran 1% sampai 5%. Beberapa kesalahan dapat dikurangi sampai beberapa persen dengan tindakan pencegahan yang khusus,
- 4) penggunaannya mudah. Peralatan spektrofotometri dan fotometri penggunaannya sangat mudah dan pada saat ini telah dilengkapi dengan peralatan yang modern,

5) digunakan secara luas. Banyak spesi anorganik, organik, dan biokimia menyerap radiasi sinar tampak dan ultraviolet, sehingga kuantitasnya dapat ditentukan secara langsung. Beberapa spesi yang tidak dapat mengadsorpsi dapat juga ditentukan setelah diubah menjadi spesi-spesi pengadsorpsi. Telah dipastikan bahwa lebih dari 90% proses analisis dalam laboratorium kesehatan menggunakan metode spektroskopi yang berdasarkan serapan sinar tampak dan ultraviolet.

2.5 Reagen 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphtol (PAN)

1-(2-Pyridylazo)-2-naphtol (PAN) pertama kali direkomendasikan oleh Cheng sebagai indikator dalam titrasi kompleksometri larutan tembaga, seng, kadmium, dan indium dengan (ethylendinitrolo)tetraacetic acid (EDTA). Cheng dan Bray memperkirakan PAN berguna sebagai agen pembentukan senyawa berwarna untuk penentuan beberapa jenis logam secara spektrofotometri (Pease dan Williams, 1959).

Struktur kimia dari PAN dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.

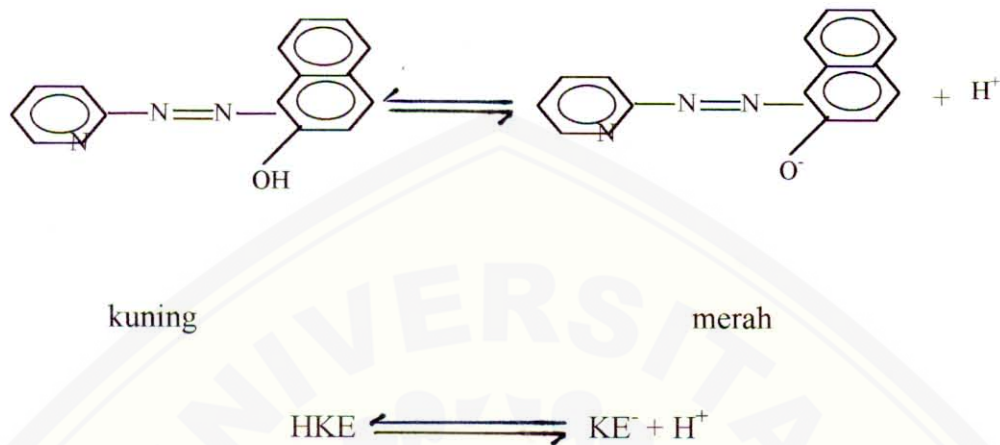


Gambar 1. Struktur 1-(2-Pyridylazo)-2-naphtol (PAN)

(Maiczenko, 1986).

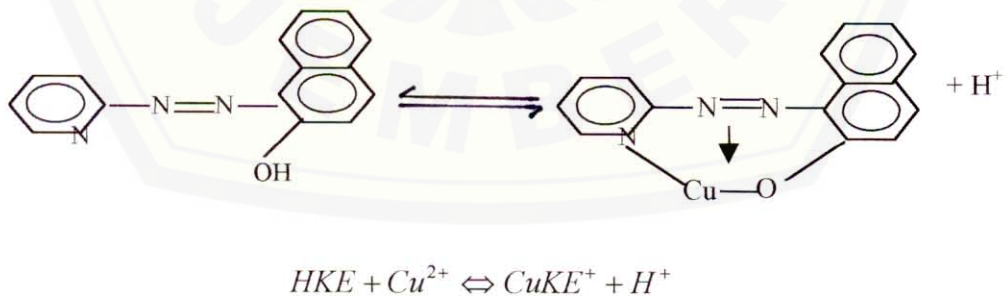
PAN dilaporkan sebagai bahan yang bersifat amorf dengan warna oranye kemerahan, sedikit tidak larut dalam air tetapi larut dalam beberapa pelarut organik. Zat ini merupakan indikator asam basa, berwarna kuning dalam larutan yang bersifat netral dan berwarna merah dalam suasana asam. Perubahan yang tajam dari warna kuning menjadi kuning kehijauan diamati ketika pH larutan berubah dari 2,0 menjadi 1,8 (Pease dan Williams, 1959).

Pease dan Williams (1959) memisahkan bentuk netral dari PAN sebagai HKE, dan KE^- setelah terdisosiasi yang diikuti oleh perubahan warna kuning menjadi merah.



Gambar 2. Reaksi perubahan bentuk netral PAN

Pease dan Williams (1959) melakukan analisis ion $Cu(II)$ secara spektrofotometri dengan reagen PAN dalam pelarut dioksan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada penambahan larutan PAN dalam pelarut dioksan 20% kedalam larutan yang mengandung ion $Cu(II)$ terjadi perubahan warna PAN yang semula berwarna kuning muda menjadi merah tua karena terbentuk kelat PAN- $Cu(II)$. Warna ini tampak ungu pada larutan yang sangat encer. Reaksi yang terjadi dapat diperkirakan sebagai berikut:



Gambar 3. Reaksi antara ion Cu^{2+} dengan PAN

Kompleks dari PAN dengan logam berat terjadi karena atom logam terikat pada atom oksigen dari gugus $-OH$, atom N dari gugus piridin dan atom N

dari gugus azo. Sebagian besar dari kompleks PAN berwarna merah dengan panjang gelombang maksimum antara 540 nm sampai 580 nm. Sedangkan PAN sendiri mempunyai panjang gelombang maksimum 470 nm dan sedikit mengabsorpsi pada panjang gelombang 560 nm (Kuswandi, dkk., 2001).

2.6 Teknik Imobilisasi Reagen

Imobilisasi adalah suatu cara menempatkan suatu bioaktif molekul atau reagen pada suatu bahan tetapi zat yang diimobilisasikan tersebut tidak kehilangan kemampuan atau aktivitasnya. Ada lima teknik imobilisasi yang telah dikembangkan, yaitu adsorpsi, mikroencapsulasi, entrapment, crosslinking, dan ikatan kovalen (Eggins, 1996).

2.6.1 Adsorpsi

2.6.1.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi berasal dari bahasa Latin, *sorber*, yang artinya proses pengambilan gas, uap atau cairan (absorbat) oleh suatu permukaan (adsorbent) (Othmer, 1963). Teknik ini sangat sederhana dengan persiapan yang sederhana. Namun bioaktif terimobilisasi mungkin terikat sangat lemah dengan matriksnya. Banyak sekali senyawa yang dapat menyerap enzim seperti alumina, arang atau karbon, tanah liat, selulosa, kaolin, silica gel, glass, dan kolagen. Proses adsorpsi tidak memerlukan reagen tambahan hanya cukup memberikan larutan yang akan diimobilisasikan kedalam matriks yang diinginkan, tanpa proses pencucian

Adsorpsi adalah penarikan dan pelekatan molekul suatu benda ke permukaan benda lain tanpa terjadi perubahan kimiawi. Atom atau molekul zat tersebut terkonsentrasikan pada bidang pemisah. Dapat dibedakan lima macam bidang pemisah yaitu: gas-padat, cair-padat, gas-cair, cair-cair dan padat-padat. Semua proses adsorpsi disertai penurunan energi bebas Gibbs dan entropi, sehingga proses tersebut bersifat eksotermis (Othmer, 1963).

2.6.1.2 Jenis Adsorpsi

Proses adsorpsi secara umum dapat dibagi menjadi dua kelas yaitu adsorpsi secara fisika (physical adsorption: physisorption) dan kimia (chemical adsorption: chemisorption). Dalam *physisorption* terjadi ikatan yang sangat lemah melalui gaya Van Der Waals, dapat pula berupa ikatan hidrogen dan gaya elektrostatis antara reagen dengan matriks polimer. *Chemisorption* memiliki ikatan yang lebih kuat, umumnya reagen dengan matriks polimer terikat secara ikatan kovalen (Eggins, 1996).

Energi yang dibutuhkan adsorpsi secara fisika kurang lebih 15-20 kcal/mol (63-84 kJ/mol), sedangkan untuk adsorpsi secara kimia dibutuhkan energi kurang lebih 20-30 kcal/mol (84-126 kJ/mol) (Parker, 1989). Untuk adsorpsi fisika merupakan suatu proses reversibel dan pada adsorpsi kimia terbentuk persenyawaan pada permukaan, namun hanya setebal satu molekul, sedang pada adsorpsi fisika tebalnya dapat beberapa molekul (Handoko, 1996).

2.6.2 Mikroenkapsulasi

Dengan metode ini, bioaktif material terperangkap kedalam membran inert yang selanjutnya dilekatkan pada *transducer*. Membran dapat melindungi bioaktif molekul sehingga teknik ini menghasilkan performa biosensor yang cukup baik, tahan terhadap pH, temperatur, tegangan ionik, dan secara tidak langsung membran sendiri memiliki pori-pori dengan ukuran yang relatif kecil sehingga hanya dapat dilewati oleh molekul yang berukuran kecil, seperti gas, dan ion. Teknik ini telah dipergunakan pertama kali untuk mendisain *glucose biosensor*, dimana membran melapisi permukaan elektroda oksigen (Eggins, 1996).

Beberapa keuntungan dari teknik imobilisasi ini menurut Eggins (1996) adalah:

- 1) bioaktif molekul yang terperangkap dalam membran berada dalam keadaan terkontak langsung dengan *transducer*-nya,
- 2) sangat mudah dipreparasi,

- 3) sangat reliabel, mudah perawatannya, stabil, dan tidak mudah terdegradasi,
- 4) sangat mudah dikembangkan.

2.6.3 Penjeraban (*Entrapment*)

Dalam teknik ini bioaktif molekul diperangkap di dalam sela-sela membran, sehingga proses preparasi membutuhkan teknik yang sangat spesifik. Beberapa teknik ini telah dikembangkan, yaitu dengan mencampurkan bioaktif material dengan monomer selanjutnya dipolimerisasi. Membran yang paling umum dipergunakan dalam teknik ini adalah bentuk gel poliakrilamid, *starch gel*, nilon, dan *silastic gel* (Eggins, 1996).

Beberapa kelemahan teknik ini adalah substrat sulit berdifusi ke dalam membran untuk bereaksi dengan bioaktif material sehingga *respon time* dan *recovery* sensor cukup panjang. Dalam proses polimerisasi sangat mungkin bioaktif material rusak atau terdegradasi sehingga kehilangan aktivitasnya (Eggins, 1996).

2.6.4 Ikatan Silang (*Cross Linking*)

Dalam metode ini reagen diikat secara kimia dengan membran atau bahan pendukung padat lainnya. Senyawa dengan dua gugus fungsi (*bifunctional reagent*) dapat mengikat reagen dan membran atau bahan pendukung lainnya. Kekurangan dari teknik *cross linking* adalah menyebabkan kerusakan pada kespesifikan reagen dan hasil *cross linking* merupakan senyawa yang sangat *rigid* (Eggins, 1996).

