

**APLIKASI TEKNIK KOMBINASI ADSORPSI DAN  
ELEKTROLISIS UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN FENOL  
DALAM LIMBAH INDUSTRI BAHAN KIMIA SANITASI**

**ALTI MURDIKA  
0305030042**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN KIMIA  
2009**

**APLIKASI TEKNIK KOMBINASI ADSORPSI DAN  
ELEKTROLISIS UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN FENOL  
DALAM LIMBAH INDUSTRI BAHAN KIMIA SANITASI**

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**Oleh :**

**ALTI MURDIKA**

**0305030042**



**Depok**

**2009**

SKRIPSI : APLIKASI TEKNIK KOMBINASI ADSORPSI DAN  
ELEKTROLISIS UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN FENOL  
DALAM LIMBAH INDUSTRI BAHAN KIMIA SANITASI

NAMA : ALTI MURDIKA

NPM : 0305030042

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2009

Ir. Widyastuti Samadi M.Si

Pembimbing I

Dr. rer nat Widayanti Wibowo

Pembimbing II

Tanggal Lulus Ujian Sidang Sarjana:

Penguji I : Dr. Riwandi Sihombing

Penguji II : Dra. Tresye Utari, M.Si

Penguji III : Dr. Ivandini Tribidiasari .A

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya lah sehingga penulisan skripsi ini selesai.

Penyusunan skripsi ini dapat terwujud berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Widyastuti Samadi M.Si dan Dr. rer nat Widayanti Wibowo selaku pembimbing I dan pembimbing II yang dengan sabar membimbing dan mengajarkan kedisiplinan, kejujuran, keberanian, dan bagaimana suatu kesederhanaan dapat memecahkan semua kompleksitas
2. Dr. Ridla Bakri selaku ketua Departemen Kimia FMIPA UI
3. Dra. Tresye utari M.Si selaku kordinator Bidang Penelitian Departemen Kimia FMIPA UI
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Kimia FMIPA UI yang telah memberikan ilmunya dengan tulus.
5. Staf karyawan Departemen Kimia FMIPA UI yang telah banyak membantu dalam kelancaran penelitian ini.
6. Kedua orang tua penulis, atas segala kasih sayang dan semangat yang selalu diberikan tiada henti selama ini.
7. Teman-teman kimia angkatan 2005 yang telah banyak memberikan bantuan, doa, dukungan, dan kenangan yang tak terlupakan.

8. Sahabat-sahabatku, mutia, susi, santi, golda, dian eka, dian, iren, ersi, golda, retno, norma, destya, purnama, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan keceriaannya selama ini.
9. Adik-adik kimia angkatan 2006, 2005, 2007 yang telah memberikan dukungan.
10. Asisten lab kimia fisik, mbak ina dan mbak cucu, yang telah banyak membantu selama ini.
11. Asisisten lab afiliasi, yang selama ini telah banyak membantu dan mengajarkan instrumen.

Pada skripsi ini penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan, namun dengan usaha dan kesungguhan penulis serta dukungan moril maupun saran-saran dari berbagai pihak skripsi ini dapat terselesaikan. Akhirul kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Penulis

2009

## ABSTRAK

Perkembangan industri yang sangat pesat belakangan ini memberikan kontribusi yang berarti bagi manusia. Walaupun memberikan kontribusi yang sangat penting, namun di lain pihak memberikan sisi negatif yaitu limbah. Hasil samping atau buangan dari industri akan menghasilkan permasalahan yang serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu limbah yang sulit terdegradasi adalah fenol. Metode yang paling sering digunakan untuk pendegradasian fenol adalah teknik oksidasi dan adsorpsi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggantian adsorben terhadap proses adsorpsi dan perbedaan sistem kontinyu dengan sistem *batch*. Hasil yang didapat pada sistem batch adalah persen konversi adsorpsi fenol dalam NaCl 1 % adalah 15.94 %, teknik oksidasi dengan 6 V adalah 99.87 %, teknik kombinasi 99.63 %. Kondisi optimum untuk sistem semi- kontinyu adalah waktu alir 240 menit, persen konversi fenol adalah 81.2 % dan limbah fenol 65.46 %, Penurunan COD limbah fenol sebesar 97.16 %

Kata Kunci : adsorpsi, arang kayu gelam, fenol, oksidasi elektrokimia, elektrolit, limbah

X + 109 ; gbr;tab;lamp

Bibliografi :39 (1991-2009)

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Arang .....	7
2.1.1 Sejarah Arang .....	7
2.1.2 Sumber Arang Aktif .....	11
2.1.3 Proses Pembuatan Arang Aktif .....	11
2.2 Fenol.....	14
2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia .....	14
2.2.2 Sifat Racun.....	14
2.3 Adsorpsi.....	15
2.3.1 Adsorpsi Fisika .....	17
2.3.2 Adsorpsi Kimia .....	18

2.4	Isoterm Adsorpsi .....	19
2.4.1	IsotermFreudlich .....	19
2.4.2	IsotermLangmuir.....	20
2.5	Elektrokimia dan Elektroanalisis .....	21
2.5.1	Sel Volta dan Sel Elektrolisa .....	22
2.5.2	Distribusi Muatan Pada Antar Muka.....	23
2.5.3	Elektroda .....	24
2.5.4	Elektrolit .....	26
2.6	Spektrofotometri UV-Vis .....	27
2.7	FTIR.....	29
2.8	COD.....	31
<b>BAB III</b>	<b>RANCANGAN PERCOBAAN .....</b>	<b>32</b>
3.1	Alat.....	33
3.2	Bahan.....	34
3.3	Cara Kerja.....	35
3.3.1	Pembuatan Larutan Pereaksi.....	36
3.3.2	Arang .....	36
3.3.3	Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol.....	36
3.3.4	Uji Pendahuluan Voltametri.....	37
3.3.5	Sistem Batch.....	38
3.3.5.1	Teknik Oksidasi.....	38



3.3.5.1.1 Penentuan Potensial Oksidasi	
Optimum.....	38
3.3.5.1.2 Penentuan Optimum Konsentrasi	
Elektrolit .....	38
3.3.5.2 Teknik Adsorpsi.....	39
3.3.5.3 Teknik Kombinasi	
Adsorpsi dan Oksidasi.....	41
3.3.5.4 Penentuan	
Isoterm Adsorpsi .....	42
3.4.6 Sistem Semi- Kontinu .....	41
3.4.6.1 Waktu Optimum Larutan Fenol.....	42
3.4.6.2 Limbah Fenol.....	43
3.4.6.2.3 COD.....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Penentuan Serapan Maksimum	
Senyawa Fenol.....	46
4.2 Uji Pendahuluan Menggunakan	
Voltametri Siklik.....	48
4.3 Sistem Batch.....	50
4.3.1 Teknik Oksidasi Elektrokimia .....	50
4.3.2 Penentuan Potensial Optimum.....	51
4.3.3 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum .....	55

4.3.4	Adsorpsi.....	56
4.3.5	Teknik Kombinasi .....	58
4.3.6	Perbandingan ketiga Teknik .....	62
4.3.7	Penentuan Isoterm Adsorpsi .....	63
4.4	Sistem Semi- Kontinyu.....	69
4.4.1	Fenol dalam NaCl.....	69
4.4.2	Limbah.....	71
4.5	COD Limbah.....	73
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>75</b>
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>77</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lapisan Ganda Listrik Pada Antar Muka.....	24
Gambar 2.2	Skema Alat UV-Vis.....	29
Gambar 2.3	Prinsip Spektrofotometer Infra Merah .....	30
Gambar 4.1	Kurva Kestabilan Warna.....	46
Gambar 4.2	Kurva panjang gelombang maksimum.....	47
Gambar 4.3	Warna komplemen.....	47
Gambar 4.4	Kurva Voltametri Siklik larutan Fenol.....	49
Gambar 4.5	Reaksi Degradasi Fenol .....	50
Gambar 4.6	Kurva konsentrasi sisa pada Variasi Volt .....	52
Gambar 4.7	Perubahan Warna Larutan.....	53
Gambar 4.8	Kurva Elektrolit terhadap Persen Konversi.....	55
Gambar 4.9	Kurva Konsentrasi Fenol Teknik Adsorpsi.....	57
Gambar 4.10	Kurva Konsentrasi Fenol Teknik Kombinasi.....	59
Gambar 4.11	Kurva perbandingan ketiga teknik.....	63
Gambar 4.12	Kurva Isoterm Fenol dalam Aquadest .....	66
Gambar 4.13	Kurva Isoterm Fenol dalam NaCl.....	68
Gambar 4.14	Kurva Persen Konversi pada Sistem semi Kontinyu.....	69
Gambar 4.15	Kurva Konsentrasi Fenol Pada Limbah.....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penggunaan Arang Aktif.....	10
Tabel 4.1	Perbandingan Persen Konversi Adsorpsi dan Kombinasi 2.....	60



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data FTIR Arang Kayu Gelam.....	84
Lampiran 2. Reaktor.....	85
Lampiran 3. Kurva Standar.....	86
Lampiran 4. Data Kestabilan Warna	
Reaksi Fenol dan 4 -amino antipirin.....	92
Lampiran 5. Data Penentuan Potensial Optimum.....	93
Lampiran 6. Data Penentuan Konsentrasi Optimum Elektrolit.....	94
Lampiran 7. Data penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi.....	95
Lampiran 8. Data Teknik Kombinasi.....	96
Lampiran 9. Data Isoterm Adsorpsi Fenol dalam NaCl.....	97
Lampiran 10. Data Isoterm Adsorpsi Fenol dalam Aquadest.....	98
Lampiran 11. Data Sistem Semi-kontinyu 195 menit.....	99
Lampiran 12. Data Sistem Semi-kontinyu 240 menit.....	100
Lampiran 13. Data Sistem Semi-kontinyu 315 menit.....	101
Lampiran 14. Data Sistem Semi-kontinyu 330 menit.....	102
Lampiran 15. Data Sistem Semi-kontinyu Limbah Fenol.....	103
Lampiran 16. Data Penentuan COD Limbah.....	104
Lampiran 17. Keterangan Tabel .....	105
Lampiran 18. Data Penentuan Panjang Gelombang.....	106
Lampiran 19. Skema Kerja.....	107

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri yang sangat pesat beberapa dekade belakangan ini memberikan kontribusi yang sangat penting bagi peradaban manusia. Perkembangan tersebut memberikan banyak kemudahan dan keuntungan bagi kehidupan manusia. Walaupun memberikan keuntungan yang cukup besar, tetapi di lain pihak perkembangan industri yang sangat pesat ini memberikan sisi negatif yang terkadang tidak disadari oleh manusia. Hasil samping atau buangan dari industri yang dihasilkan dapat menimbulkan permasalahan yang serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Limbah merupakan hasil samping atau buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri besar maupun industri rumah tangga, yang tidak dikehendaki dan membahayakan bagi lingkungan dan makhluk hidup yang ada disekitarnya.<sup>1</sup> Dampak yang dihasilkan oleh limbah atau zat pencemar sangat bergantung pada jenis dan karakteristik dari limbah, serta toksisitasnya. Oleh karena itu, limbah yang dihasilkan dari proses produksi sebelum dilepaskan ke lingkungan harus diproses dengan baik untuk menghilangkan toksisitasnya.