III. METODOLOGI



3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 4 bulan, mulai bulan Mei 2001 sampai dengan Agustus 2001.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer UV/Vis Genesis, kuvet, pipet tetes, beaker glass 50 mL dan 100 mL, labu ukur 10 mL dan 100 mL, pipet volume 5 mL, 10 mL, dan 25 mL, dan ball pipet.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah logam berat yang terdiri dari larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HgSO_4 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi masing-masing 100 ppm; reagen *1-(2-pyridylazo)-2-naphthol* (PAN); dan larutan buffer dengan pH 4 – 9. Sedangkan matriks polimer yang digunakan untuk mengimobilisasi reagen adalah Nafion.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Larutan Logam Berat Standart

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HgSO_4 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ digunakan untuk membuat larutan induk yang mengandung ion-ion Cu^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} dan Pb^{2+} . Masing-masing

III. METODOLOGI



3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 4 bulan, mulai bulan Mei 2001 sampai dengan Agustus 2001.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer UV/Vis Genesis, kuvet, pipet tetes, beaker glass 50 mL dan 100 mL, labu ukur 10 mL dan 100 mL, pipet volume 5 mL, 10 mL, dan 25 mL, dan ball pipet.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah logam berat yang terdiri dari larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HgSO_4 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi masing-masing 100 ppm; reagen *1-(2-pyridylazo)-2-naphthol* (PAN); dan larutan buffer dengan pH 4 – 9. Sedangkan matriks polimer yang digunakan untuk mengimobilisasi reagen adalah Nafion.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Larutan Logam Berat Standart

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HgSO_4 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ digunakan untuk membuat larutan induk yang mengandung ion-ion Cu^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} dan Pb^{2+} . Masing-masing

sebanyak 38.4 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 14.8 mg HgSO_4 , 49.4 mg $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 44.8 mg $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 44.0 mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 94.1 mg $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, dan 16.0 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang dengan tepat untuk mendapatkan larutan dengan konsentrasi 100 ppm dan kemudian dilarutkan dengan aquades sampai volume 100 mL.

3.3.2 Preparasi Reagen PAN

Larutan reagen PAN dengan konsentrasi 0.1% (w/v) dibuat dengan melarutkan 0.1 gram PAN dengan metanol 50% sampai volume 100 mL.

3.3.3 Preparasi Buffer

Buffer pH 4. Larutan buffer pH 4 dibuat dengan mencampurkan 9 mL CH_3COONa 0.2 M dengan 41 mL CH_3COOH 0.2 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

Buffer pH 5. Larutan buffer pH 5 dibuat dengan mencampurkan 22.6 mL NaOH 0.1 M dengan 50 mL KH-phthalat 0.1 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

Buffer pH 6. Larutan buffer pH 6 dibuat dengan mencampurkan 25.6 mL NaOH 0.1 M dengan 50 mL KH_2PO_4 0.1 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

Buffer pH 7. Larutan buffer pH 7 dibuat dengan mencampurkan 29.1 mL NaOH 0.1 M dengan 50 mL KH_2PO_4 0.1 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

Buffer pH 8. Larutan buffer pH 8 dibuat dengan mencampurkan 46.1 mL NaOH 0.1 M dengan 50 mL KH_2PO_4 0.1 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

Buffer pH 9. Larutan buffer pH 9 dibuat dengan mencampurkan 50 mL Asam borax 0.1 M dengan 20.8 mL NaOH 0.1 M kemudian diencerkan sampai volume 100 mL

(Perrin, D.D dan Boyd Demsey, 1974)

3.3.4 Preparasi Blanko

Larutan blanko untuk pembacaan serapan dibuat dari campuran larutan reagen PAN dan buffer pH.

3.3.5 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Ion Logam dengan Reagen Larutan

Serapan maksimum dari tiap-tiap larutan logam berat standart dilakukan dengan mengukur serapan dari campuran yang terdiri dari larutan logam berat standart, reagen PAN, dan buffer pH pada panjang gelombang 400 nm – 700 nm dengan interval 3 nm.

3.3.6 Studi Pengaruh pH terhadap Stabilitas Kompleks dengan Reagen Larutan

Pengaruh perubahan pH terhadap kestabilan kompleks logam-PAN dilakukan dengan mengukur serapan dari campuran logam berat standart-PAN-buffer pH dengan variasi pH antara 4 sampai 9. Sebelum dilakukan pengukuran serapan, campuran ini didiamkan selama ± 15 menit.

3.3.7 Prosedur Imobilisasi

Imobilisasi reagen PAN pada bahan polimer pendukung Nafion dilakukan secara entrapment. 0,01 gram reagen PAN ditambahkan dalam 5 mL Nafion, kemudian distirer sampai reagen PAN larut. ± 1 mL larutan yang terbentuk diteteskan pada plastik mika dan kemudian diputar dengan alat sentrifugal yang telah dimodifikasi sampai larutan membentuk lapisan tipis dan rata pada permukaan mika.

3.3.8 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Ion Logam dengan Reagen Kering

Dimasukkan mika yang telah dilapisi dengan reagen ke dalam kuvet yang berisi larutan logam berat. Didiamkan 15 – 30 menit sampai kompleks yang

terbentuk stabil. Kemudian panjang gelombang ion logam berat diukur pada panjang gelombang 400 nm – 700 nm dengan interval 3 nm.

3.3.9 Studi Pengaruh pH terhadap Stabilitas Kompleks dengan Reagen Kering

Dimasukkan mika yang telah dilapisi dengan reagen ke dalam kuvet yang telah berisi larutan logam berat dengan variasi pH antara 4 sampai 9. Didiamkan 15 – 30 menit kemudian serapannya diukur pada panjang gelombang maksimum masing-masing logam berat.

3.3.10 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan memplotkan variasi konsentrasi dan serapan pada panjang gelombang maksimum dari tiap-tiap larutan logam berat standart.

3.4 Metode Analisis

3.4.1 Penentuan Sensitivitas

Sensitivitas reagen PAN dalam bentuk reagen larutan dan reagen kering ditentukan dengan persamaan 3.1.

$$S = \frac{0.0044}{m} \quad (3.1)$$

dimana:

m = kemiringan kurva kalibrasi

(Hartati, dkk. 1999).

3.4.2 Penentuan Batas Deteksi

Batas deteksi pengukuran reagen PAN terhadap ion logam berat ditentukan dengan persamaan 3.2.

$$LOD = \bar{A}_{blanko} + (3S_{blanko}) \quad (3.2)$$

dimana:

LOD = *Limit of Detection* (batas deteksi)

\bar{A} = Absorbansi rata-rata

S = Simpangan baku

(Miller dan Miller, 1991).

3.4.3 Penentuan Koefisien Variasi

Koefisien variasi dari ion logam ditentukan dengan persamaan 3.3 di bawah ini.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (3.3)$$

dimana:

v = koefisien variasi (%)

s = simpangan baku

\bar{x} = rata-rata

(Day dan Underwood, 1999).

3.4.4 Membandingkan Dua Cara Analisis dengan Uji-t

Untuk membandingkan dua cara analisis yang berbeda digunakan garis regresi, sesuai dengan persamaan berikut.

$$S_{y/x} = \left[\sum_i \frac{(y_i - \bar{y}_i)^2}{n-2} \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$S_a = S_{y/x} \left[\frac{\sum_i x_i^2}{n \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

$$S_b = \frac{S_{y/x}}{\left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}} \quad (3.6)$$

(Miller dan Miller, 1991).

3.4.5 Analisis Batas Deteksi Menggunakan Uji-t Berpasangan

Untuk membandingkan nilai koefisien variasi antara reagen larutan dan reagen kering digunakan persamaan-persamaan berikut.

$$t = \frac{\bar{x}_d \sqrt{n}}{s_d} \quad (3.7)$$

dimana:

\bar{x}_d = rata-rata selisih

s_d = selisih simpangan baku

n = jumlah pengulangan

(Miller dan Miller, 1991).

Nilai t yang diperoleh dari hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai t tabel. Jika nilai t hitung lebih kecil dari nilai t tabel, maka kedua metode tidak mempunyai perbedaan sistem.

3.4.6 Analisis Reprodusibilitas Menggunakan Simpangan Baku Gabungan

Untuk menganalisa reprodusibilitas pengukuran menggunakan metode reagen larutan dan reagen kering mempunyai perbedaan sistem atau tidak, digunakan taksiran-gabungan (*pooled estimate*) untuk simpangan baku dengan menggunakan persamaan:

$$S^2 = \frac{\{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2\}}{(n_1 + n_2 - 2)} \quad (3.8)$$

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \quad (3.9)$$

Nilai t hitungan dibandingkan dengan nilai t tabel pada batas kepercayaan 95% ($P=0.05$) dan derajat kebebasan ($n_1 + n_2 - 2$).

(Miller dan Miller, 1991).



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan:

- 1) Kompleks reagen PAN dalam bentuk reagen larutan dengan ion Cu(II), Co(II), Hg(II), Pb(II), Zn(II), Ni(II) dan Cd(II), berturut-turut, memberikan serapan maksimum pada panjang gelombang 553 nm, 499 nm, 592 nm, 493 nm, 493 nm, 595 nm, dan 493 nm. Sedangkan dalam bentuk reagen kering memberikan serapan maksimum pada panjang gelombang 463 nm, 583 nm, 577 nm, 451 nm, 568 nm, 580 nm, dan 598 nm.
- 2) Kesensitifan reagen PAN dalam bentuk reagen larutan terhadap ion logam Hg(II), Ni(II), Co(II) dan Cu(II) mempunyai urutan Cu(II)>Ni(II)>Hg(II)>Co(II) dengan nilai sensitifitas berturut-turut sebesar 0.0315, 0.0205, 0.160, dan 0.0179. Kesensitifan reagen PAN dalam bentuk reagen kering sensitif terhadap ion Co(II), Cd(II), Pb(II), Hg(II) dan Zn(II) mempunyai urutan Hg(II)>Zn(II)>Co(II)>Pb(II)>Cd(II) dengan nilai sensitifitas berturut-turut sebesar 0.344, 1.42, 0.512, 0.223, dan 0.243.
- 3) Batas deteksi penggunaan PAN sebagai reagen larutan terhadap pengukuran ion Hg(II) dan Co(II) lebih kecil daripada menggunakan reagen kering. Batas deteksi yang dapat dicapai oleh ion Hg(II) dan Co(II) dengan menggunakan reagen larutan, berturut-turut sebesar 0.0654 ppm dan 0.0944 ppm. Batas deteksi penggunaan PAN sebagai reagen kering terhadap ion Hg(II) dan Co(II) berturut-turut sebesar 0.093 ppm dan 0.119 ppm.
- 4) Tingkat reproduibilitas pengukuran ion Hg(II) dengan menggunakan reagen larutan lebih kecil daripada menggunakan reagen kering. Nilai reproduibilitas pengukuran ion Hg(II) menggunakan reagen larutan sebesar 1.69% dan dengan reagen kering sebesar 3.70%.
Tingkat reproduibilitas pengukuran ion Co(II) dengan menggunakan reagen larutan lebih besar daripada menggunakan reagen kering. Nilai

reproduksibilitas pengukuran ion Co(II) dengan menggunakan reagen larutan sebesar 2.09% dan menggunakan reagen kering sebesar 1.20%.

- 5) Tingkat keakurasian penggunaan PAN sebagai reagen larutan dan reagen kering untuk pengukuran ion Hg(II) dan Co(II) bernilai 1, artinya kedua metode pengukuran tidak mempunyai perbedaan secara sistematis.

5.2 Saran

- 1) Reagen PAN merupakan reagen spektrofotometrik yang memberikan spektrum warna dengan intensitas yang berlainan untuk setiap logam sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik reagen PAN terhadap ion logam berat lainnya.
- 2) Kestabilan suatu bentuk senyawa kompleks sangat dipengaruhi waktu sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh lama waktu reaksi terhadap sifat reagen PAN terhadap ion logam tertentu.
- 3) Perlu dilakukan penelitian dan pengujian untuk teknik imobilisasi reagen PAN dalam suatu matriks secara otomatisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in soils*, Second Edition, UK: Blackie Academic & Professional
- Alloway, B.J. and P.C. Ayres. 1997. *Chemical Principle of Environmental Pollution*, Second Edition, UK: Blackie Academic & Professional
- Baird, C. 1995. *Analytical Chemistry*, Fifth Edition, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Christian, G.D. 1994. *Analytical Chemistry*, 5thed, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Cotton F.A, Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*, Diterjemahkan oleh Sahati Suharto, Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Darmono. 1995. *Logam dan Sistem Biologi Makhluk Hidup*, Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Day, R.A, Jr., Underwood, A.L. 1999. *Analisis Kimia Kuantitatif*, Edisi Kelima, Diterjemahkan oleh A.H, Pudjaatmaka, Jakarta: Penerbit Erlangga
- Eggins, B. 1996. *Biosensor. An Introduction*, Ney York: John Wiley and Sons Inc.
- Fifield, F.W and P.J Haines. 1997. *Environmental Analytical Chemistry*, London: Blackie Academic & Professional
- Handoko, D.S.P. 1996. *Mempelajari Secara Kuantitatif Sifat Karbon Aktif sebagai Absorben*, Makalah Seminar Hasil Penelitian, Fakultas Pendidikan Fisika, Universitas Jember
- Hartati, dkk. 1999. *Penentuan Tembaga Secara Spektrofotometri sebagai Senyawa Kompleks Asosiasi Ion dengan Metilen Biru Melalui Ekstraksi Pelarut*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya
- Hendayana, dkk. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*, Jakarta: Penerbit Rineka Cipta
- Khopkar, S.M. 1985. *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Diterjemahkan oleh A. Saptoraharjo, Jakarta: UI-Press
- Kuswandi, B. and R. Narayanaswamy, Eurosesors XIII, *Solid-State Reagent Based on Immobilised Thiazolylazo Dyes for Optical toxic Metal Ions Sensing in Flow Systems*, 12-15(1999)5A2, 227-230

- Kuswandi, B., Mintadi, Mukh., Gani, A.A. 2001. *Development of Optical Fibre Chemical Sensors for Monitoring of Heavy Metals in Aqueous Samples*. Six Months Report, departement of Chemistry, University of Jember
- Madden, J.E., Cardwell, T.J., Cattrall, R.W., *Nafion-based Optode for The Detection of Metal Ion in Flow Analysis*, *Analytica Chimica Acta*, 319 (1996), 126-134
- Marczenko, Z.M. 1986. *Separation and Sepctrophotometric Determination of Element*, New York: John Wiley and Sons
- Miller, J.C., Miller, J.N. 1991. *Statistika Untuk Kimia Analitik*, Edisi Kedua, Diterjemahkan oleh drs. Suroso, M.Sc., Bandung: Penerbit ITB Bandung
- O'neill, P. 1993. *Environmental Chemistry*, Second Edition, UK: Chapman & Hall
- Othmer, K. 1963. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd ed, volume 1, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Jakarta: Penerbit Rineka Cipta
- Parker, S.P. 1989. *Consice Encyclopedia of Science and Technology*, 2nd ed, New York: McGraw-Hill
- Pease, B.F., Williams, M.B., *Spectrophotometric Investigation of Analytical Reagen 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol and Ions Copper Chelate*, *Anal. Chem.*, 31, 6 (1959), 1044-1047
- Perrin, D.D, Demsey, Boyd. 1974. *Buffer for pH & Metal Ion Control*, London: Chapman & Hall Ltd.
- Robson, A.D. 1993. *Zinc in Soil and Plants*, London: Kluwer Academic Publishing
- Sharpe, A.G. 1992. *Inorganic Chemistry*, 3thed, England: Longman Group Ltd.
- Skoog, D.A., et al. 1991. *Fundamental of Analytical Chemistry*, Seventh Edition, USA: Saunders Collage Publishing
- Stoeppler, M. 1992. *Hazardous Metals in the Environment*, Vol:12, Amsterdam: Elseiver Science Publisher
- Weiss, G.S., et al. 1993. *Experimental in General Chemistry*, 7thed, New York: Macmillan Publishing Company

Lampiran 1. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum blanko menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.107	0.107	0.108	0.107
409	0.110	0.110	0.111	0.110
418	0.109	0.109	0.110	0.109
427	0.107	0.107	0.107	0.107
436	0.105	0.105	0.106	0.105
445	0.109	0.108	0.108	0.108
454	0.115	0.114	0.116	0.115
463	0.122	0.122	0.121	0.122
472	0.127	0.127	0.127	0.127
484	0.133	0.133	0.134	0.133
487	0.133	0.133	0.133	0.133
490	0.134	0.135	0.135	0.135
493	0.134	0.136	0.135	0.135
496	0.133	0.133	0.132	0.133
499	0.132	0.132	0.131	0.132
502	0.130	0.131	0.131	0.131
514	0.126	0.126	0.125	0.126
523	0.128	0.128	0.128	0.128
532	0.127	0.125	0.128	0.127
541	0.118	0.120	0.116	0.118
550	0.111	0.111	0.112	0.111
559	0.116	0.115	0.114	0.115
568	0.125	0.124	0.125	0.125
577	0.122	0.122	0.123	0.122
586	0.104	0.105	0.102	0.104
595	0.080	0.079	0.082	0.080
604	0.062	0.062	0.063	0.062
613	0.053	0.054	0.053	0.053
622	0.049	0.052	0.051	0.051
631	0.046	0.045	0.045	0.045
640	0.045	0.044	0.044	0.044
649	0.044	0.042	0.042	0.043
658	0.043	0.042	0.043	0.043
667	0.043	0.042	0.044	0.043
676	0.043	0.043	0.044	0.043
685	0.042	0.041	0.041	0.041
694	0.042	0.040	0.041	0.041
700	0.042	0.040	0.041	0.041

Lampiran 2. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Co(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.083	0.081	0.081	0.082
409	0.086	0.085	0.084	0.085
418	0.090	0.091	0.089	0.090
427	0.094	0.094	0.094	0.094
436	0.087	0.087	0.088	0.087
445	0.090	0.090	0.091	0.090
454	0.091	0.092	0.093	0.092
463	0.091	0.090	0.090	0.090
472	0.088	0.087	0.089	0.088
481	0.080	0.082	0.081	0.081
487	0.074	0.075	0.077	0.075
490	0.072	0.072	0.071	0.072
493	0.069	0.068	0.068	0.068
496	0.068	0.068	0.068	0.068
499	0.066	0.067	0.067	0.067
502	0.065	0.064	0.066	0.065
505	0.065	0.064	0.065	0.065
508	0.064	0.062	0.062	0.063
511	0.064	0.063	0.063	0.063
517	0.064	0.065	0.065	0.065
526	0.067	0.068	0.067	0.067
535	0.070	0.071	0.071	0.071
544	0.073	0.073	0.074	0.073
553	0.075	0.075	0.077	0.076
565	0.080	0.082	0.082	0.081
577	0.085	0.085	0.084	0.085
589	0.089	0.087	0.088	0.088
601	0.088	0.087	0.087	0.087
613	0.085	0.083	0.085	0.084
625	0.087	0.085	0.087	0.086
637	0.093	0.092	0.092	0.092
646	0.098	0.096	0.096	0.097
655	0.091	0.093	0.092	0.092
664	0.073	0.072	0.069	0.071
673	0.060	0.061	0.059	0.060
682	0.053	0.054	0.053	0.053
691	0.048	0.048	0.049	0.048
700	0.046	0.046	0.046	0.046

Lampiran 3. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Zn(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.107	0.108	0.107	0.107
412	0.106	0.106	0.105	0.106
424	0.102	0.102	0.102	0.102
436	0.086	0.088	0.085	0.086
448	0.086	0.085	0.082	0.084
457	0.089	0.087	0.085	0.087
466	0.089	0.092	0.091	0.091
475	0.092	0.091	0.091	0.091
484	0.095	0.093	0.094	0.094
487	0.097	0.097	0.096	0.097
490	0.096	0.095	0.096	0.096
493	0.096	0.096	0.096	0.096
496	0.095	0.095	0.095	0.095
499	0.095	0.095	0.094	0.095
502	0.097	0.096	0.097	0.097
511	0.108	0.108	0.109	0.108
520	0.126	0.127	0.126	0.126
529	0.126	0.125	0.126	0.126
538	0.124	0.123	0.124	0.124
547	0.115	0.116	0.113	0.115
553	0.112	0.113	0.112	0.112
562	0.116	0.116	0.115	0.116
571	0.122	0.121	0.121	0.121
580	0.120	0.122	0.121	0.121
589	0.104	0.102	0.105	0.104
598	0.085	0.086	0.086	0.086
607	0.058	0.056	0.054	0.056
616	0.053	0.055	0.054	0.054
625	0.052	0.051	0.051	0.051
643	0.055	0.053	0.054	0.054
652	0.055	0.055	0.056	0.055
664	0.054	0.055	0.054	0.054
676	0.053	0.053	0.052	0.053
688	0.053	0.052	0.052	0.052
700	0.052	0.050	0.052	0.051

Lampiran 4. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Pb(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.132	0.132	0.130	0.131
412	0.135	0.136	0.137	0.136
424	0.132	0.132	0.133	0.132
436	0.122	0.122	0.121	0.122
448	0.122	0.122	0.122	0.122
457	0.119	0.120	0.120	0.120
466	0.112	0.112	0.111	0.112
475	0.102	0.101	0.102	0.102
478	0.102	0.103	0.103	0.103
481	0.099	0.098	0.099	0.099
484	0.098	0.097	0.098	0.098
487	0.095	0.095	0.096	0.095
490	0.092	0.091	0.091	0.091
493	0.091	0.091	0.091	0.091
496	0.096	0.095	0.094	0.095
499	0.095	0.096	0.095	0.095
502	0.097	0.096	0.096	0.096
505	0.099	0.098	0.097	0.098
511	0.117	0.115	0.116	0.116
520	0.121	0.121	0.121	0.121
526	0.123	0.120	0.121	0.121
535	0.117	0.115	0.117	0.116
544	0.111	0.110	0.112	0.111
553	0.107	0.107	0.108	0.107
562	0.114	0.113	0.115	0.114
571	0.122	0.121	0.121	0.121
580	0.124	0.124	0.124	0.124
598	0.096	0.097	0.095	0.096
607	0.078	0.077	0.075	0.077
616	0.068	0.067	0.067	0.067
625	0.063	0.063	0.064	0.063
634	0.059	0.058	0.059	0.059
643	0.058	0.057	0.059	0.058
652	0.056	0.054	0.055	0.055
664	0.056	0.054	0.056	0.055
676	0.054	0.054	0.054	0.054
688	0.054	0.053	0.054	0.054
700	0.054	0.052	0.053	0.053

Lampiran 5. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Hg(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.146	0.148	0.147	0.147
412	0.148	0.146	0.147	0.147
424	0.143	0.145	0.144	0.144
436	0.124	0.125	0.122	0.124
448	0.123	0.122	0.126	0.124
457	0.127	0.128	0.129	0.128
466	0.135	0.135	0.135	0.135
475	0.143	0.143	0.145	0.144
484	0.153	0.154	0.153	0.153
493	0.164	0.165	0.164	0.164
502	0.172	0.175	0.175	0.174
511	0.178	0.179	0.179	0.179
520	0.189	0.186	0.189	0.188
529	0.203	0.201	0.203	0.202
541	0.210	0.210	0.209	0.210
553	0.204	0.202	0.202	0.203
559	0.203	0.203	0.203	0.203
565	0.209	0.208	0.206	0.208
571	0.215	0.212	0.214	0.214
577	0.220	0.219	0.220	0.220
580	0.222	0.220	0.221	0.221
583	0.222	0.221	0.221	0.221
586	0.220	0.223	0.222	0.222
589	0.216	0.218	0.218	0.217
592	0.209	0.210	0.210	0.210
595	0.202	0.205	0.206	0.204
598	0.192	0.195	0.192	0.193
601	0.180	0.185	0.182	0.182
607	0.156	0.154	0.152	0.154
619	0.118	0.116	0.120	0.118
625	0.105	0.103	0.103	0.104
637	0.087	0.087	0.084	0.086
646	0.079	0.077	0.077	0.078
655	0.074	0.075	0.075	0.075
667	0.070	0.071	0.070	0.070
676	0.068	0.065	0.068	0.067
688	0.065	0.064	0.062	0.064
700	0.064	0.064	0.063	0.064