Salah satu cara yang sering digunakan industri untuk melepaskan limbahnya adalah membuang ke perairan, terutama bila limbah yang dihasilkan berupa cairan dan padatan. Ketika limbah atau bahan pencemar

dilepaskan ke dalam perairan, maka akan menyebabkan dampak negatif bagi manusia. Hal tersebut disebabkan karena, air merupakan komponen yang memiliki peranan yang sangat besar bagi makhluk hidup. Akumulasi bahan pencemar didalam tubuh manusia, tidak hanya berasal dari konsumsi air secara langsung, tetapi dapat berasal dari hewan atau tanaman yang tercemar dan dikonsumsi oleh manusia. Proses akumulasi bahan pencemar karena proses tersebut dinamakan biomagnifikasi.<sup>1</sup>

Salah satu limbah organik yang dihasilkan dari proses industri dan rumah tangga adalah fenol. Fenol merupakan salah satu komponen buangan industri yang dapat berasal dari industri gas batu bara, *fibre glass*, penyulingan minyak bumi, cat, tekstil, keramik, plastik, formaldehida, industri minyak tanah atau industri rumah tangga, yang berasal dari proses yang menggunakan fenol sebagai bahan dasar.<sup>3,4,5</sup> Industri pembuatan pembersih lantai memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap peningkatan fenol di lingkungan.

Keberadaan fenol didalam lingkungan menjadi perhatian selama ini karena fenol merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik bagi manusia , sangat beracun, sulit terdegradasi di alam, dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan meskipun dengan kadar yang rendah. Fenol bila terakumulasi didalam tubuh dapat menyebabkan fungsi ginjal dan lambung terganggu, perapuhan tulang, penurunan tekanan darah, pelemahan detak jantung, hingga kematian. Keberadaan fenol didalam lingkungan perairan akan menurunkan kualitas air dan memberikan efek negatif bagi makhluk

hidup. Konsentrasi senyawa fenol di perairan diatas 2 mg/L akan bersifat racun bagi ikan dan bila konsentrasinya antara 10 dan 100 mg/L dapat menyebabkan kematian lingkungan aquatik dalam waktu 96 jam.<sup>3</sup>

Konsentrasi standar maksimal yang ditetapkan oleh Depkes. RI untuk fenol adalah 0,001 mg/l sebagai konsentrasi maksimal yang dianjurkan dan 0,002 mg/l untuk konsentrasi maksimal yang diperbolehkan.<sup>2,6</sup>

Fenol dalam air limbah biasanya terdiri dari berbagai jenis senyawa hidroksi benzena dan benzena tersubstitusi seperti: resorsinol, katekol, o-kresol, m-kresol, p-kresol, pirogalol dan xilenol. Banyak teknologi yang telah diterapkan untuk mengurangi kadar fenol di lingkungan seperti ekstraksi, adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif, oksidasi secara kimiawi, dan biodegradasi.

Salah satu cara yang banyak digunakan untuk mengurangi kandungan bahan organik pada air adalah melalui cara adsorpsi dengan menggunakan arang aktif. Berdasarkan data badan perlindungan lingkungan Amerika Serikat (U.S EPA), metode adsorpsi dengan arang aktif merupakan metode yang terbaik dalam menghilangkan polutan organik. Pada metode tersebut arang aktif digunakan sebagai adsorben limbah fenol. Arang aktif banyak dipilih sebagai adsorben karena memiliki energi adsorpsi yang rendah, luas permukaan spesifik tinggi, tidak berasa, tidak beracun, dapat diregenerasi kembali, lebih ramah lingkungan dan mempunyai distribusi pori-pori yang merata. Arang aktif mempunyai kemampuan yang cepat dalam mengadsorpsi baik zat organik maupun zat anorganik. Kualitas dari arang aktif sangat dari



bahan dasar yang digunakan, cara pembuatannya, dan pengaktif yang digunakan selama proses pembuatan.

Metode lain yang sering digunakan untuk mendekomposisi sempurna senyawa organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  adalah teknik elektrokimia. Teknik elektrokimia banyak digunakan untuk mendegradasi limbah fenol karena prosesnya lebih praktis dan dapat digunakan langsung di tempat limbah itu berada. Teknik elektrokimia akan menghasilkan pendegradasian fenol yang cukup efisien. Kelemahan teknik elektrokimia ini adalah dibutuhkan luas permukaan yang spesifik dari elektroda karena terjadi reaksi transfer elektron. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut maka dilakukan kombinasi teknik elektrokimia dan adsorpsi konvensional dengan arang. Teknik kombinasi adsorpsi karbon aktif dan oksidasi elektrokimia telah dicoba secara simultan dan dilaporkan dapat meningkatkan efisiensi penurunan konsentrasi senyawa fenol yang dilakukan oleh Lenta Simanjuntak.

Pada penelitian ini digunakan arang yang terbuat dari kayu gelam sebagai adsorben. Arang ini digunakan karena memiliki daya hantar yang cukup baik dan harganya lebih terjangkau dibandingkan dengan karbon aktif. Penggunaan arang ini juga ditujukan untuk memanfaatkan potensi hasil alam yang dimiliki oleh Indonesia.

Pada penelitian ini dibuat suatu *prototipe* reaktor skala industri dalam laboratorium dengan harapan dapat diimplementasikan pada skala industri. Pada penelitian ini akan diamati kondisi optimum untuk sistem *batch* maupun sistem semi-kontinu, antara lain: jumlah arang, laju alir,

waktu alir, potensial listrik dan konsentrasi larutan elektrolit optimum.

## 1.2 Rumusan Masalah

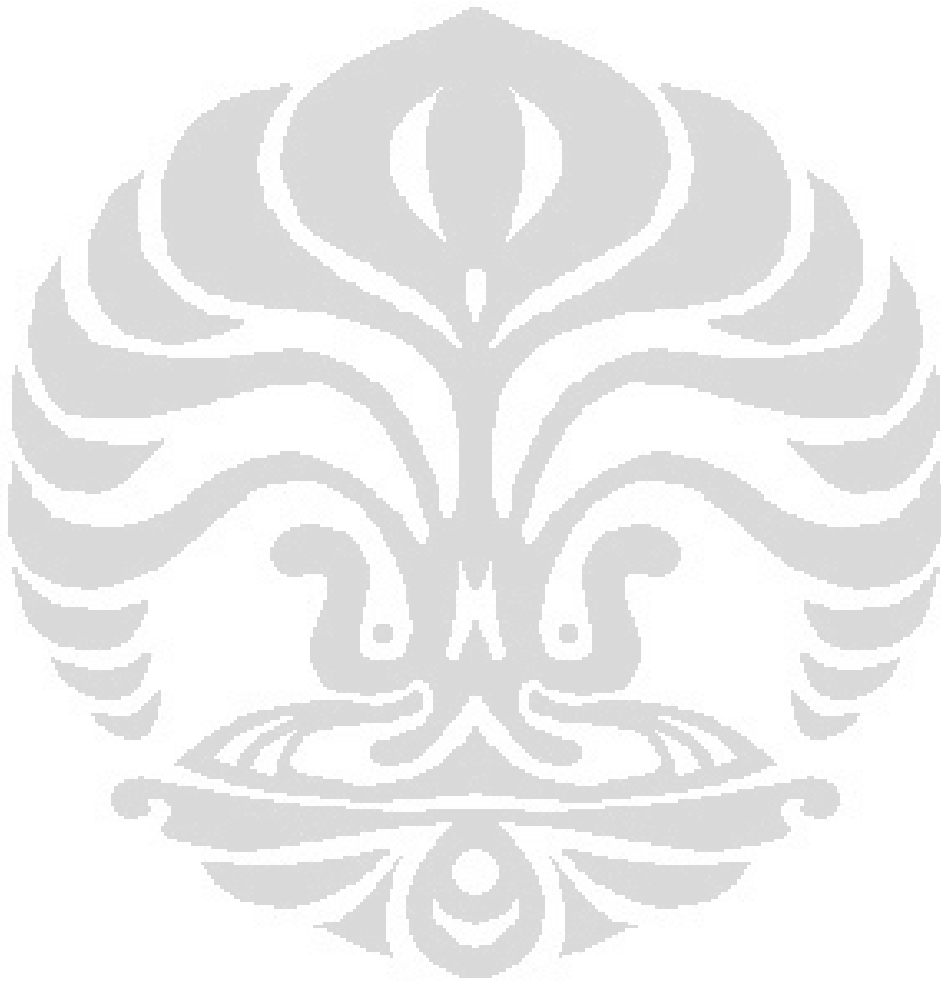
Penelitian ini merupakan penelitian degradasi limbah fenol dengan menggunakan sistem semi-kontinyu menggunakan teknik kombinasi adsorpsi arang dan oksidasi elektrokimia. Pada penelitian sebelumnya telah dicoba secara simultan dan dilaporkan dapat meningkatkan efisiensi penurunan konsentrasi senyawa fenol dengan menggunakan sistem *batch*. Penggunaan sistem *batch* dalam skala industri tidak efisien, oleh karenanya dibuat suatu *prototipe* reaktor skala industri dalam laboratorium dengan harapan dapat diimplementasikan pada skala industri. Pada sistem semi-kontinyu akan ditentukan degradasi fenol serta penurunan COD limbah fenol.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

- Menentukan daya adsorpsi arang yang terbuat dari kayu Gelam serta efektifitasnya dalam teknik kombinasi.
- Menentukan penurunan konsentrasi fenol dengan sistem *batch* dan sistem semi-kontinyu, dalam teknik kombinasi.
- Mengaplikasikan penanganan limbah fenol dengan teknik kombinasi adsorpsi arang dan teknik elektrokimia menggunakan prototipe reaktor.

- Mengetahui penurunan COD limbah dengan menggunakan teknik semi-kontinyu.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Arang**

##### **2.1.1 Sejarah Penggunaan Arang aktif**

Pada tahun 1811, Dehlke seorang sarjana dari Jerman menemukan bahwa arang aktif dapat digunakan sebagai penyaring yang sangat berguna untuk pengolahan air minum.<sup>2</sup> Dalam perkembangannya penggunaan arang aktif semakin luas. Pada tahun 1910 di Inggris arang aktif digunakan untuk menghilangkan adanya klor yang menyebabkan bau dan rasa dalam air minum. Pada sekitar tahun 1900 arang digunakan secara komersial menjadi dua buah produk penting, yaitu dalam bentuk eponite dan norit. Pada tahun 1913, Westvaco Corp. telah memproduksi karbon aktif di Amerika Serikat dengan merek Filtchar, yang menggunakan hasil sampingan dari pembuatan kertas. Pada abad XV, diketahui bahwa arang aktif dapat dihasilkan melalui dekomposisi kayu dan dapat digunakan sebagai adsorben warna pada larutan.