Lampiran 6. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Cd(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.123	0.123	0.122	0.123
412	0.125	0.125	0.124	0.125
421	0.128	0.127	0.128	0.128
430	0.134	0.133	0.133	0.133
439	0.139	0.139	0.139	0.139
445	0.143	0.142	0.143	0.143
457	0.151	0.151	0.151	0.151
463	0.154	0.155	0.153	0.154
469	0.157	0.157	0.155	0.156
478	0.163	0.163	0.163	0.163
481	0.164	0.165	0.163	0.164
484	0.166	0.166	0.166	0.166
487	0.168	0.168	0.169	0.168
490	0.171	0.172	0.174	0.172
493	0.171	0.173	0.173	0.172
496	0.171	0.172	0.173	0.172
499	0.164	0.165	0.163	0.164
502	0.163	0.164	0.163	0.163
508	0.160	0.161	0.161	0.161
520	0.150	0.152	0.150	0.151
526	0.153	0.153	0.152	0.153
532	0.151	0.151	0.150	0.151
538	0.148	0.147	0.147	0.147
544	0.145	0.146	0.146	0.146
553	0.138	0.136	0.138	0.137
562	0.144	0.143	0.142	0.143
571	0.145	0.145	0.145	0.145
580	0.132	0.130	0.131	0.131
589	0.108	0.105	0.106	0.106
598	0.085	0.084	0.082	0.084
610	0.065	0.063	0.065	0.064
622	0.055	0.055	0.055	0.055
634	0.051	0.053	0.052	0.052
646	0.051	0.050	0.050	0.050
658	0.050	0.051	0.050	0.050
673	0.048	0.050	0.050	0.049
685	0.045	0.048	0.047	0.047
700	0.045	0.046	0.046	0.046

Lampiran 7. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Ni(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.119	0.117	0.117	0.118
412	0.118	0.116	0.117	0.117
424	0.113	0.115	0.115	0.114
436	0.093	0.098	0.095	0.095
448	0.089	0.091	0.087	0.089
460	0.091	0.092	0.090	0.091
472	0.099	0.095	0.095	0.096
484	0.108	0.109	0.110	0.109
496	0.121	0.125	0.124	0.123
508	0.133	0.133	0.135	0.134
511	0.135	0.138	0.139	0.137
520	0.143	0.142	0.142	0.142
529	0.156	0.154	0.155	0.155
538	0.165	0.166	0.164	0.165
547	0.164	0.167	0.165	0.165
556	0.154	0.157	0.157	0.156
568	0.159	0.156	0.156	0.157
574	0.166	0.166	0.167	0.166
580	0.174	0.174	0.175	0.174
583	0.178	0.177	0.177	0.177
586	0.171	0.170	0.172	0.171
589	0.181	0.180	0.181	0.181
592	0.179	0.182	0.183	0.181
595	0.172	0.172	0.173	0.172
598	0.162	0.166	0.165	0.164
601	0.149	0.150	0.149	0.149
604	0.134	0.135	0.137	0.135
607	0.122	0.126	0.125	0.124
613	0.102	0.105	0.103	0.103
625	0.081	0.082	0.082	0.082
637	0.071	0.071	0.071	0.071
646	0.067	0.070	0.068	0.068
655	0.065	0.065	0.064	0.065
664	0.063	0.062	0.065	0.063
673	0.061	0.061	0.062	0.061
685	0.060	0.060	0.061	0.060
697	0.059	0.060	0.058	0.059
700	0.059	0.060	0.058	0.059

Lampiran 8. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ion Cu(II) menggunakan reagen larutan

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata
	A1	A2	A3	
400	0.121	0.122	0.122	0.122
412	0.124	0.125	0.125	0.125
424	0.124	0.125	0.128	0.126
436	0.111	0.112	0.112	0.112
448	0.103	0.103	0.102	0.103
460	0.098	0.096	0.095	0.096
466	0.098	0.097	0.097	0.097
475	0.103	0.103	0.105	0.104
484	0.112	0.109	0.108	0.110
493	0.125	0.124	0.126	0.125
502	0.140	0.142	0.144	0.142
508	0.150	0.154	0.156	0.153
511	0.155	0.158	0.159	0.157
517	0.164	0.165	0.164	0.164
523	0.173	0.172	0.170	0.172
529	0.181	0.183	0.180	0.181
535	0.188	0.189	0.187	0.188
541	0.194	0.195	0.196	0.195
544	0.196	0.195	0.197	0.196
547	0.198	0.199	0.197	0.198
550	0.198	0.199	0.199	0.199
553	0.198	0.201	0.201	0.200
556	0.196	0.195	0.194	0.195
559	0.192	0.192	0.192	0.192
562	0.188	0.184	0.185	0.186
565	0.180	0.182	0.182	0.181
571	0.160	0.163	0.163	0.162
577	0.138	0.135	0.135	0.136
583	0.118	0.120	0.122	0.120
589	0.103	0.103	0.105	0.104
601	0.084	0.082	0.081	0.082
613	0.074	0.071	0.070	0.072
625	0.069	0.067	0.065	0.067
637	0.065	0.066	0.064	0.065
649	0.064	0.062	0.063	0.063
661	0.063	0.062	0.061	0.062
685	0.061	0.061	0.060	0.061
700	0.061	0.060	0.060	0.060

Lampiran 9. Data absorbansi pada penentuan pH optimum menggunakan reagen larutan

Ion logam	pH	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard deviasi
		A1	A2	A3		
Cu(II)	4	0.333	0.330	0.332	0.332	0.002
	5	0.317	0.320	0.322	0.320	0.003
	6	0.312	0.301	0.308	0.307	0.006
	7	0.198	0.201	0.197	0.199	0.002
	8	0.268	0.269	0.266	0.268	0.002
	9	0.216	0.216	0.219	0.217	0.002
Ni(II)	4	0.146	0.148	0.145	0.146	0.002
	5	0.159	0.161	0.163	0.161	0.002
	6	0.171	0.171	0.171	0.171	0.000
	7	0.172	0.169	0.171	0.171	0.002
	8	0.135	0.130	0.132	0.132	0.003
	9	0.124	0.125	0.129	0.126	0.003
Hg(II)	4	0.125	0.127	0.125	0.126	0.001
	5	0.152	0.153	0.149	0.151	0.002
	6	0.124	0.122	0.120	0.122	0.002
	7	0.209	0.211	0.208	0.209	0.002
	8	0.124	0.122	0.123	0.123	0.001
	9	0.123	0.122	0.123	0.123	0.001
Co(II)	4	0.101	0.097	0.097	0.098	0.002
	5	0.101	0.100	0.099	0.100	0.001
	6	0.096	0.102	0.100	0.099	0.003
	7	0.066	0.066	0.064	0.065	0.001
	8	0.089	0.085	0.084	0.086	0.003
	9	0.076	0.075	0.074	0.075	0.001

Lampiran 10. Data absorbansi pada pembuatan kurva kalibrasi menggunakan reagen larutan

Ion Logam	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard deviasi
		A1	A2	A3		
Cu(II)	0	0.099	0.097	0.102	0.099	0.003
	0.2	0.137	0.140	0.143	0.140	0.003
	0.4	0.154	0.157	0.155	0.155	0.002
	0.6	0.192	0.191	0.193	0.192	0.001
	0.8	0.175	0.175	0.175	0.175	0.000
	2	0.211	0.209	0.210	0.210	0.001
	4	0.215	0.215	0.215	0.215	0.000
	6	0.220	0.220	0.219	0.220	0.001
	8	0.214	0.214	0.208	0.212	0.003
	10	0.260	0.260	0.260	0.260	0.000
Co(II)	0	0.140	0.139	0.139	0.139	0.001
	0.2	0.132	0.133	0.132	0.132	0.001
	0.4	0.094	0.093	0.094	0.094	0.001
	0.6	0.091	0.091	0.091	0.091	0.000
	0.8	0.096	0.097	0.097	0.097	0.001
	2	0.103	0.102	0.103	0.103	0.001
	4	0.163	0.162	0.164	0.163	0.001
	6	0.086	0.087	0.088	0.087	0.001
	8	0.090	0.091	0.092	0.091	0.001
	10	0.165	0.165	0.165	0.165	0.000
Ni(II)	0	0.060	0.062	0.062	0.061	0.001
	0.2	0.094	0.095	0.097	0.095	0.002
	0.4	0.171	0.171	0.172	0.171	0.001
	0.6	0.173	0.181	0.184	0.179	0.006
	0.8	0.171	0.176	0.182	0.176	0.006
	2	0.123	0.127	0.131	0.127	0.004
	4	0.187	0.181	0.175	0.181	0.006
	6	0.203	0.201	0.204	0.203	0.002
	8	0.181	0.178	0.177	0.179	0.002
	10	0.157	0.156	0.155	0.156	0.001
Hg(II)	0	0.050	0.052	0.052	0.051	0.001
	0.2	0.084	0.086	0.093	0.088	0.005
	0.4	0.119	0.118	0.119	0.119	0.001
	0.6	0.154	0.159	0.155	0.156	0.003
	0.8	0.155	0.159	0.157	0.157	0.002

Ion Logam	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard deviasi
		A1	A2	A3		
	2	0.138	0.138	0.141	0.139	0.002
	4	0.169	0.169	0.170	0.169	0.001
	6	0.165	0.162	0.160	0.162	0.003
	8	0.148	0.148	0.152	0.149	0.002
	10	0.182	0.178	0.179	0.180	0.002