Tonggak sejarah dari perkembangan produksi arang aktif adalah pada 1915, pada tahun tersebut terjadi perang dunia I dan diperlukan masker pelindung gas, maka digunakanlah arang yang terbuat dari tempurung kelapa sebagai adsorben untuk melindungi dari gas-gas beracun. Dalam

perkembangannya, arang aktif digunakan untuk penyulingan gula bit dan sirup jagung, serta pemurniaan air.<sup>7</sup>

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Arang telah dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi, sehingga pori-porinya terbuka dan akan mempunyai daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fase cair maupun dalam fase gas disebut sebagai arang aktif.<sup>8</sup> Arang aktif mempunyai warna hitam, tidak berasa dan tidak berbau, berbentuk bubuk dan granular, mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arang yang belum mengalami proses aktivasi.

Arang aktif merupakan senyawa karbon amorph, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan pemrosesan untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Permukaan adsorpsi atau penyerapan dapat mencapai 300-3500 cm<sup>2</sup>/gram.<sup>8</sup>

Arang aktif memiliki daya adsorpsi yang selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat arang aktif. Didalam arang aktif terdapat kandungan silika (SiO<sub>2</sub>), karbon, kadar air dan kadar debu. Unsur silika merupakan bahan yang keras dan tidak mudah larut dalam air. Oleh karenanya, unsur inilah yang bersifat sebagai pembersih partikel yang terkandung dalam air keruh sehingga diperoleh air yang jernih.<sup>2</sup>

Arang aktif dapat digunakan sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Arang aktif sebagai pemucat, biasanya berbentuk powder yang sangat halus, diameter pori mencapai  $1000 \text{ \AA}$ , digunakan dalam fase cair, berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan, membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu dan kegunaan lain yaitu pada industri kimia. Arang aktif sebagai pemucat ini terbuat dari serbuk-serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah.

Sedangkan arang aktif sebagai penyerap uap, biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras diameter pori berkisar antara 10-200  $\text{\AA}$ , tipe pori lebih halus, digunakan dalam fase gas. Arang jenis ini biasanya terbuat dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai bahan baku yang mempunyai struktur keras. Beberapa kegunaan arang aktif tertera dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penggunaan arang aktif

No	Pemakai	Kegunaan	Mesh
1	Industri Obat dan makanan	Menyaring, penghilang bau dan rasa	325
2	Kimia Perminyakan	Penyulingan bahan mentah	4x8, 4x12, 8x30
3	Pembersih air	Penghilang warna, bau penghilangan resin	4x8, 4x12
4	Budi daya udang	Pemurnian, penghilangan ammonia, nitrit, fenol dan logam berat	
5	Industri gula	Penghilang zat warna, proses penyaringan menjadi lebih sempurna	4x8, 4x12

Arang aktif sangat efektif untuk adsorpsi racun alami maupun racun sintetik. Beberapa studi menunjukkan bahwa arang aktif sangat efektif untuk menghilangkan beragam mycotoxins, seperti aflatoxin, fumonisin, ochratoxin A, trichothenes, and zearalenone. Racun alami yang terdapat pada tanaman juga dapat dihilangkan dengan arang aktif. Selain itu pula, arang aktif juga dapat menghilangkan pestisida yang terdapat pada hewan, yang mungkin terdapat pada susu dan dagingnya.<sup>8,9</sup>

Penggunaan arang aktif pada zaman dahulu adalah sebagai *gunpowder*. Dikarenakan dapat bertindak sebagai absorben, arang aktif digunakan sebagai penyaring dan pengadsorpsi bahan kimia seperti klorin yang terdapat di dalam air minum. Metode penyaringan air dengan menggunakan arang aktif telah banyak digunakan oleh banyak negara yang mengalami krisis dengan air bersih. Keberadaan arang aktif telah banyak menyelamatkan banyak kehidupan diberbagai belahan dunia.<sup>10</sup>

### 2.1.2 Sumber Arang Aktif

Dasar pemilihan bahan baku dari karbon aktif yang paling menentukan adalah besar kandungan karbon pada bahan tersebut. Arang aktif paling banyak diproduksi dari material organik yang kaya akan karbon. Bahan baku arang aktif dapat berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, limbah ataupun mineral yang mengandung karbon, antara lain: tulang, kayu lunak, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras dan batubara. Dasar pemilihan dari bahan baku yang digunakan adalah kemampuan, biaya dan kemurniaannya.<sup>7</sup>

### 2.1.3 Proses Pembuatan Arang Aktif

Proses pembuatan arang aktif akan sangat menentukan sifat fisika dan kimia dari arang aktif tersebut. Proses pembuatan arang aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:<sup>7</sup>

#### ► Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses penghilangan air, dimana bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170 °C. Pemanasan pada suhu 170 °C bertujuan untuk menguapkan kandungan air pada bahan baku.



► Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Pemanasan diatas 170 °C akan menghasilkan CO, CO<sub>2</sub> dan asam asetat. Pada temperatur 275 °C, dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400 – 600 °C.

► Aktivasi

Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul- molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan, baik fisika maupun kimia, luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Dapat dilakukan dengan menggunakan uap atau CO<sub>2</sub> sebagai aktifator.

Proses aktifasi itu sendiri terbagi menjadi :

➤ Aktivasi kimia

Pada proses aktivasi ini, bahan dasar dikarbonisasi setelah ditambahkan suatu bahan, yang akan membatasi terbentuknya tar. Aktivator ditambahkan untuk membebaskan pori setelah dikarbonasi. Aktivator berfungsi untuk meminimalkan jumlah fase cair dan meningkatkan karbon yang akan dihasilkan pada produk.<sup>7</sup> Aktifator yang digunakan adalah hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl<sub>2</sub> , asam-asam anorganik seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> . Arang aktif

sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap dapat dibuat melalui aktivasi kimia.

➤ Aktivasi fisika

- Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pemanasan bahan dasar, tanpa disertai udara. Tujuan utama proses ini adalah untuk mengurangi komponen *volatile* pada material yang digunakan sebagai bahan baku, sehingga akan menghasilkan bentuk yang sesuai untuk aktivasi. Pada akhir proses akan dihasilkan karbon sebesar 80%. Hampir sebagian besar elemen non-karbon, seperti hydrogen dan oxygen, akan menguap dalam fase gas dan akan menghasilkan atom karbon yang bebas.

- Aktivasi dengan gas

Pada metode aktivasi ini akan dihasilkan arang aktif yang memiliki kapasitas adsorpsi yang besar. Agen pengaktivasi yang sering digunakan pada metode ini adalah uap, karbon dioksida, dan oksigen. Oksidasi dengan udara pada temperatur rendah jarang digunakan karena reaksinya adalah reaksi eksoterm sehingga sulit untuk mengontrolnya. Sedangkan pemanasan dengan uap atau CO<sub>2</sub> pada temperatur tinggi merupakan reaksi endoterm, sehingga lebih mudah dikontrol dan paling banyak digunakan.

## 2.2 Fenol

### 2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia

Fenol atau yang memiliki nama lain Hidroksibenzena, benzenol, fenil alkohol, merupakan senyawa organik yang memiliki gugus hidroksil yang tersubstitusi pada inti aromatik. Fenol pada temperatur ruang memiliki bentuk kristal jarum yang tidak berwarna, bau khas aromatik, jika tidak murni atau terkena cahaya akan terjadi perubahan warna menjadi merah jambu atau merah (yang dipercepat dalam keadaan basa). Senyawa ini memiliki berat molekul 94, 11 (g/mol), titik leleh 40-42 °C, dan titik didih 185 °C. Fenol memiliki kelarutan sebesar 8,3 g/100 mL air pada temperatur 20 °C. Fenol dikenal juga sebagai asam karbolik yang memiliki keasaman yang lebih lemah dibandingkan dengan asam asetat, pKa sebesar 9,95.<sup>38</sup> Biasanya fenol diperdagangkan dengan mutu teknik yang masih mengandung berbagai zat pengotor yang menaikkan suhu leburnya. Fenol dapat larut dalam air, etanol, eter, gliserol, karbondisulfida, kloroform, minyak atsiri, minyak lemak, alkali dan vaselin, tetapi tidak larut dalam eter minyak tanah.<sup>2</sup>

### 2.2.2 Sifat Racun

Limbah fenol merupakan salah satu limbah organik yang beracun dan termasuk kedalam kategori B3 (Bahan Berbahaya Beracun). Senyawa fenol mudah di absorpsi dan bahkan memiliki efek toksik juga dapat terjadi melalui

sentuhan dengan kulit utuh. Sekitar 80 % dari zat kimia ini, diekskresikan melalui ginjal baik sebagai zat aktif maupun sebagai glukuronid atau sulfat. Fenol akan memberikan dampak yang buruk bila masuk kedalam tubuh manusia karena fenol merupakan racun protoplasma (sel-sel darah) atau bersifat racun terhadap sel-sel lainnya. Larutan fenol dengan kepekatan 10% sangat korosif dan menimbulkan nekrosis kulit.

Infeksi fenol dapat menyebabkan trombosis vena, neurolisis kimiawi, gangguan motoris berupa gangguan otak. Keracunan fenol dapat terjadi bila tertelan. Dosis fatal rata - rata lebih kurang 15 g, tetapi pernah terjadi kematian disebabkan karena dosis sebesar 1 g. Keracunan fatal dapat juga terjadi karena serapan melalui kulit disebabkan karena penggunaan lokal topikal pada lokasi yang cukup luas. Jika terkena mata maka fenol akan menyebabkan iritasi, kornea berwarna putih. Sedangkan Efek sistemik pada umumnya terdapat nyeri kepala, diare, lemah, pusing, penglihatan kabur, nyeri abdomen, muntah dan panas. Gejala-gejala tersebut dapat terjadi sampai 6 hari setelah pemaparan.

### **2.3 Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan terjerapnya suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben dan gejala pengumpulan molekul-molekul dari suatu zat pada permukaan atau antarmuka dari zat yang melakukan kontak karena adanya gaya van der waals. Materi atau partikel yang diadsorpsi disebut

adsorbat, sedang bahan yang berfungsi sebagai pengadsorpsi disebut adsorben. Adsorpsi terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padat tersebut.<sup>11</sup>

Adsorpsi terjadi karena setiap molekul pada permukaan mempunyai energi yang besar sehingga membentuk tegangan permukaan, akibatnya molekul pada permukaan mempunyai energi bebas yang lebih besar dibandingkan dengan molekul dibawah permukaan. Molekul pada permukaan selalu berusaha mendapatkan energi bebas serendah mungkin, maka permukaan akan menyerap fasa yang tegangan permukaannya lebih rendah untuk menurunkan energi bebasnya. Molekul dan atom dapat menepel pada permukaan dengan dua cara yaitu fisisorpsi dan kimisorpsi.

Kapasitas adsorpsi bergantung pada jenis karbon dan zat terlarutnya. Struktur molekul, kelarutan, dan semuanya mempengaruhi terhadap kemampuan adsorpsi. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam limbah cair sangat kompleks dan kemampuan adsorpsi untuk senyawa-senyawa tersebut bervariasi. Pada limbah proses adsorpsi terjadi secara fisika dan kimia. Namun hal tersebut tidak mempengaruhi analisa yang akan dilakukan. Struktur molekul, kelarutan dan sebagainya, semuanya mempengaruhi terhadap kemampuan adsorpsi. Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch*, dimana terjadi kontak yang konstan antara adsorben dan adsorbat.

2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penjerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada di dalam media penyerap.

Semakin kecil ukuran butir maka semakin besar permukaannya, sehingga dapat menjerap kontaminan semakin banyak. Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukan oleh kecepatan difusi zat terlarut ke dalam pori-pori partikel adsorben. Ukuran partikel yang baik untuk proses penjerapan antara -100 / +200 mesh.

Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk diadsorpsi. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam mikropori sehingga membuat area permukaan yang tersedia untuk mengadsorpsi menjadi sia-sia karena bentuk molekul yang tidak beraturan dan pergerakan molekul yang konstan. Pada umumnya molekul yang lebih dapat menembus kapiler yang ukurannya lebih kecil juga.<sup>17</sup>

### **2.3.1 Adsorpsi Fisika**

Pada Fisorpsi terjadi antaraksi van der waals antara adsorbat dan adsorben. Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah dan pada proses ini gaya yang menahan molekul cairan pada permukaan padatan relatif lemah, dan besarnya sama dengan

gaya kohesi molekul pada fase cair (gaya van der Waals) dan mempunyai besar yang sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair, yaitu sekitar 2.19-21.9 kJ/mol.

Keseimbangan antara permukaan padatan dengan molekul cairan biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel. Keadaan reversibel ini terjadi karena ikatan antara adsorben dan adsorbat lemah.

Adsorpsi ini terjadi pada temperatur dan energi yang rendah. Material yang teradsorpsi dapat dengan mudah terdesorpsi bila dalam keadaan vakum atau suhu dinaikkan. Salah satu contoh dari fisisorpsi adalah adsorpsi nitrogen pada karbon aktif.<sup>7</sup>

### **2.3.2 Adsorpsi Kimia**

Pada kimisorpsi, adsorbat akan mengalami interaksi kimia dengan adsorben. Terjadi pertukaran elektron antara permukaan adsorbat dan adsorben. Kimisorpsi spesifik dan terjadi bergantung dari sifat asal adsorbat dan adsorben pada permukaannya. Adsorpsi ini melibatkan gaya yang jauh lebih besar, temperatur tinggi, kekuatan ikatan lebih kuat dan terbentuk ikatan kimia di dalamnya. Panas yang dilibatkan sama dengan panas reaksi kimia.

Adsorpsi fisika memiliki energi yang lebih rendah yaitu berkisar 5-10 kJ/mol adsorbat dibandingkan dengan adsorpsi kimia yaitu 10-100 kJ/mol adsorbat. Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom

dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh adsorbent sehingga efektifitasnya berkurang.

## 2.4 Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi dalam sistem padat-cair akan menghasilkan pengurangan *solute* dari larutan dan akan menghasilkan kesetimbangan dinamik yang terjadi antara konsentrasi adsorbat pada permukaan dan pada larutan. Pada keadaan kesetimbangan, terjadi distribusi yang setimbang antara adsorbat pada fase cair dan padatan. Rasio distribusi merupakan ukuran kesetimbangan pada proses adsorpsi.<sup>7</sup> Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan temperatur tetap.

### 2.4.1 Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan *site* bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap *site*, dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda.<sup>7</sup>

Persamaan untuk Isoterm Adsorpsi Freundlich dapat ditulis sebagai berikut::



$$\frac{x}{m} = KC^{1/n}$$

Dimana :  $x/m$  = jumlah dari adsorbat yang diserap per unit berat dari adsorben (mg/mg)

$K$  = konstanta Freundlich

$C$  = konsentrasi adsorbat dalam larutan pada saat kesetimbangan (mg/L)

$1/n$  = ketidaklinearan (tanpa satuan)

#### 2.4.2 Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan isoterm yang paling sederhana karena hanya didasarkan pada asumsi bahwa setiap tempat adsorpsi adalah ekuivalen, dan kemampuan partikel untuk terikat di tempat itu tidak bergantung pada ditempati atau tidaknya tempat yang berdekatan.<sup>11</sup> Isoterm adsorpsi ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat dipermukaan adsorben dan tempat adsorpsi bersifat homogen.<sup>12</sup> Pada isoterm ini juga terjadi kesetimbangan dinamik antara molekul adsorbat dan molekul gas bebas.

Persamaan untuk Isoterm Adsorpsi Langmuir dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{X}{m} = \frac{k_1 \cdot C}{1 + k_2 \cdot C}$$

Dimana :  $X$  = Jumlah adsorbat pada permukaan (mg, g)  
 $m$  = Jumlah adsorben (mg, g)  
 $k_1, k_2$  = konstanta  
 $C$  = konsentrasi pada kesetimbangan

## 2.5 Elektrokimia dan Elektroanalisis

Elektrokimia adalah cabang dari ilmu kimia yang mempelajari reaksi kimia yang disebabkan adanya pengaruh energi listrik dan produksi energi listrik karena adanya reaksi kimia atau reaksi yang terjadi pada permukaan penghantar listrik ( elektroda yang terbuat dari logam, semikonduktor, maupun grafit) dan penghantar ion (elektrolit) yang melibatkan energi listrik. Reaksi elektrokimia melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi pada elektroda yang berbeda dengan cara menghubungkannya dengan kawat sebagai penghantar ion.

Metode elektrokimia digunakan untuk menganalisis suatu sample dengan cara mengukur potensial, arus, hambatan, dan menghubungkan ketiganya dengan suatu analit. Sinyal yang dihasilkan berasal dari reaksi

oksidasi dan reduksi yang terjadi pada permukaan katoda. Pada elektrokimia terdapat dua macam sel, yaitu: sel volta dan sel elektrolisis.<sup>13</sup>

### 2.5.1 Sel Volta dan Sel Elektrolisis

Sel volta pertama kali dikembangkan oleh Alessandro Volta (1745-1827) dan Luigi Galvani (1737-1798). Dalam sel volta, reaksi redoks akan menghasilkan arus listrik. Dengan perkataan lain, energi kimia akan diubah menjadi energi listrik. Reaksi redoks pada sel volta berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi listrik dari luar.

Sel elektrolisis dikembangkan oleh Sir Humphry Davy (1778-1829) dan Michael Faraday (1791-1867). Dalam sel elektrolisis, energi listrik yang dialirkan akan menghasilkan energi kimia. Arus listrik digunakan untuk memaksa berlangsungnya reaksi redoks yang tidak spontan, yaitu dengan menguraikan elektrolit menjadi unsur-unsurnya.

Seperti halnya sel volta, sel elektrolisis pun memerlukan elektroda-elektroda. Pada sel elektrolisis, yang sering digunakan adalah elektroda inert berupa dua batang karbon atau platina.

Suatu elektroda inert tidaklah bereaksi, melainkan hanya menyediakan permukaannya sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Masing-masing batang elektroda itu bertindak sebagai katoda dan anoda.<sup>13</sup>

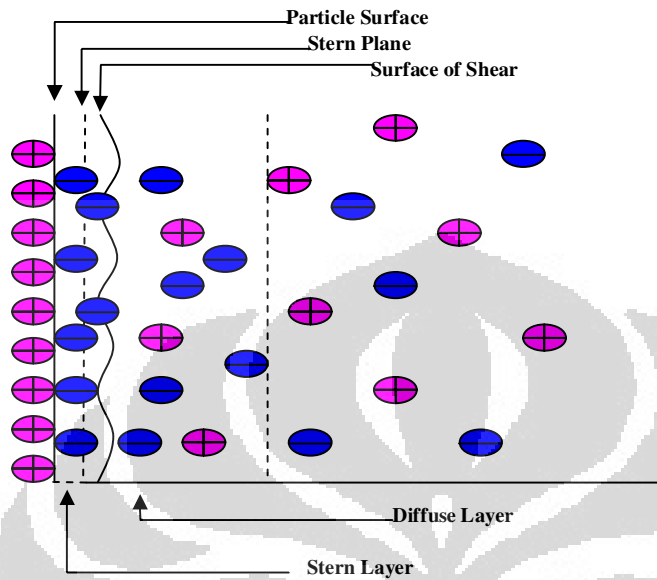
### 2.5.2 Distribusi Muatan pada Antar Muka

Struktur *double layer* pada sel elektrolisis dapat mempengaruhi perpindahan elektron dari permukaan elektroda kepada ion-ion dalam elektrolit. Perbedaan potensial sepanjang daerah antar muka antara elektroda dengan larutan yang mengelilinginya timbul karena perbedaan muatan yaitu pada antar muka satu bermuatan positif, sedangkan pada antar muka lain bermuatan negatif.

Jika elektron meninggalkan elektroda menuju larutan maka elektroda menjadi bermuatan relatif positif, sedangkan larutan menjadi relatif negatif. Model yang terbentuk akibat distribusi muatan diatas merupakan selapis muatan positif pada permukaan elektroda dan selapis muatan pada permukaan larutan yang disebut selapis ganda listrik yang diajukan oleh Helmholtz.

Model ini, menganggap bahwa sisi larutan dari sistem lapis ganda terdiri dari beberapa lapis. Model ini mengabaikan efek gangguan gerakan termal yang cenderung merusak bidang muatan tersebut.

Model Gouy-Chapman merupakan suatu distribusi muatan pada bidang datar. Model ini menggambarkan perbedaan jarak kation dan anion dari elektroda yang disebabkan oleh potensial dan konsentrasi elektrolit. Hal yang terpenting dalam model lapis ganda pada antar muka ini adalah perubahan potensial yang terjadi sesuai jarak muatan terhadap elektroda yang mempengaruhi kecepatan perpindahan.<sup>14</sup>



Gambar 2.1. Lapisan Ganda Listrik Pada Antar Muka <sup>14</sup>

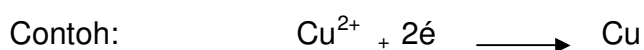
### 2.5.3 Elektroda

Elektoda adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia.

Pada rangkaian sel elektrokimia, elektroda terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

#### ☀ Katoda

Katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, dimana didalamnya terjadi penangkapan elektron.



### ⊕ Anoda

Anoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi sehingga akan terjadi pelepasan elektron dari larutan ke elektroda selama reaksi berlangsung.