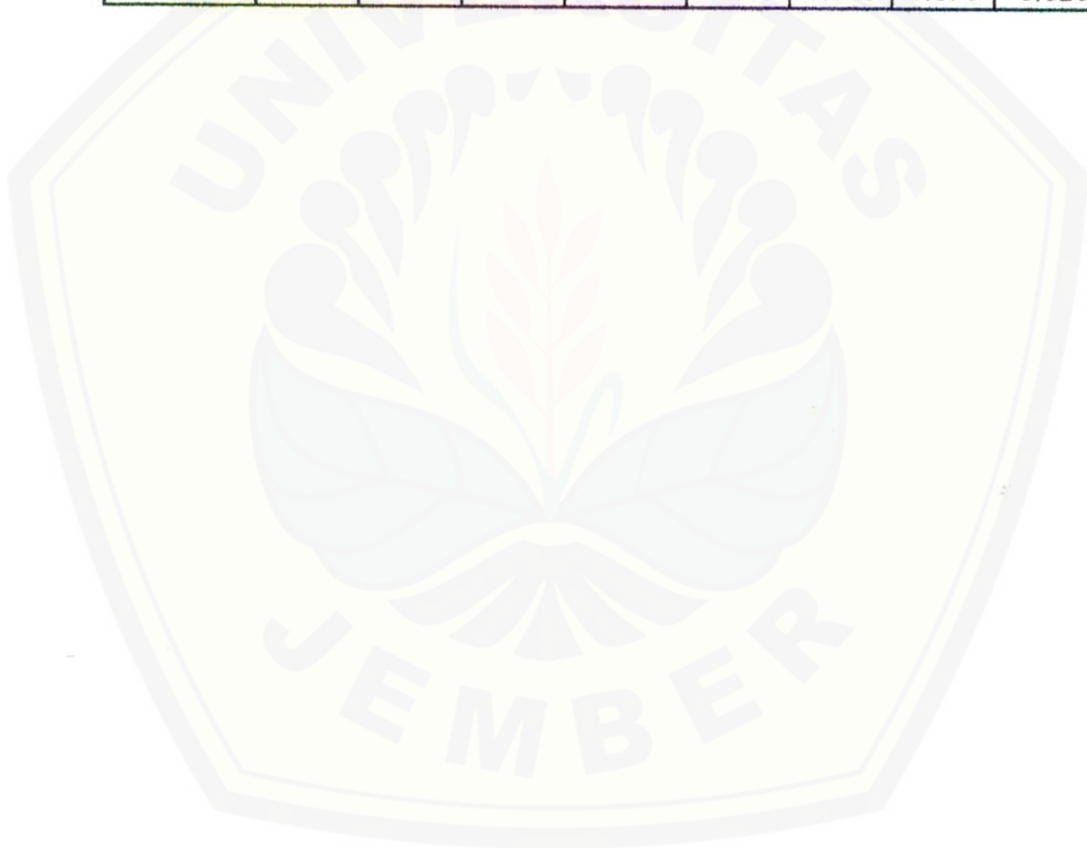
Lampiran 11. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Cu(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Cu(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.199	0.205	0.209	0.204	0.128	0.123	0.126	0.126
409	0.204	0.212	0.215	0.210	0.130	0.124	0.127	0.127
418	0.206	0.215	0.217	0.213	0.133	0.127	0.130	0.130
427	0.206	0.217	0.219	0.214	0.135	0.128	0.132	0.132
436	0.204	0.233	0.218	0.218	0.125	0.125	0.125	0.125
445	0.206	0.238	0.221	0.222	0.123	0.123	0.123	0.123
448	0.207	0.238	0.222	0.222	0.122	0.122	0.122	0.122
451	0.208	0.240	0.223	0.224	0.122	0.121	0.122	0.122
454	0.208	0.241	0.225	0.225	0.121	0.120	0.121	0.121
457	0.209	0.242	0.225	0.225	0.119	0.119	0.119	0.119
460	0.209	0.242	0.225	0.225	0.118	0.118	0.118	0.118
463	0.209	0.241	0.224	0.225	0.118	0.118	0.118	0.118
466	0.207	0.238	0.221	0.222	0.117	0.117	0.117	0.117
469	0.205	0.235	0.218	0.219	0.117	0.117	0.117	0.117
472	0.202	0.229	0.214	0.215	0.117	0.117	0.117	0.117
475	0.199	0.224	0.209	0.211	0.118	0.118	0.118	0.118
478	0.196	0.218	0.203	0.206	0.120	0.119	0.120	0.120
487	0.187	0.201	0.188	0.192	0.126	0.126	0.126	0.126
496	0.180	0.187	0.176	0.181	0.135	0.134	0.135	0.135
505	0.170	0.167	0.158	0.165	0.146	0.144	0.145	0.145
514	0.160	0.143	0.137	0.147	0.154	0.153	0.154	0.154
523	0.150	0.118	0.115	0.128	0.161	0.159	0.160	0.160
532	0.136	0.098	0.097	0.110	0.163	0.161	0.162	0.162
541	0.127	0.086	0.086	0.100	0.162	0.160	0.161	0.161
553	0.128	0.078	0.078	0.095	0.157	0.155	0.156	0.156
565	0.126	0.073	0.073	0.091	0.148	0.146	0.147	0.147
577	0.102	0.066	0.066	0.078	0.133	0.132	0.133	0.133
589	0.083	0.062	0.063	0.069	0.116	0.116	0.116	0.116
601	0.074	0.060	0.061	0.065	0.104	0.103	0.104	0.104
613	0.069	0.059	0.060	0.063	0.093	0.092	0.093	0.093
625	0.066	0.057	0.057	0.060	0.085	0.084	0.085	0.085
637	0.063	0.056	0.056	0.058	0.076	0.076	0.076	0.076
649	0.061	0.055	0.055	0.057	0.071	0.071	0.071	0.071
661	0.060	0.055	0.055	0.057	0.067	0.067	0.067	0.067
673	0.060	0.056	0.056	0.057	0.066	0.065	0.066	0.066
685	0.059	0.054	0.054	0.056	0.063	0.062	0.063	0.063
697	0.057	0.053	0.054	0.055	0.060	0.060	0.060	0.060
700	0.057	0.053	0.053	0.054	0.060	0.060	0.060	0.060

Lampiran 12. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Ni(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Ni(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.197	0.201	0.210	0.203	0.253	0.248	0.256	0.252
409	0.201	0.211	0.213	0.208	0.248	0.248	0.257	0.251
418	0.203	0.215	0.216	0.211	0.247	0.246	0.256	0.250
427	0.202	0.218	0.217	0.212	0.242	0.238	0.248	0.243
433	0.206	0.221	0.218	0.215	0.219	0.212	0.233	0.221
439	0.211	0.222	0.219	0.217	0.206	0.207	0.229	0.214
445	0.212	0.226	0.220	0.219	0.203	0.206	0.227	0.212
448	0.215	0.229	0.221	0.222	0.202	0.206	0.228	0.212
451	0.215	0.230	0.222	0.222	0.203	0.207	0.228	0.213
454	0.215	0.230	0.222	0.222	0.202	0.209	0.230	0.214
457	0.216	0.231	0.222	0.223	0.200	0.210	0.231	0.214
460	0.215	0.234	0.222	0.224	0.198	0.212	0.232	0.214
463	0.213	0.233	0.223	0.223	0.197	0.215	0.234	0.215
466	0.213	0.233	0.222	0.223	0.198	0.216	0.235	0.216
469	0.211	0.230	0.221	0.221	0.197	0.217	0.236	0.217
472	0.211	0.227	0.221	0.220	0.196	0.219	0.236	0.217
475	0.208	0.225	0.219	0.217	0.198	0.219	0.236	0.218
481	0.206	0.224	0.218	0.216	0.210	0.223	0.237	0.223
490	0.204	0.218	0.216	0.213	0.221	0.231	0.243	0.232
499	0.200	0.211	0.215	0.209	0.229	0.240	0.248	0.239
508	0.195	0.208	0.214	0.206	0.233	0.239	0.244	0.239
520	0.190	0.206	0.211	0.202	0.239	0.246	0.246	0.244
532	0.187	0.205	0.211	0.201	0.254	0.270	0.264	0.263
541	0.185	0.202	0.210	0.199	0.257	0.264	0.252	0.258
550	0.181	0.198	0.209	0.196	0.252	0.245	0.252	0.250
556	0.179	0.194	0.209	0.194	0.250	0.242	0.240	0.244
562	0.176	0.193	0.208	0.192	0.249	0.254	0.252	0.252
568	0.171	0.193	0.207	0.190	0.258	0.268	0.263	0.263
571	0.168	0.192	0.207	0.189	0.262	0.275	0.270	0.269
574	0.167	0.191	0.207	0.188	0.269	0.282	0.277	0.276
577	0.165	0.190	0.206	0.187	0.271	0.284	0.278	0.278
580	0.160	0.192	0.205	0.186	0.273	0.273	0.279	0.272
583	0.162	0.187	0.205	0.185	0.270	0.268	0.262	0.267
586	0.160	0.186	0.205	0.184	0.269	0.252	0.249	0.257
589	0.158	0.185	0.205	0.183	0.265	0.233	0.233	0.244
592	0.157	0.182	0.205	0.181	0.249	0.211	0.218	0.226
595	0.155	0.181	0.204	0.180	0.233	0.196	0.206	0.212
601	0.152	0.180	0.202	0.178	0.206	0.165	0.187	0.186

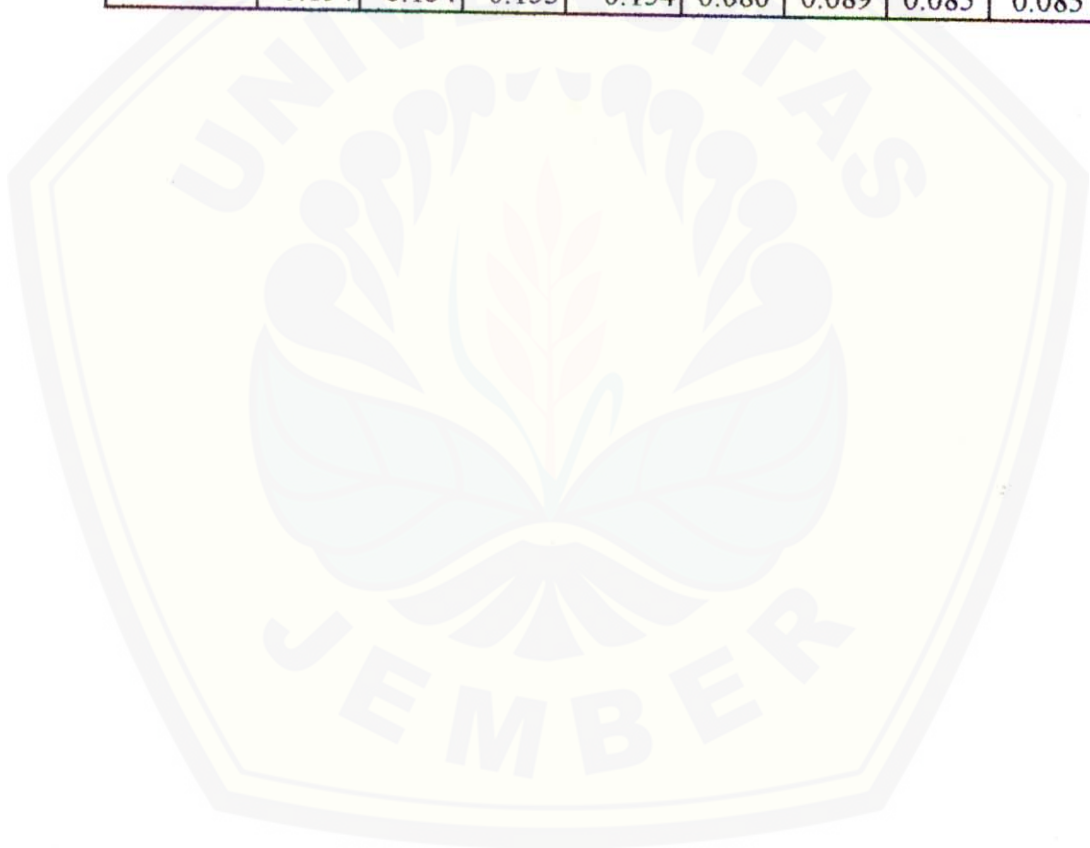
Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Ni(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
607	0.151	0.180	0.201	0.177	0.177	0.146	0.170	0.164
613	0.147	0.180	0.198	0.175	0.160	0.133	0.158	0.150
622	0.141	0.176	0.197	0.171	0.151	0.124	0.149	0.141
631	0.135	0.172	0.195	0.167	0.145	0.118	0.142	0.135
640	0.131	0.170	0.194	0.165	0.136	0.116	0.137	0.130
649	0.130	0.165	0.192	0.162	0.124	0.112	0.134	0.123
658	0.124	0.161	0.190	0.158	0.120	0.111	0.133	0.121
667	0.119	0.160	0.190	0.156	0.122	0.111	0.132	0.122
679	0.113	0.156	0.186	0.152	0.121	0.110	0.131	0.121
691	0.108	0.153	0.183	0.148	0.120	0.109	0.130	0.120
700	0.108	0.152	0.181	0.147	0.121	0.110	0.130	0.120