Selain elektroda diatas, terdapat juga elektoda yang lain, seperti:

#### ✓ Elektoda Pembanding

Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya cukup konstan dan dipakai sebagai elektroda standar terhadap potensial elektroda lainnya didalam sel elektrokimia. Nilai dari elektroda ini adalah konstan, sehingga setiap perubahan potensial pada elektroda pembanding dianggap berasal dari elektroda kerja. Fungsi elektroda ini adalah sebagai penstabil beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia. Syarat yang harus dimiliki oleh elektroda pembanding adalah stabil terhadap waktu dan temperatur, dapat digunakan berulang kali, tidak terpolarisasi, dan pembuatannya mudah.

Contoh elektroda pembanding adalah *elektroda Ag/AgCl, Hg/HgCl<sub>2</sub>, standar calomel electrode (SCE), sandar hydrogen electrode (SHE), atau pseudo-reference (kawat Pt, Ag).*<sup>15,16</sup>

#### ✓ Elektroda Kerja

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati. Elektroda kerja harus menghasilkan transfer elektron yang cepat dengan spasi elektroaktif. Elektroda ini umumnya terbuat dari logam, bahan semikonduktor dan karbon.

Elektroda logam yang biasanya digunakan adalah platina, timbal, emas, perak maupun elektroda cair merkuri tetes. Sedangkan elektroda semikonduktor yang biasanya digunakan adalah Si dan Ga. Elektroda karbon terdiri atas beberapa jenis yaitu karbon *pasta glassy carbon* dan grafit.<sup>15,16</sup>

#### ✓ Elektroda Pendukung

Elektroda pendukung adalah elektroda yang tidak mempunyai pengaruh terhadap reaksi yang terjadi pada elektroda kerja. Elektroda ini hanya berperan sebagai sumber elektron yang akan mengalirkan elektron menuju elektroda kerja. Elektroda pendukung yang banyak digunakan adalah kawat Pt.<sup>16</sup>

### 2.5.4 Elektrolit

Elektrolit merupakan zat-zat yang dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena didalam elektrolit terdapat ion-ion yang dapat bergerak bebas. Selain itu, elektrolit juga dapat berupa fasa gas dibawah kondisi tekanan rendah dan temperatur tinggi. Elektrolit terjadi ketika garam dilarutkan kedalam pelarut dan akan menghasilkan ion-

ion bebas yang akan menghantarkan arus listrik bergerak untuk menetralkan muatan pada larutan yang mengalami polarisasi sebagai akibat adanya reaksi redoks sehingga reaksi tetap berjalan.

Elektrolit terbagi menjadi dua yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit kuat merupakan senyawa atau molekul yang dilarutkan dalam air yang akan terionisasi sempurna sehingga akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Elektrolit kuat dapat berupa asam kuat, basa kuat, dan garam-garam asam basa.

Asam kuat, basa kuat dan garam-garam asam basa dikatakan elektrolit kuat karena larutan tersebut dapat mengion secara sempurna. Ion-ion tersebut akan menjadi medium perantara atau penghantar elektron dalam larutan. Ion-ion tersebut bergerak dengan bebas sehingga penghantaran elektron pun dapat berlangsung dengan cepat.

Elektrolit lemah merupakan senyawa atau molekul bila dilarutkan dalam air akan terionisasi sebagian, sehingga kurang baik dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit lemah mempunyai kesetimbangan dinamik karena didalamnya selalu terjadi perubahan, baik yang melibatkan pembentukan ion menjadi molekul atau sebaliknya. Asam lemah dan basa lemah dapat dimasukkan dalam klasifikasi elektrolit lemah.

## **2.6 Spektrofotometri UV-Vis**

Spektrofotometer merupakan alat yang terdiri dari spektrofotometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan



panjang gelombang tertentu, sedangkan fotometer adalah alat pengukuran intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diadsorpsi. Jadi, spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang.

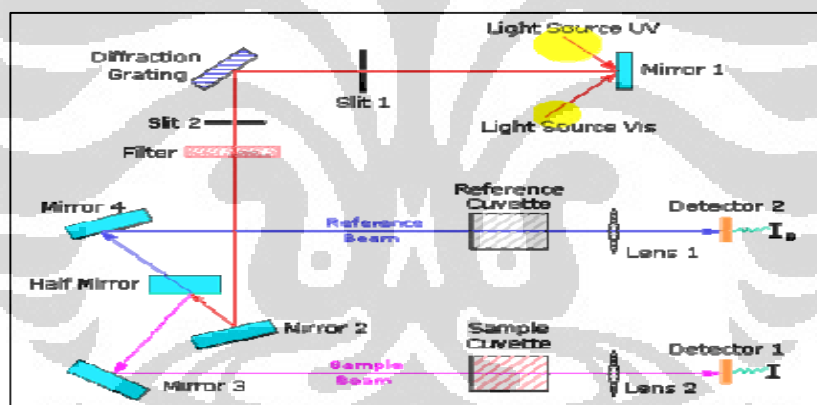
Spektrofotometri UV-Vis adalah suatu instrumen untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu zat uji pada suatu panjang gelombang Ultra Violet (190-380 nm) dan panjang gelombang Visibel (380-780 nm). Penyerapan sinar UV/Vis dapat menyebabkan elektron dalam molekul tereksitasi ke tingkat orbital yang lebih tinggi. Setiap molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV/Vis karena molekul memiliki elektron yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Pada Spektrofotometri UV-Vis dikenal berbagai transisi yaitu  $n \rightarrow \pi^*$ ,  $\pi \rightarrow \pi^*$ , dan  $\sigma \rightarrow \sigma^*$ . Transisi  $\sigma \rightarrow \sigma^*$  dan  $n \rightarrow \sigma^*$  dapat terjadi pada molekul hidrokarbon jenuh dan hanya dapat digunakan pada daerah ultraviolet jauh. Transisi  $n \rightarrow \pi^*$  (pita R) bergantung pada gugus kromofor tunggal yang biasanya akan mengadsorpsi pada daerah ultraviolet dengan absorptivitas rendah ( $\epsilon_{\max} < 100$ ) seperti gugus karbonil, nitro atau azo. Transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  (pita K) tampak dalam sistem poliena menunjukkan absorptivitas yang tinggi ( $\epsilon_{\max} > 1000$ ).

Pita-pita B (pita benzenoid) adalah ciri khas spektrum untuk senyawa aromatik. Dalam molekul terkonyugasi (yaitu molekul yang memiliki ikatan-ikatan rangkap berselang-seling dengan ikatan rangkap) absorpsi bergeser

ke panjang gelombang yang lebih panjang, yang mencerminkan bahwa elektron dalam sistem terkonjugasi ikatannya kurang kuat karena energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasikan elektron dalam molekul tersebut kecil. Kebanyakan penerapan spektrofotometri ultraviolet dan visble pada senyawa organik didasarkan pada transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  dan karenanya diperlukan hadirnya gugus kromofor dalam molekul tersebut.

Bagian-bagian terpenting suatu Spektrofotometri UV-Vis terdiri dari sumber radiasi, monokromator, sel, foto sel dan detector. Spektrofotometer sinar tunggal maupun sinar rangkap, memiliki komponen yang sama.<sup>18</sup>



Gambar 2.2 Skema alat UV-Vis

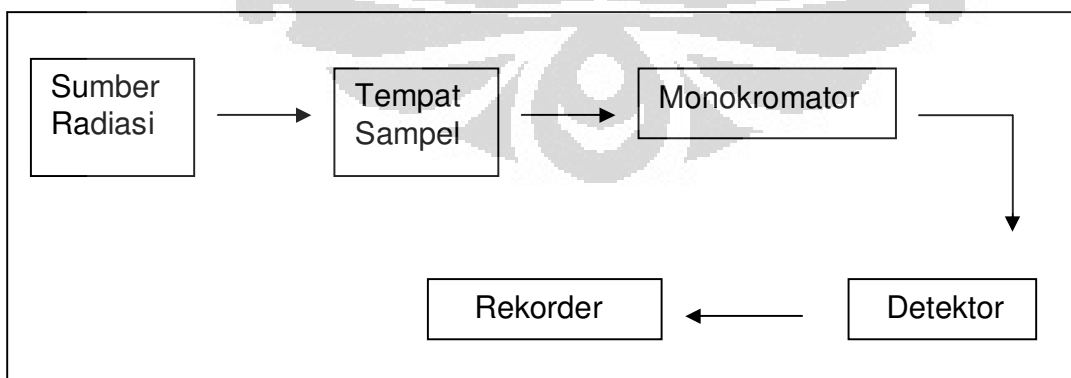
## 2.7 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Absorpsi radiasi sinar merah sesuai dengan tingkat energi vibrasi dan rotasinya pada ikatan kovalen yang mengalami perubahan momen dipol dalam suatu molekul. Hal ini berarti hampir seluruh molekul yang berikatan kovalen dapat mengabsorpsi sinar infra merah.

Hanya molekul-molekul diatomik tertentu misalnya  $H_2$ ,  $N_2$  dan  $O_2$  yang tidak dapat mengabsorpsi inframerah karena vibrasi dan rotasinya tidak menghasilkan perubahan momen dipol. Penyerapan daerah infra merah (IR) terbatas pada transisi dengan perbedaan energi yang kecil yang terdapat diantara tingkatan vibrasi dan rotasi, yaitu pada daerah dengan bilangan gelombang  $1300-33\text{ cm}^{-1}$ , namun yang biasa digunakan adalah antara  $4000-667\text{ cm}^{-1}$ .

Spektra yang dihasilkan umumnya rumit, mempunyai pita-pita serapan yang sangat sempit dan khas untuk tiap senyawa sehingga penggunaannya terutama untuk identifikasi senyawa organik (kualitatif), sedangkan untuk tujuan kuantitatif analisis ini tidak banyak digunakan.

Secara prinsip spektrometer infra merah sama dengan spektrometer ultra violet, tetapi daerah yang diamati berbeda. Pada spektrometer infra merah, energinya sangat lemah sehingga untuk didapatkan stabilitas dan sensitifitas yang tinggi pada komponen-komponen tertentu, dirancang secara khusus.