Lampiran 13. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Hg(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Hg(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.188	0.192	0.194	0.191	0.212	0.206	0.209	0.209
409	0.189	0.194	0.197	0.193	0.214	0.206	0.210	0.210
418	0.190	0.196	0.200	0.195	0.211	0.203	0.207	0.207
427	0.191	0.199	0.201	0.197	0.205	0.196	0.201	0.201
436	0.193	0.200	0.202	0.198	0.179	0.167	0.173	0.173
442	0.195	0.201	0.204	0.200	0.177	0.164	0.171	0.171
448	0.196	0.201	0.207	0.201	0.177	0.163	0.170	0.170
451	0.197	0.202	0.206	0.202	0.178	0.164	0.171	0.171
454	0.198	0.204	0.207	0.203	0.180	0.166	0.173	0.173
457	0.199	0.205	0.208	0.204	0.181	0.168	0.175	0.175
460	0.202	0.206	0.209	0.206	0.184	0.170	0.177	0.177
463	0.201	0.206	0.207	0.205	0.186	0.172	0.179	0.179
466	0.201	0.206	0.207	0.205	0.188	0.175	0.182	0.182
469	0.200	0.205	0.206	0.204	0.190	0.178	0.184	0.184
472	0.199	0.204	0.205	0.203	0.192	0.181	0.187	0.187
475	0.198	0.202	0.204	0.201	0.194	0.184	0.189	0.189
481	0.195	0.203	0.203	0.200	0.199	0.191	0.195	0.195
487	0.194	0.202	0.201	0.199	0.205	0.200	0.203	0.203
493	0.192	0.201	0.201	0.198	0.211	0.208	0.210	0.210
502	0.191	0.198	0.197	0.195	0.218	0.219	0.219	0.219
511	0.190	0.197	0.195	0.194	0.224	0.230	0.227	0.227
520	0.188	0.195	0.194	0.192	0.233	0.245	0.239	0.239
529	0.186	0.192	0.192	0.190	0.243	0.259	0.251	0.251
538	0.185	0.188	0.188	0.187	0.246	0.265	0.256	0.256
547	0.184	0.186	0.185	0.185	0.245	0.266	0.256	0.256
553	0.182	0.185	0.184	0.184	0.245	0.267	0.256	0.256
547	0.184	0.186	0.185	0.185	0.245	0.266	0.256	0.256
559	0.181	0.185	0.181	0.182	0.246	0.269	0.258	0.258
565	0.180	0.183	0.180	0.181	0.247	0.270	0.259	0.259
568	0.180	0.182	0.178	0.180	0.248	0.271	0.260	0.260
571	0.180	0.182	0.177	0.180	0.249	0.272	0.261	0.261
574	0.179	0.181	0.176	0.179	0.248	0.272	0.260	0.260
577	0.179	0.180	0.175	0.178	0.246	0.270	0.258	0.258
580	0.178	0.180	0.174	0.177	0.243	0.268	0.256	0.256
583	0.178	0.179	0.174	0.177	0.239	0.264	0.252	0.252
586	0.177	0.179	0.173	0.176	0.234	0.260	0.247	0.247
589	0.176	0.178	0.172	0.175	0.229	0.255	0.242	0.242
595	0.175	0.177	0.171	0.174	0.216	0.243	0.230	0.230

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Hg(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
601	0.174	0.176	0.171	0.174	0.201	0.228	0.215	0.215
607	0.172	0.175	0.170	0.172	0.186	0.212	0.199	0.199
613	0.171	0.174	0.170	0.172	0.169	0.193	0.181	0.181
622	0.170	0.172	0.170	0.171	0.146	0.166	0.156	0.156
631	0.166	0.171	0.168	0.168	0.127	0.145	0.136	0.136
640	0.165	0.169	0.168	0.167	0.114	0.129	0.122	0.122
652	0.162	0.164	0.162	0.163	0.103	0.116	0.110	0.110
664	0.160	0.161	0.159	0.160	0.095	0.107	0.101	0.101
676	0.159	0.158	0.157	0.158	0.089	0.100	0.095	0.095
688	0.156	0.155	0.155	0.155	0.084	0.094	0.089	0.089
700	0.154	0.154	0.153	0.154	0.080	0.089	0.085	0.085



Lampiran 14. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Zn(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Zn(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.212	0.217	0.220	0.216	0.308	0.299	0.304	0.304
409	0.213	0.218	0.220	0.217	0.305	0.296	0.301	0.301
418	0.216	0.219	0.218	0.218	0.294	0.286	0.290	0.290
427	0.219	0.221	0.216	0.219	0.279	0.272	0.276	0.276
436	0.221	0.222	0.217	0.220	0.272	0.268	0.270	0.270
442	0.222	0.224	0.218	0.221	0.270	0.266	0.268	0.268
448	0.225	0.225	0.219	0.223	0.272	0.268	0.270	0.270
451	0.225	0.226	0.220	0.224	0.275	0.271	0.273	0.273
454	0.226	0.227	0.220	0.224	0.278	0.275	0.277	0.277
457	0.226	0.229	0.221	0.225	0.282	0.278	0.280	0.280
460	0.227	0.229	0.222	0.226	0.286	0.283	0.285	0.285
463	0.225	0.228	0.221	0.225	0.291	0.287	0.289	0.289
466	0.225	0.227	0.220	0.224	0.296	0.292	0.294	0.294
469	0.224	0.227	0.220	0.224	0.302	0.301	0.302	0.302
472	0.224	0.226	0.220	0.223	0.308	0.304	0.306	0.306
478	0.222	0.226	0.218	0.222	0.326	0.321	0.324	0.324
484	0.221	0.225	0.217	0.221	0.347	0.342	0.345	0.345
490	0.221	0.224	0.215	0.220	0.367	0.360	0.364	0.364
499	0.221	0.222	0.214	0.219	0.387	0.379	0.383	0.383
508	0.219	0.219	0.212	0.217	0.416	0.407	0.412	0.412
517	0.215	0.217	0.211	0.214	0.469	0.460	0.465	0.465
526	0.213	0.218	0.211	0.214	0.503	0.491	0.497	0.497
535	0.207	0.216	0.210	0.211	0.491	0.472	0.482	0.482
541	0.206	0.214	0.209	0.210	0.476	0.455	0.466	0.466
547	0.204	0.214	0.208	0.209	0.471	0.453	0.462	0.462
553	0.201	0.210	0.208	0.206	0.487	0.473	0.480	0.480
556	0.201	0.209	0.207	0.206	0.501	0.488	0.495	0.495
559	0.200	0.208	0.207	0.205	0.516	0.504	0.510	0.510
562	0.201	0.208	0.207	0.205	0.532	0.520	0.526	0.526
565	0.199	0.207	0.206	0.204	0.539	0.525	0.532	0.532
568	0.198	0.207	0.206	0.204	0.537	0.520	0.529	0.529
571	0.197	0.207	0.206	0.203	0.530	0.508	0.519	0.519
574	0.196	0.206	0.205	0.202	0.514	0.485	0.500	0.500
577	0.195	0.206	0.204	0.202	0.493	0.459	0.476	0.476
580	0.195	0.206	0.204	0.202	0.463	0.425	0.444	0.444
583	0.194	0.206	0.203	0.201	0.437	0.395	0.416	0.416
589	0.192	0.206	0.202	0.200	0.368	0.330	0.349	0.349
595	0.191	0.205	0.201	0.199	0.305	0.278	0.292	0.292

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Zn(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
601	0.190	0.203	0.200	0.198	0.260	0.243	0.252	0.252
610	0.189	0.202	0.201	0.197	0.222	0.215	0.219	0.219
619	0.187	0.201	0.198	0.195	0.204	0.203	0.204	0.204
628	0.184	0.201	0.196	0.194	0.194	0.195	0.195	0.195
640	0.180	0.199	0.194	0.191	0.188	0.190	0.189	0.189
652	0.181	0.198	0.193	0.191	0.180	0.184	0.182	0.182
664	0.177	0.197	0.189	0.188	0.178	0.183	0.181	0.181
676	0.175	0.196	0.189	0.187	0.177	0.181	0.179	0.179
688	0.174	0.194	0.185	0.184	0.175	0.181	0.178	0.178
700	0.171	0.192	0.182	0.182	0.174	0.180	0.177	0.177



Lampiran 15. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Cd(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Cd(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.189	0.192	0.197	0.193	0.189	0.190	0.188	0.189
409	0.189	0.193	0.199	0.194	0.190	0.191	0.189	0.190
418	0.192	0.195	0.201	0.196	0.189	0.188	0.187	0.188
427	0.193	0.197	0.204	0.198	0.185	0.185	0.185	0.185
433	0.195	0.199	0.204	0.199	0.167	0.175	0.181	0.174
439	0.196	0.200	0.206	0.201	0.166	0.169	0.165	0.167
445	0.199	0.201	0.206	0.202	0.166	0.165	0.166	0.166
448	0.199	0.201	0.207	0.202	0.166	0.165	0.165	0.165
451	0.201	0.201	0.207	0.203	0.167	0.168	0.165	0.167
454	0.201	0.203	0.208	0.204	0.168	0.168	0.166	0.167
457	0.203	0.204	0.208	0.205	0.169	0.168	0.166	0.168
460	0.204	0.205	0.209	0.206	0.170	0.171	0.171	0.171
463	0.204	0.204	0.209	0.206	0.171	0.171	0.170	0.171
466	0.203	0.204	0.208	0.205	0.172	0.173	0.171	0.172
469	0.202	0.204	0.207	0.204	0.173	0.173	0.171	0.172
472	0.201	0.203	0.208	0.204	0.174	0.175	0.172	0.174
475	0.201	0.202	0.207	0.203	0.175	0.175	0.175	0.175
481	0.201	0.201	0.206	0.203	0.176	0.178	0.179	0.178
487	0.200	0.199	0.205	0.201	0.179	0.178	0.178	0.178
493	0.198	0.197	0.205	0.200	0.180	0.182	0.181	0.181
499	0.198	0.196	0.205	0.200	0.181	0.181	0.181	0.181
508	0.197	0.196	0.203	0.199	0.182	0.181	0.182	0.182
517	0.195	0.194	0.202	0.197	0.185	0.183	0.185	0.184
526	0.193	0.192	0.201	0.195	0.185	0.185	0.185	0.185
535	0.191	0.192	0.201	0.195	0.182	0.182	0.181	0.182
544	0.190	0.191	0.200	0.194	0.185	0.186	0.181	0.184
553	0.189	0.191	0.199	0.193	0.191	0.192	0.188	0.190
559	0.188	0.190	0.197	0.192	0.193	0.192	0.195	0.193
565	0.187	0.190	0.197	0.191	0.192	0.192	0.192	0.192
571	0.186	0.188	0.197	0.190	0.182	0.180	0.186	0.183
577	0.185	0.189	0.196	0.190	0.168	0.174	0.170	0.171
583	0.185	0.190	0.195	0.190	0.157	0.159	0.161	0.159
586	0.184	0.188	0.194	0.189	0.153	0.156	0.157	0.155
589	0.183	0.187	0.194	0.188	0.150	0.152	0.155	0.152
592	0.182	0.185	0.193	0.187	0.148	0.147	0.149	0.148
595	0.181	0.185	0.193	0.186	0.145	0.143	0.147	0.145
598	0.181	0.184	0.192	0.186	0.144	0.143	0.144	0.144
601	0.182	0.184	0.191	0.186	0.141	0.143	0.144	0.143