Gambar 2.3 Prinsip spektrofotometer infra merah

Energi daerah infra merah sangat lemah, oleh karenanya untuk mengurangi absorpsi oleh sistem optik maka penggunaan sistem lensa pada spektrometer infra merah sedapat mungkin dihindarkan. Sebagai gantinya digunakan sistem lensa cekung yang permukaannya dilapisi oleh logam alumunium yang mengkilap, sehingga berkas sinar infra merah yang jatuh padanya hampir seluruhnya dipantulkan kembali. Dibawah ini beberapa material yang sesuai untuk sistem optik pada spektrometer infra merah.<sup>1</sup>

Tabel 1.2 Material zat padat yang mentranmisikan Infra Merah dengan baik

Material	Batas panjang gelombang (cm <sup>-1</sup> )
Gelas optik	0.4 – 2.6
LiF	0.16 – 4.0
CaF <sub>2</sub>	0.12 – 9.0
Ge	1.8 – 23
NaCl	0.2 – 25
KBr	0.25 -40

## 2.8 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD atau *Chemical Oxygen Demand* merupakan kebutuhan oksigen kimia untuk reaksi oksidasi terhadap bahan buangan di dalam air.<sup>20</sup> COD merupakan suatu ukuran kapasitas air untuk menggunakan oksigen untuk proses dekomposisi bahan organik dan untuk melakukan oksidasi bahan kimia anorganik seperti amonia dan nitrit. COD biasa dilakukan dalam skala

laboratorium dimana contoh air akan direaksikan dengan oksidator kuat dibawah kondisi temperatur dan waktu yang spesifik.<sup>21</sup>

Kebanyakan aplikasi COD adalah untuk menentukan banyaknya kadungan polutan organik yang berda di permukaan perairan, seperti sungai dan danau. COD akan menunjukkan kualitas dari suatu perairan. Pada beberapa dekade yang lalu, oksidator yang digunakan pada penentuan COD adalah  $\text{KMnO}_4$ . Oksidator lain yang dapat digunakan dalam penentuan COD ini adalah ceric sulfat, potassium iodat, dan potassium dikromat. Oksidator yang paling efektif adalah potassium dikromat.karena harganya murah, mudah untuk dimurnikan, dan memiliki kemampuan yang baik untuk mengoksidasi senyawa organik.<sup>22</sup>

## BAB III

### METODOLOGI PERCOBAAN

#### 3.1 Alat

- Reaktor elektrokimia
- PH meter
- Adaptor (penghasil potensial/voltase)
- Spektrofotometer UV-2450 shimadzu double beam
- Elektroda Platina
  - ✓ Elektroda platina berbentuk spiral sebagai anoda (P.T Antam Logam Mulia)
  - ✓ Elektoda Platina berbentuk batangan sebagai katoda (P.T The Nilaco Cooperation Tokyo Ginza)
- Potensiostat
- Peralatan kimia
- Refluks
- FTIR

### 3.2 Bahan

- Karbon aktif bubuk dan granular
- Fenol
- Limbah Fenol yang diambil dari PT. Protek
- Larutan Amonia,  $\text{NH}_4\text{OH}$
- Kalium dihidrogen fosfat,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- Hidrat dikalium hydrogen fosfat,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Natrium klorida,  $\text{NaCl}$
- 4-aminoantipirin
- Kalium heksasianoferat (III),  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
- Aquademin
- Kalium bikromat,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,1 N
- Merkuri sulfat,  $\text{HgSO}_4$
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat

### 3.3 Cara Kerja

#### 3.3.1 Pembuatan Larutan Pereaksi Fenol

##### ☼ Pembuatan larutan stok fenol 1000 ppm

Sebanyak 1 gram fenol ditimbang dan dilarutkan dengan aqua demin dan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan hingga volume 1000 mL. Selanjutnya larutan stok fenol 1000 ppm dipindahkan ke dalam botol coklat dan ditutup rapat-rapat.

##### ☼ Larutan $\text{NH}_4\text{OH}$ 0,5 N

Sebanyak 1,9 mL larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  25 % diencerkan dengan aqua demin dalam labu 50 mL sampai tanda batas.

##### ☼ Buffer fosfat PH 6,8

Ditimbang 10,45 gram  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  dan 7,23 gram  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , lalu dilarutkan dengan air suling dan selanjutnya dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL secara kuantitatif dan diencerkan hingga volume 100 mL.

##### ☼ Larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 8 % (b/V)

Ditimbang 0,8 gram  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , lalu dilarutkan dengan air suling dan kemudian dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 10 mL dan diencerkan hingga volume 10 mL. Larutan ini disimpan dalam lemari es dan memiliki waktu simpan selama satu minggu.



☼ Larutan 4-aminoantipirin 2% (b/V)

Ditimbang 0,2 gram 4-aminoantipirin dan dilarutkan dengan air suling, kemudian dipindahkan kedalam labu ukur 10 mL dan diencerkan hingga volume 10 mL. Larutan ini dibuat segar setiap kali melakukan eksperimen atau dapat disimpan dalam lemari es.

### 3.3.2 Pemanasan Arang

Sebelum dilakukan pemanasan, arang yang terbuat dari kayu gelam dihancurkan terlebih dahulu menjadi ukuran yang diinginkan. Selanjutnya arang dipanaskan pada suhu  $140^{\circ}\text{C}$  selama 45 menit didalam oven.

### 3.3.3 Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol

Dibuat deret konsentrasi larutan fenol mulai 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm, masing-masing sebanyak 25 mL. Kemudian ditambahkan 5 tetes  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N dan buffer fosfat untuk mengatur kondisi larutan pada pH  $7,9 \pm 0,1$ . Selanjutnya ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  8 % dan 4-aminoantipirin 2%, masing-masing sebanyak 0,1 mL. Deret konsentrasi larutan fenol ini diukur absorbansinya pada kisaran panjang gelombang 400 – 600 nm untuk dicari panjang gelombang serapan maksimum fenol.

### 3.3.4 Uji Pendahuluan Menggunakan Voltametri siklik

Pada uji pendahuluan ini digunakan 3 macam elektroda, yaitu elektroda Pt spiral sebagai elektroda kerja, elektroda Pt batang sebagai elektroda pendukung dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding, dan digunakan *scan rate*  $50 \text{ mVs}^{-1}$  dan kisaran potensial antara  $-2\text{V} - 2\text{V}$ .

#### 3.3.4.1 Larutan Fenol dalam aquades

Larutan stok fenol diambil Sebanyak 5 mL, kemudian diencerkan dengan aquades dalam labu 50 mL, didapatkan larutan fenol sebesar 100 ppm. Larutan fenol 100 ppm dipindahkan kedalam beaker glass 25 mL dan selanjutnya dimasukkan ketiga elektroda kedalamnya, ketiga elektroda ini telah dihubungkan dengan alat potensiostat. Ketiga elektroda ini diatur agar tidak saling bersentuhan karena akan mempengaruhi hasil yang akan didapatkan. Dilakukan pengukuran dengan Voltametri siklik.

#### 3.3.4.2 Larutan Fenol dalam NaCl 1 %

Larutan stok fenol diambil Sebanyak 5 mL, kemudian diencerkan dengan NaCl 1 % dalam labu 50 mL sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 1 %. Larutan fenol 100 ppm dipindahkan kedalam beaker glass 25 mL dan dilakukan kondisi yang sama seperti Larutan Fenol dalam aquades.

### **3.3.5 Sistem Batch**

#### **3.3.5.1 Teknik Oksidasi Elektrokimia**

##### **3.3.5.1.1 Penentuan Potensial Oksidasi Optimum**

Larutan stok fenol diambil 25 mL dan diencerkan dalam larutan NaCl 1 % dalam labu 250 mL, sehingga akan didapatkan konsentrasi larutan fenol 100 ppm. Selanjutnya larutan fenol 100 ppm dielektrolisis menggunakan anoda Pt dengan variasi potensial 3 Volt, 4 Volt dan 6 Volt selama 75 menit dan setiap 15 menit larutan dicuplik. Pada setiap pencuplikan, diambil 2,5 mL dan diencerkan dalam labu 50 mL (dilakukan pengenceran 20x). Kemudian ditambahkan 5 tetes  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N dan buffer fosfat untuk mengatur kondisi larutan pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$ . Selanjutnya ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  8 % dan 4-aminoantipirin 2%, masing-masing sebanyak 0,1 mL. Setelah dilakukan penambahan 4-aminoantipirin dan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  didiamkan selama 25 menit, setelah 25 menit baru diukur absorbansinya dengan UV-Vis. Hal serupa juga dilakukan untuk larutan fenol yang selanjutnya.

##### **3.3.5.1.2 Penentuan Optimum Konsentrasi Elektrolit**

Larutan stok fenol diambil 25 mL dan diencerkan dalam larutan larutan NaCl dengan variasi 1%, 3%, dan 5% dalam labu 250 mL, sehingga akan didapatkan konsentrasi larutan fenol 100 ppm. Kemudian dielektrolisis dengan potensial optimum selama 75 menit, setiap 15 menit larutan dicuplik.

Pada setiap pencuplikan, diambil 2,5 mL dan diencerkan dalam labu 50 mL (dilakukan pengenceran 20x). Kemudian ditambahkan 5 tetes  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N dan buffer fosfat untuk mengatur kondisi larutan pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$ .

Selanjutnya ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  8 % dan 4-aminoantipirin 2%, masing-masing sebanyak 0,1 mL. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### **3.3.5.2 Teknik Adsorpsi**

Pada teknik adsorpsi ini sebanyak 250 mL larutan fenol 100 ppm akan diadsorpsi menggunakan karbon aktif sebanyak 1 gram dan dilakukan pencuplikan pada beberapa variabel waktu untuk diketahui konsentrasi penurunan fenol.

#### **3.3.5.2.1 Pembuatan Deret Standar fenol**

Dibuat deret konsentrasi larutan fenol mulai 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm, masing-masing sebanyak 25 mL. Kemudian ditambahkan 5 tetes  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N dan buffer fosfat untuk mengatur kondisi larutan pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$ . Selanjutnya ditambahkan pereaksi  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  8 % dan 4-aminoantipirin 2%, masing-masing sebanyak 0,1 mL. Sedangkan larutan blanko dibuat dengan mengambil 25 mL aquades dan diatur kondisi larutan pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$ . Selanjutnya ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  8 % dan 4-

aminoantipirin 2%. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.3.5.2.2 Adsorpsi Larutan Fenol

Larutan stok fenol diencerkan dalam labu 250 mL sehingga di peroleh larutan fenol 100 ppm. Larutan fenol 100 ppm di adsorpsi menggunakan karbon aktif sebanyak 1 gram dan selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Larutan dicuplik dan disaring pada menit 0, 15, 30, 45, 60 dan 75 untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Sebelum dilakukan pengukuran menggunakan UV-Vis, larutan diatur kondisinya pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$  dan ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  dan aminoantipirin.

#### Adsorpsi Larutan Fenol dalam Aquades

Larutan stok fenol diambil 25 mL, kemudian diencerkan dengan aquades dalam labu 250 mL. 250 mL larutan fenol di adsorpsi menggunakan karbon aktif granular sebanyak 1 gram. Selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Selama 0-75 menit, larutan dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, 60 dan 75. Pada setiap pencuplikan, diambil 2,5 mL dan diencerkan dalam labu 50 mL (dilakukan pengenceran 20x). Setelah

diencerkan, larutan sampel 25 mL diambil untuk dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### **Adsorpsi Larutan Fenol dalam NaCl 1 %**

Larutan stok fenol diambil 25 mL, kemudian diencerkan dengan NaCl 1 % dalam labu 250 mL sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 1 %. Larutan fenol ini selanjutnya di adsorpsi menggunakan karbon aktif granular sebanyak 1 gram. Selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Larutan dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, 60 dan 75. Pada setiap pencuplikan, diambil 2,5 mL dan diencerkan dalam labu 50 mL (dilakukan pengenceran 20x). Setelah diencerkan, larutan sampel diambil 25 mL dan diatur kondisi larutan pada pH  $7,9 \pm 0,1$ . Dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometri pada panjang gelombang maksimum.