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Cd(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
604	0.182	0.184	0.190	0.185	0.139	0.140	0.142	0.140
607	0.183	0.184	0.189	0.185	0.136	0.136	0.142	0.138
610	0.182	0.183	0.188	0.184	0.133	0.132	0.137	0.134
613	0.182	0.182	0.188	0.184	0.131	0.132	0.134	0.132
619	0.180	0.183	0.188	0.184	0.126	0.128	0.125	0.126
625	0.177	0.181	0.189	0.182	0.121	0.122	0.122	0.122
631	0.176	0.181	0.187	0.181	0.117	0.118	0.116	0.117
637	0.175	0.179	0.184	0.179	0.115	0.113	0.115	0.114
646	0.174	0.176	0.182	0.177	0.111	0.110	0.111	0.111
655	0.172	0.175	0.180	0.176	0.107	0.105	0.102	0.105
664	0.170	0.174	0.177	0.174	0.105	0.102	0.103	0.103
676	0.171	0.172	0.173	0.172	0.102	0.101	0.103	0.102
688	0.170	0.171	0.171	0.171	0.099	0.100	0.098	0.099
700	0.168	0.170	0.170	0.169	0.098	0.099	0.099	0.099

Lampiran 16. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Pb(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Pb(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.197	0.202	0.208	0.202	0.170	0.163	0.166	0.166
409	0.199	0.201	0.208	0.203	0.174	0.166	0.177	0.172
418	0.202	0.205	0.210	0.206	0.174	0.166	0.175	0.172
424	0.205	0.206	0.210	0.207	0.173	0.164	0.172	0.170
430	0.205	0.207	0.211	0.208	0.172	0.162	0.165	0.166
439	0.208	0.208	0.212	0.209	0.155	0.145	0.155	0.152
442	0.209	0.209	0.213	0.210	0.155	0.144	0.156	0.152
445	0.209	0.211	0.213	0.211	0.154	0.144	0.153	0.150
448	0.211	0.212	0.212	0.212	0.155	0.144	0.152	0.150
451	0.211	0.212	0.212	0.212	0.155	0.145	0.153	0.151
454	0.212	0.213	0.213	0.213	0.155	0.146	0.153	0.151
457	0.213	0.213	0.215	0.214	0.156	0.147	0.154	0.152
460	0.213	0.214	0.216	0.214	0.157	0.148	0.155	0.153
463	0.213	0.214	0.216	0.214	0.158	0.150	0.155	0.154
466	0.212	0.212	0.215	0.213	0.159	0.151	0.156	0.155
469	0.211	0.212	0.214	0.212	0.160	0.152	0.158	0.157
478	0.210	0.211	0.214	0.212	0.162	0.159	0.162	0.161
484	0.209	0.210	0.213	0.211	0.165	0.164	0.162	0.164
499	0.207	0.207	0.211	0.208	0.173	0.177	0.169	0.173
508	0.205	0.204	0.211	0.207	0.175	0.183	0.172	0.162
517	0.202	0.203	0.210	0.205	0.181	0.195	0.179	0.163
526	0.201	0.201	0.208	0.203	0.186	0.202	0.182	0.190
535	0.202	0.201	0.207	0.203	0.182	0.198	0.189	0.190
544	0.199	0.199	0.209	0.202	0.179	0.197	0.184	0.187
553	0.195	0.198	0.206	0.200	0.184	0.206	0.187	0.192
565	0.196	0.197	0.202	0.198	0.191	0.207	0.192	0.197
577	0.192	0.193	0.200	0.195	0.158	0.164	0.185	0.169
589	0.190	0.192	0.199	0.194	0.117	0.119	0.153	0.130
601	0.190	0.191	0.197	0.193	0.091	0.093	0.118	0.101
613	0.186	0.190	0.191	0.189	0.074	0.078	0.098	0.163
625	0.184	0.188	0.190	0.187	0.067	0.071	0.055	0.064
637	0.182	0.185	0.188	0.185	0.063	0.066	0.051	0.060
649	0.177	0.183	0.187	0.182	0.061	0.063	0.052	0.059
661	0.175	0.181	0.182	0.179	0.059	0.060	0.051	0.057
673	0.172	0.177	0.181	0.177	0.057	0.059	0.050	0.055
685	0.171	0.175	0.178	0.175	0.055	0.057	0.049	0.054
697	0.168	0.174	0.175	0.172	0.055	0.056	0.048	0.053
700	0.168	0.174	0.176	0.173	0.055	0.056	0.048	0.053

Lampiran 17. Data absorbansi pada pengukuran panjang gelombang maksimum Co(II) menggunakan reagen kering

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Pb(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
400	0.212	0.217	0.221	0.217	0.300	0.271	0.300	0.290
409	0.213	0.219	0.220	0.217	0.313	0.278	0.315	0.302
418	0.214	0.220	0.222	0.219	0.330	0.287	0.333	0.317
427	0.215	0.222	0.223	0.220	0.345	0.295	0.348	0.329
436	0.216	0.222	0.226	0.221	0.357	0.310	0.362	0.343
442	0.216	0.225	0.226	0.222	0.358	0.310	0.363	0.344
448	0.217	0.226	0.227	0.223	0.355	0.308	0.360	0.341
451	0.218	0.227	0.228	0.224	0.353	0.306	0.357	0.339
454	0.218	0.227	0.229	0.225	0.348	0.304	0.350	0.334
457	0.219	0.228	0.229	0.225	0.342	0.300	0.345	0.329
460	0.220	0.228	0.230	0.226	0.336	0.296	0.338	0.323
463	0.218	0.227	0.230	0.225	0.328	0.291	0.330	0.316
466	0.219	0.226	0.228	0.224	0.320	0.286	0.322	0.309
469	0.218	0.225	0.228	0.224	0.312	0.281	0.313	0.302
472	0.217	0.225	0.226	0.223	0.304	0.276	0.304	0.295
478	0.216	0.224	0.226	0.222	0.289	0.267	0.288	0.281
484	0.217	0.222	0.225	0.221	0.278	0.260	0.275	0.271
490	0.216	0.220	0.223	0.220	0.270	0.255	0.266	0.264
496	0.215	0.219	0.221	0.218	0.266	0.253	0.261	0.260
505	0.213	0.218	0.220	0.217	0.264	0.250	0.258	0.257
514	0.211	0.217	0.219	0.216	0.268	0.252	0.261	0.260
523	0.210	0.216	0.218	0.215	0.277	0.258	0.270	0.268
532	0.209	0.212	0.216	0.212	0.288	0.264	0.282	0.278
541	0.208	0.211	0.215	0.211	0.298	0.270	0.293	0.287
550	0.208	0.211	0.213	0.211	0.306	0.275	0.301	0.294
559	0.205	0.208	0.211	0.208	0.315	0.281	0.312	0.303
565	0.204	0.207	0.211	0.207	0.329	0.289	0.326	0.315
571	0.205	0.206	0.210	0.207	0.338	0.295	0.337	0.323
574	0.204	0.205	0.210	0.206	0.342	0.297	0.342	0.327
577	0.203	0.205	0.210	0.206	0.344	0.298	0.345	0.329
580	0.201	0.204	0.210	0.205	0.344	0.298	0.346	0.329
583	0.201	0.204	0.210	0.205	0.343	0.297	0.345	0.328
586	0.201	0.203	0.209	0.204	0.334	0.295	0.342	0.324
589	0.200	0.203	0.208	0.204	0.334	0.292	0.337	0.321
592	0.200	0.202	0.206	0.203	0.328	0.288	0.332	0.316
595	0.200	0.202	0.207	0.203	0.324	0.286	0.327	0.312
598	0.199	0.203	0.207	0.203	0.319	0.283	0.323	0.308
604	0.199	0.201	0.204	0.201	0.313	0.280	0.317	0.303

Panjang gelombang	Absorbansi blanko				Absorbansi Pb(II)			
	A1	A2	A3	rata-rata	A1	A2	A3	rata-rata
610	0.197	0.202	0.203	0.201	0.311	0.278	0.316	0.302
616	0.196	0.201	0.203	0.200	0.313	0.279	0.318	0.303
622	0.194	0.200	0.202	0.199	0.314	0.280	0.319	0.304
628	0.195	0.200	0.201	0.199	0.311	0.277	0.316	0.301
637	0.193	0.198	0.201	0.197	0.295	0.269	0.300	0.288
646	0.191	0.196	0.200	0.196	0.263	0.249	0.268	0.260
655	0.187	0.195	0.199	0.194	0.235	0.231	0.239	0.235
664	0.186	0.192	0.196	0.191	0.215	0.218	0.217	0.217
673	0.183	0.189	0.195	0.189	0.203	0.211	0.204	0.206
682	0.181	0.188	0.193	0.187	0.196	0.207	0.196	0.200
691	0.178	0.185	0.192	0.185	0.192	0.204	0.192	0.196
700	0.177	0.184	0.190	0.184	0.189	0.202	0.189	0.193



Lampiran 18. Data pengukuran absorbansi untuk penentuan pH optimum menggunakan reagen kering

Ion Logam	pH	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard Deviasi
		A1	A2	A3		
Cu(II)	4	0.333	0.330	0.332	0.332	0.002
	5	0.317	0.320	0.322	0.320	0.003
	6	0.312	0.301	0.308	0.307	0.006
	7	0.198	0.201	0.197	0.199	0.002
	8	0.268	0.269	0.266	0.268	0.002
	9	0.216	0.216	0.219	0.217	0.002
Ni(II)	4	0.146	0.148	0.145	0.146	0.002
	5	0.159	0.161	0.163	0.161	0.002
	6	0.171	0.171	0.171	0.171	0.000
	7	0.172	0.169	0.171	0.171	0.002
	8	0.135	0.130	0.132	0.132	0.003
	9	0.124	0.125	0.129	0.126	0.003
Hg(II)	4	0.125	0.127	0.125	0.126	0.001
	5	0.152	0.153	0.149	0.151	0.002
	6	0.124	0.122	0.120	0.122	0.002
	7	0.209	0.211	0.208	0.209	0.002
	8	0.124	0.122	0.123	0.123	0.001
	9	0.123	0.122	0.123	0.123	0.001
Co(II)	4	0.101	0.097	0.097	0.098	0.002
	5	0.101	0.100	0.099	0.100	0.001
	6	0.096	0.102	0.100	0.099	0.003
	7	0.066	0.066	0.064	0.065	0.001
	8	0.089	0.085	0.084	0.086	0.003
	9	0.076	0.075	0.074	0.075	0.001

Lampiran 19. Data absorbansi pada pembuatan kurva kalibrasi dengan menggunakan reagen kering

Ion logam	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard deviasi
		A1	A2	A3		
Co(II)	10	0.177	0.175	0.178	0.177	0.002
	8	0.158	0.160	0.161	0.160	0.002
	6	0.125	0.125	0.127	0.126	0.001
	4	0.182	0.188	0.189	0.186	0.004
	2	0.180	0.180	0.182	0.181	0.001
	1	0.156	0.152	0.159	0.156	0.004
	0.8	0.151	0.154	0.154	0.153	0.002
	0.6	0.137	0.139	0.138	0.138	0.001
	0.4	0.109	0.109	0.111	0.110	0.001
	0.2	0.107	0.103	0.103	0.104	0.002
	0	0.105	0.106	0.108	0.106	0.002
Hg(II)	10	0.307	0.283	0.302	0.297	0.013
	8	0.252	0.231	0.247	0.243	0.011
	6	0.212	0.193	0.199	0.201	0.010
	4	0.181	0.163	0.175	0.173	0.009
	2	0.156	0.145	0.161	0.154	0.008
	1	0.122	0.115	0.111	0.116	0.006
	0.8	0.102	0.107	0.103	0.104	0.003
	0.6	0.087	0.086	0.088	0.087	0.001
	0.4	0.080	0.078	0.081	0.080	0.002
	0.2	0.077	0.076	0.072	0.075	0.003
	0	0.075	0.074	0.070	0.073	0.003
Zn(II)	10	0.253	0.232	0.248	0.244	0.011
	8	0.204	0.198	0.206	0.203	0.004
	6	0.151	0.150	0.148	0.150	0.002
	4	0.113	0.115	0.111	0.113	0.002
	2	0.104	0.107	0.102	0.104	0.003
	1	0.110	0.098	0.105	0.104	0.006
	0.8	0.109	0.102	0.111	0.107	0.005
	0.6	0.092	0.088	0.102	0.094	0.007
	0.4	0.099	0.097	0.105	0.100	0.004
	0.2	0.096	0.097	0.110	0.101	0.008
	0	0.095	0.093	0.091	0.093	0.002
Cd(II)	10	0.121	0.108	0.117	0.115	0.007
	8	0.098	0.094	0.096	0.096	0.002
	6	0.085	0.085	0.082	0.084	0.002
	4	0.081	0.080	0.078	0.080	0.002
	2	0.079	0.081	0.077	0.079	0.002

Ion logam	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Standard deviasi
		A1	A2	A3		
	1	0.078	0.080	0.077	0.078	0.002
	0.8	0.078	0.081	0.076	0.078	0.003
	0.6	0.079	0.074	0.074	0.076	0.003
	0.4	0.078	0.079	0.077	0.078	0.001
	0.2	0.078	0.076	0.076	0.077	0.001
	0	0.075	0.072	0.071	0.073	0.002
Pb(II)	10	0.178	0.166	0.175	0.173	0.006
	8	0.117	0.114	0.115	0.115	0.002
	6	0.102	0.102	0.103	0.102	0.001
	4	0.074	0.084	0.078	0.079	0.005
	2	0.073	0.076	0.076	0.075	0.002
	1	0.078	0.082	0.084	0.081	0.003
	0.8	0.073	0.072	0.072	0.072	0.001
	0.6	0.072	0.070	0.072	0.071	0.001
	0.4	0.068	0.068	0.066	0.067	0.001
	0.2	0.065	0.065	0.066	0.065	0.001
	0	0.063	0.063	0.063	0.063	0.000

Lampiran 20. Analisa Batas Deteksi Pengukuran Hg(II) Menggunakan Uji t

ulangan	Absorbansi		Selisih
	Reagen larutan	Reagen Kering	
1	0.05	0.075	-0.025
2	0.052	0.074	-0.022
3	0.052	0.07	-0.018
rata-rata	0.0513	0.073	-0.0217

Simpangan baku selisih, $S_d = 0.0268$

Hipotesis sementara tidak ada perbedaan antara rata-rata kedua metode ($\mu=0$).

Berdasarkan persamaan 3.7 diperoleh:

$$|t| = -0.0217 \times \sqrt{3} / 0.0268 \\ = 1.40$$

t tabel untuk batas kepercayaan 95% dengan 2 derajat kebebasan adalah 4.30

Nilai t hitung < t tabel, sehingga hipotesis nol dapat diterima.

Lampiran 21. Analisa Batas Deteksi Pengukuran Co(II) Menggunakan Uji t

ulangan	Absorbansi		Selisih
	Reagen larutan	Reagen Kering	
1	0.155	0.105	0.0500
2	0.154	0.106	0.0480
3	0.149	0.108	0.0410
rata-rata	0.153	0.106	0.0463

Standard deviasi, $S = 0.0569$

Hipotesis sementara tidak ada perbedaan antara rata-rata kedua metode ($\mu=0$).

Berdasarkan persamaan 3.7:

$$\begin{aligned} |t| &= 0.0463 \times \sqrt{3} / 0.0569 \\ &= 1.41 \end{aligned}$$

t tabel untuk batas kepercayaan 95% dengan 2 derajat kebebasan adalah 4.30

Nilai t hitung < t tabel, sehingga hipotesis nol dapat diterima.

Lampiran 22. Analisa Reprodusibilitas pada Pengukuran Hg(II) dengan Membandingkan Simpangan Baku

Reagen Larutan

Konsentrasi (ppm)	v (%)	selisih	Selisih kuadrat
0	2.25	0.556	0.309
0.2	5.39	3.70	1.37
0.4	0.487	-1.21	1.46
0.6	1.70	0.00209	4.38E-06
0.8	1.27	-0.420	0.176
2	1.25	-0.450	0.201
4	0.341	-1.35	1.83
6	1.55	-0.144	0.0206
8	1.55	-0.147	0.0217
10	1.16	-0.535	0.287
Rata-rata= 1.69		Jumlah kuadrat= 7.61	

Simpangan baku, $S_1 = 1.41$

Reagen Kering

Konsentrasi (ppm)	v (%)	Selisih	Selisih kuadrat
0	3.62	-0.0724	0.00524
0.2	3.53	-0.170	0.0286
0.4	1.92	-1.78	3.17
0.6	1.15	-2.55	6.49
0.8	2.54	-1.15	1.33
2	5.32	1.62	2.62
4	5.30	1.60	2.56
6	4.82	1.13	1.27
8	4.51	0.811	0.658
10	4.26	0.562	0.316
Rata-rata= 3.70		Jumlah kuadrat= 18.4	

Simpangan baku, $S_2 = 1.43$

Berdasarkan persamaan 3.8 dan 3.9 diperoleh:

$$S^2 = \{(9 \times 1.41^2) + (9 \times 1.43^2)\} / 18$$

$$= 36.4$$

$$S = 6.03$$

$$t = (1.70 - 3.70)/(6.03 \times 0.447)$$

$$= 0.742$$

nilai t tabel untuk 18 derajat kebebasan pada batas kepercayaan 95% ($P=0,05$) sebesar 2.10. Karena nilai t hitung lebih kecil dari nilai t tabel, maka metode tidak mempunyai perbedaan sistematis.



Lampiran 23. Analisa Reprodusibilitas pada Pengukuran Co(II) dengan Membandingkan Simpangan Baku

Reagen Larutan

Konsentrasi (ppm)	V (%)	Selisih	Selisih kuadrat
0	0.414	-0.124	0.015
0.2	0.436	-0.102	0.010
0.4	0.616	0.078	0.006
0.6	0.000	-0.538	0.289
0.8	0.597	0.059	0.004
2	0.562	0.024	0.001
4	0.504	-0.034	0.001
6	1.149	0.611	0.374
8	1.099	0.561	0.315
10	0.000	-0.538	0.289
Rata-rata= 0.538		Jumlah kuadrat= 1.30	

Simpangan baku, $S_1 = 0.381$

Reagen Kering

Konsentrasi (ppm)	V (%)	Selisih	Selisih kuadrat
0	1.44	0.239	0.0573
0.2	2.2	1.02	1.03
0.4	1.05	-0.144	0.0208
0.6	0.725	-0.472	0.223
0.8	1.13	-0.0650	0.00422
2	0.639	-0.558	0.311
4	2.03	0.835	0.697
6	0.919	-0.278	0.0774
8	0.957	-0.240	0.0578
10	0.865	-0.332	0.111
Rata-rata= 1.20		Jumlah kuadrat= 2.59	

Simpangan baku, $S_2 = 0.537$

Berdasarkan persamaan 3.8 dan 3.9 diperoleh:

$$S^2 = \{(9 \times 0.381^2) + (9 \times 0.537^2)\} / 18$$

$$= 0.217$$

$$S = 0.466$$

$$|t| = (0.538 - 1.20)/(0.466 \times 0.447) \\ = 3.18$$

nilai t tabel untuk 18 derajat kebebasan pada batas kepercayaan 95% ($P=0,05$) sebesar 2.10. Karena nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel, maka kedua metode mempunyai perbedaan sistematis.



Lampiran 24. Perhitungan untuk Membandingkan Metode Analisa Reagen Larutan dan Reagen Kering pada Pengukuran Ion Hg(II).

RL(x)	RK(y)	x^2	y^2	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
0.115	0.080	0.013	0.006	-0.136	-0.181	0.019	0.033
0.122	0.102	0.015	0.010	-0.135	-0.177	0.018	0.031
0.129	0.123	0.017	0.015	-0.133	-0.172	0.018	0.030
0.136	0.145	0.018	0.021	-0.131	-0.167	0.017	0.028
0.143	0.166	0.020	0.028	-0.129	-0.160	0.017	0.026
0.150	0.187	0.022	0.035	-0.127	-0.152	0.016	0.023
0.156	0.209	0.024	0.044	-0.125	-0.144	0.016	0.021
0.163	0.230	0.027	0.053	-0.123	-0.134	0.015	0.018
0.170	0.252	0.029	0.063	-0.121	-0.124	0.015	0.015
0.177	0.273	0.031	0.075	-0.118	-0.113	0.014	0.013
0.184	0.295	0.034	0.087	-0.116	-0.101	0.013	0.010
0.150	0.187	0.251	0.437	-1.393	-1.624	0.177	0.247

Berdasarkan persamaan 3.4 – 3.6, diperoleh:

$$S_{y/x} = \left[\frac{0.247}{11-2} \right]^{1/2}$$

$$= 0.166$$

Simpangan baku untuk titik potong (a):

$$S_a = 0.166 \left[\frac{0.251}{11(0.177)} \right]^{1/2}$$

$$= 0.0595$$

Simpangan baku untuk lereng (b):

$$S_b = \frac{0.166}{(0.177)^{1/2}}$$

$$= 0.394$$

Nilai t tabel untuk derajat kebebasan 9, selang kepercayaan 95% adalah 2.26, maka batas kepercayaan untuk lereng b= $3.11 \pm (0.394 \times 2.26)$ atau 3.11 ± 0.890 dan untuk titik potong a= $-0.278 \pm (0.0595 \times 2.26)$ atau -0.2776 ± 0.135

Lampiran 25. Perhitungan untuk Membandingkan Metode Analisis Reagen Larutan dan Reagen Kering pada Pengukuran ion Co(II)

RL(x)	RK(y)	x^2	y^2	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
0.002	0.005	0.000	0.000	-0.550	-0.645	0.303	0.416
0.112	0.134	0.013	0.018	-0.440	-0.516	0.194	0.266
0.222	0.263	0.049	0.069	-0.330	-0.387	0.109	0.150
0.332	0.392	0.110	0.154	-0.220	-0.258	0.048	0.067
0.442	0.521	0.195	0.271	-0.110	-0.129	0.012	0.017
0.552	0.650	0.305	0.423	0.000	0.000	0.000	0.000
0.662	0.779	0.438	0.607	0.110	0.129	0.012	0.017
0.772	0.908	0.596	0.824	0.220	0.258	0.048	0.067
0.882	1.040	0.778	1.082	0.330	0.390	0.109	0.152
0.992	1.170	0.984	1.369	0.440	0.520	0.194	0.270
1.100	1.290	1.210	1.664	0.548	0.640	0.300	0.410
0.552	0.650	4.678	6.481	-0.002	0.002	1.329	1.831

Berdasarkan persamaan 3.4 – 3.6, diperoleh:

$$S_{y/x} = \left[\frac{1.831}{11-2} \right]^{1/2}$$

$$= 0.451$$

Simpangan baku untuk titik potong (a):

$$S_a = 0.451 \left[\frac{0.4.678}{11(0.1.329)} \right]^{1/2}$$

$$= 0.255$$

Simpangan baku untuk lereng (b):

$$S_b = \frac{0.451}{(1.329)^{1/2}}$$

$$= 0.391$$

Nilai t tabel untuk derajat kebebasan 9, selang kepercayaan 95% adalah 2.26, maka batas kepercayaan untuk lereng $b = 2.45E-3 \pm (0.391 \times 2.26)$ atau $2.45E-3 \pm 0.884$ dan untuk titik potong $a = 1.17 \pm (0.255 \times 2.26)$ atau 1.17 ± 0.576