#### **3.3.5.3 Teknik Kombinasi**

Larutan fenol 100 ppm dalam kondisi optimum, diadsorpsi dengan karbon aktif 1 gram sekaligus dioksidasi dengan potensial optimum yang didapatkan dan setiap 15 menit larutan dicuplik sampai menit ke-75. Larutan yang dicuplik selanjutnya direaksikan dengan pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum.

#### **3.3.5.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi.**

Larutan fenol dalam aquades dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm diadsorpsi dengan karbon aktif 1 gram. Larutan fenol dicuplik pada waktu 0 menit dan 75 menit. Selanjutnya larutan yang dicuplik, diatur kondisinya pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$  dan ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  dan aminoantipirin. Dilakukan pengukuran dengan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Hal yang sama juga dilakukan pada larutan fenol dalam NaCl 1%.

#### **3.3.6 Sistem Semi-Kontinyu**

##### **3.3.6.1 Waktu Optimum Larutan Fenol**

Larutan fenol 100 ppm dalam NaCl 1% dialirkan kedalam reaktor dengan variasi waktu 195 menit, 240 menit, 315 menit dan 330 menit. Dibagian tengah reaktor telah diisi dengan arang dan terdapat elektroda untuk proses elektrolisis. Larutan dicuplik saat bagian tempat penampungan air reaktor telah terisi dan selang waktu pencuplikan yang pertama dengan pencuplikan selanjutnya adalah 10 menit. Larutan yang dicuplik, selanjutnya diatur kondisinya pada  $\text{pH } 7,9 \pm 0,1$  dan ditambahkan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  dan aminoantipirin. Dilakukan pengukuran dengan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### **3.3.6.2 Limbah Fenol**

#### **3.3.6.2.1 Penentuan Konsentrasi Limbah Fenol**

Limbah fenol diambil 1 mL dan diencerkan dalam labu ukur 50 mL. Selanjutnya larutan limbah tersebut diatur kondisinya pada pH  $7,9 \pm 0,1$  dan ditambahkan  $K_3Fe(CN)_6$  dan aminoantipirin. Dilakukan pengukuran dengan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### **3.3.6.2.2 Sistem Semi-Kontinyu Limbah Fenol**

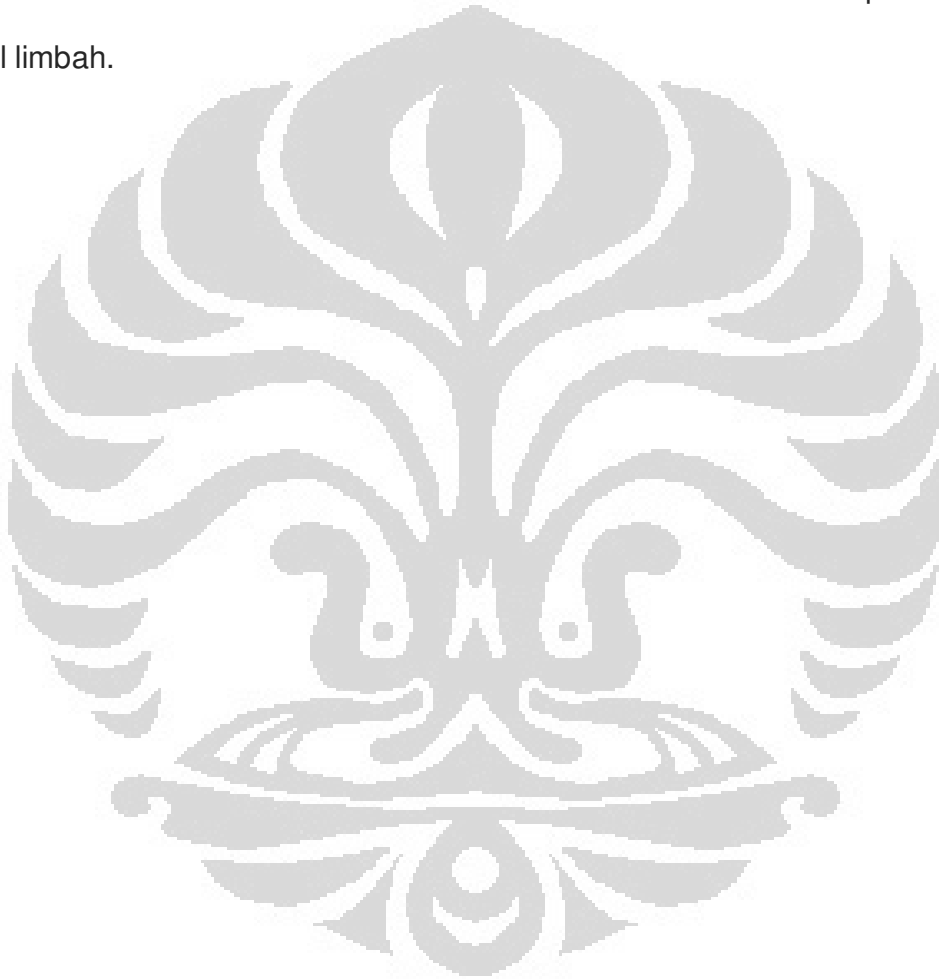
Larutan limbah fenol diambil 750 mL, kemudian diencerkan dengan NaCl 1 % dalam labu 1000 mL sampai tanda batas. Selanjutnya larutan limbah fenol dalam NaCl tersebut dialirkan dengan waktu optimum yang didapat sebelumnya. Larutan dicuplik saat bagian tempat penampungan air reaktor telah terisi dan selang waktu pencuplikan yang pertama dengan pencuplikan selanjutnya adalah 10 menit. Larutan yang dicuplik selanjutnya diatur kondisinya pada pH  $7,9 \pm 0,1$  dan ditambahkan  $K_3Fe(CN)_6$  dan aminoantipirin. Dilakukan pengukuran dengan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### **3.3.6.2.3 Chemical Oxygen Demand**

Sampel limbah fenol diambil 5 mL, ditambahkan dengan  $K_2Cr_2O_7$  0,1 N sebanyak 25 mL dan sedikit  $HgSO_4$ . Selanjutnya larutan tersebut



ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat sebanyak 5 mL, kocok sampai  $\text{HgSO}_4$  larut. Lalu ditambahkan batu didih dan direfluks selama 2 jam. Setelah 2 jam larutan didinginkan dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Langkah yang sama juga dilakukan untuk larutan limbah dan larutan blanko. Larutan blanko berisi larutan NaCl 1% tanpa sampel limbah.



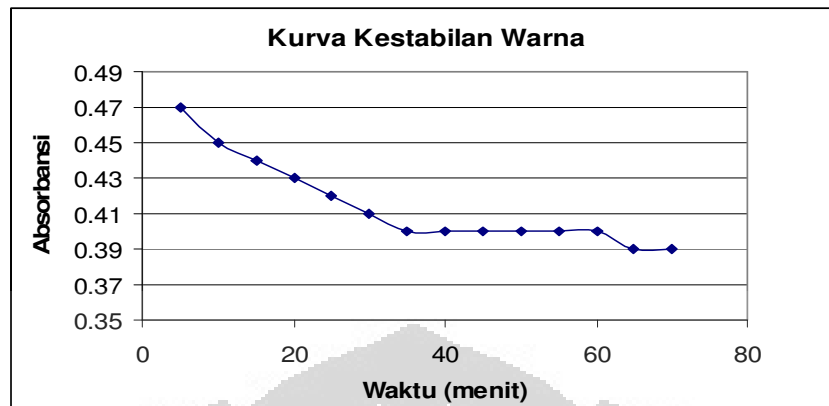
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol

Penentuan serapan maksimum larutan fenol ini bertujuan untuk mengetahui berapa panjang gelombang maksimum fenol pada UV-Vis, yang selanjutnya akan digunakan untuk pengukuran fenol. Dalam penentuan panjang gelombang maksimum ini, dibuat deret standar fenol dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm., 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm, sebanyak 25 mL. Larutan deret standar tersebut selanjutnya diatur kondisi pH nya pada  $7,9 \pm 1$  dengan menambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N dan buffer fosfat.

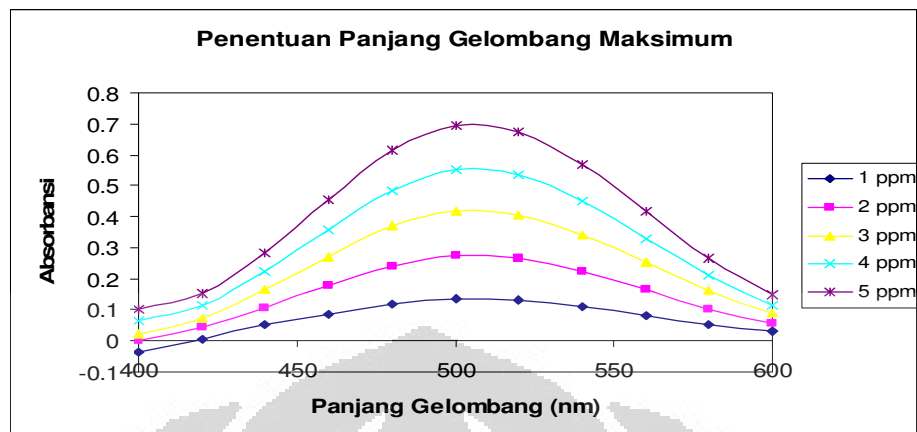
Pengaturan kondisi pada kisaran pH tersebut karena pada prinsipnya semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin pada pH  $7,9 \pm 0,1$  dengan adanya larutan kalium ferri sianida, akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Fungsi  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  disini adalah sebagai pengoksidasi. Reaksi ini akan membentuk kompleks antipirin yang berwarna merah.<sup>11</sup> Larutan yang telah ditelaah diatur pH nya, ditambahkan amino antipirin dan  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , selanjutnya dilakukan pengukuran dengan dengan spektrometer UV/Vis. Selang waktu antara penetesan amino antipirin serta  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  dengan pengukuran dengan spektrometer UV/Vis adalah 25 menit karena kestabilan absorbansi larutan terjadi pada rentang waktu 25 – 40 menit, yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.<sup>26</sup>



Gambar 4.1 Kurva kestabilan warna hasil reaksi fenol dan 4 -amino antipirin

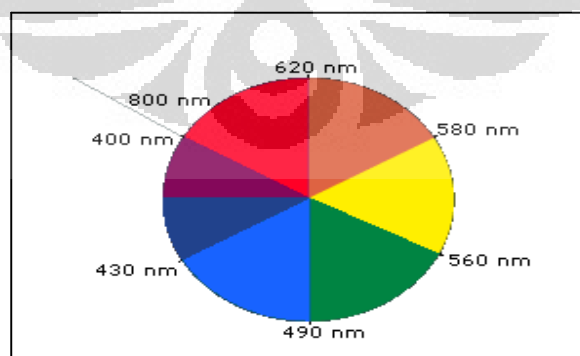
Pada penentuan kestabilan warna hasil reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin dilakukan variasi waktu selama 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 menit. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa kestabilan warna dan absorbansi terjadi pada rentang waktu 25 – 40 menit. Kestabilan warna terjadi pada waktu 25 menit karena fenol membutuhkan waktu untuk membentuk kompleks dengan antipirin.

Hasil pengukuran serapan maksimum larutan fenol yaitu pada panjang gelombang 507 nm. Berdasarkan literatur, serapan maksimum senyawa fenol dengan menggunakan metode 4-aminoantipirin berada pada kisaran  $\pm 505$  nm. Panjang gelombang maksimum 507 ini akan digunakan pada percobaan selanjutnya. Gambar 4.2 menunjukkan panjang gelombang maksimum fenol pada spektrofotometer UV-Vis dengan daerah kisaran 400-600 nm.



Gambar 4.2 Kurva panjang gelombang maksimum larutan fenol

Panjang gelombang maksimum fenol 507 nm terjadi karena warna kompleks fenol dengan antipirin adalah warna merah. Warna merah tersebut merupakan warna yang diadsorpsi pada UV-Vis ketika sinar dilewatkan, sedangkan warna atau sinar yang diteruskan, yang selanjutnya ditangkap oleh detektor adalah warna hijau.<sup>23,24</sup> Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa warna hijau berada dalam kisaran panjang gelombang 490 -560 nm dan hal tersebut sesuai dengan panjang gelombang maksimum yang dihasilkan pada penelitian ini.



Gambar 4.3 Warna komplemen

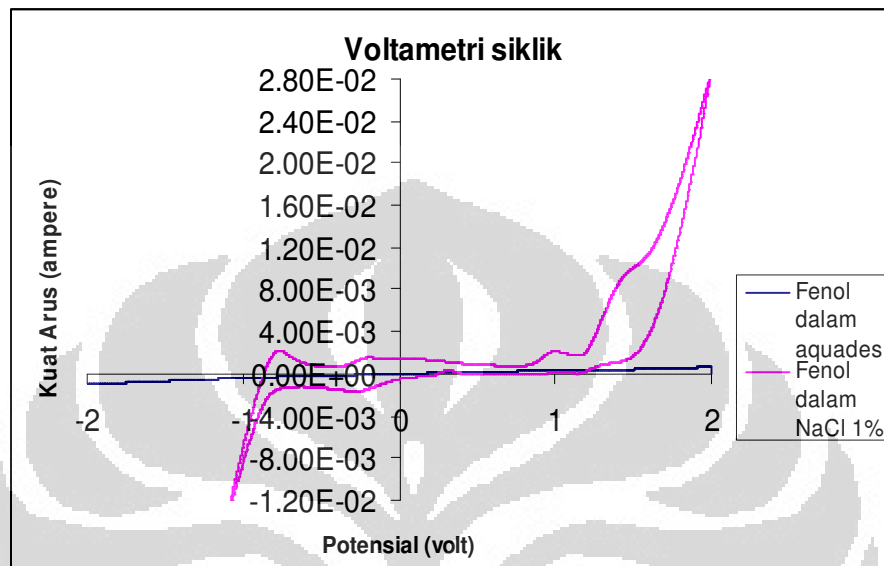
Penggunaan spektrofotometer UV-Vis pada percobaan ini karena lebih mudah dalam pengoperasiaannya dan spektra yang dihasilkannya pun relatif sederhana. Selain itu, penggunaan instrumen ini karena kompleks fenol memiliki ikatan rangkap terkonyugasi yang dapat menyerap energi dalam daerah uv, yang selanjutnya energi tersebut dapat mengeksitasi elektron yang terikat lemah didalamnya.<sup>19</sup>

Pengenceran larutan fenol sebelum dilakukan pengukuran dengan menggunakan UV-Vis karena konsentrasi fenol yang digunakan 100 ppm, konsentrasi besar dan memiliki intensitas warna yang tinggi. Konsentrasi yang besar tersebut akan menghasilkan absorpsi yang sangat kuat (tinggi) sehingga harus diukur pada larutan yang encer, agar terdapat intensitas sinar yang cukup yang sampai ke detektor, dan pelarut yang digunakan dalam pengenceran adalah pelarut yang benar-benar transparan (tidak mengabsorpsi sinar).<sup>24</sup> Oleh karena itu, pelarut yang digunakan adalah air.

#### **4.2 Uji Pendahuluan Menggunakan Voltametri Siklik**

Uji dengan voltametri siklik biasanya dikerjakan pertama kali dalam studi elektrokimia untuk mengetahui potensial minimum yang diperlukan untuk pendegradasian senyawa yang ingin diuji dengan proses elektrokimia. Voltametri siklik memberikan informasi mengenai potensial minimum yang diperlukan untuk melepaskan gugus yang terikat pada senyawa fenol yang kemudian diikuti dengan pendegradasian senyawa fenol tersebut menjadi

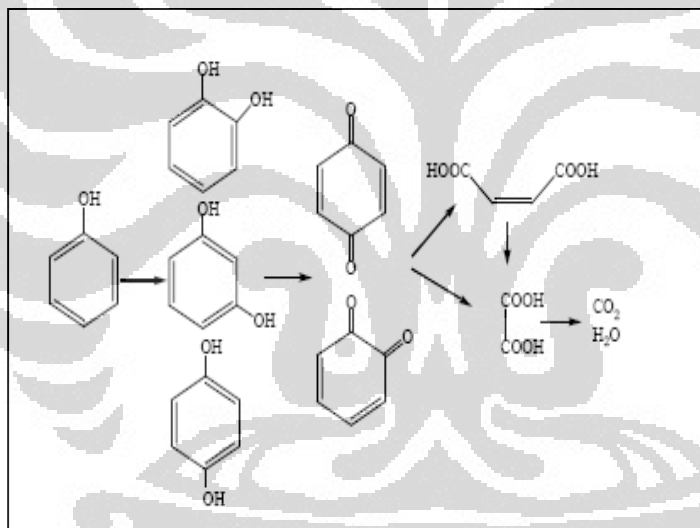
CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Kisaran potensial yang digunakan dalam uji ini adalah antara -2 V – 2 V dengan scan rate 50 mVs<sup>-1</sup>



Gambar 4.4 Kurva voltametri siklik larutan fenol

Berdasarkan kurva voltametri siklik pada Gambar 4.4 terlihat perbedaan yang sangat nyata antara larutan fenol dalam air dengan fenol dalam NaCl 1%. Pada grafik fenol dalam aquadest tidak terdapat puncak. Tidak terdapatnya puncak tersebut menunjukkan bahwa tidak terjadinya oksidasi fenol pada potensial -2V – 2V. Sedangkan pada grafik fenol dalam NaCl 1% terdapat puncak pada 1.026 V. Puncak tersebut menunjukkan bahwa potensial minimum yang dibutuhkan untuk mengoksidasi fenol adalah pada potensial 1.026 volt. Bila potensial yang digunakan kurang dari 1.026 V maka tidak akan terjadi oksidasi. Pada potensial minimum ini hanya terjadi pelepasan ion H<sup>+</sup> dari OH membentuk ion fenolat.

Berdasarkan grafik fenol dalam NaCl terlihat bahwa tidak terdapat puncak reduksi yang terbentuk pada *negative sweep*, yang berada dibawah puncak anodik. Hal ini berarti bahwa proses yang terjadi adalah irreversibel. Dari grafik fenol dalam NaCl juga dapat disimpulkan bahwa oksidasi yang terjadi pada fenol pada kisaran -2V – 2V hanya sekali karena hanya terbentuk satu puncak.<sup>25</sup> Pengoksidasian fenol selanjutnya membutuhkan potensial yang lebih besar dari 2V. Pada potensial maksimum, fenol didegradasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O seperti tertera pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Reaksi degradasi fenol <sup>11</sup>

### 4.3 Sistem Batch

#### 4.3.1 Teknik Oksidasi Elektrokimia

Pada penelitian ini, teknik oksidasi elektrokimia yang digunakan adalah elektrolisis. Elektrolisis merupakan perubahan energi listrik menjadi

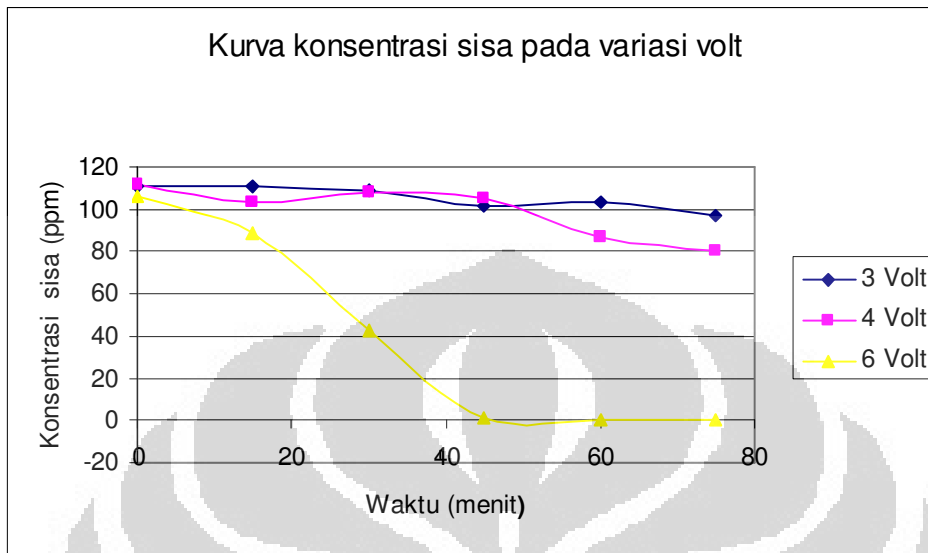
energi kimia. Arus listrik digunakan untuk berlangsungnya reaksi redoks yang tidak spontan, yaitu dengan menguraikan elektrolit menjadi unsur-unsurnya.<sup>13</sup> Dalam proses elektrolisis diperlukan dua elektroda yaitu katoda dan anoda. Katoda bertindak sebagai kutub negatif, sedangkan anoda bertindak sebagai kutub positif. Dalam proses elektrolisis ini yang digunakan sebagai katoda adalah elektroda platina batangan dan yang bertindak sebagai anoda adalah elektroda platina spiral.

Menurut *Michael Faraday* (1834) lewatnya arus 1 F mengakibatkan oksidasi 1 massa ekuivalen suatu zat pada suatu elektroda (anoda) dan reduksi 1 massa ekuivalen suatu zat pada elektroda yang lain (katoda).

#### **4.3.2 Penentuan Potensial Optimum**

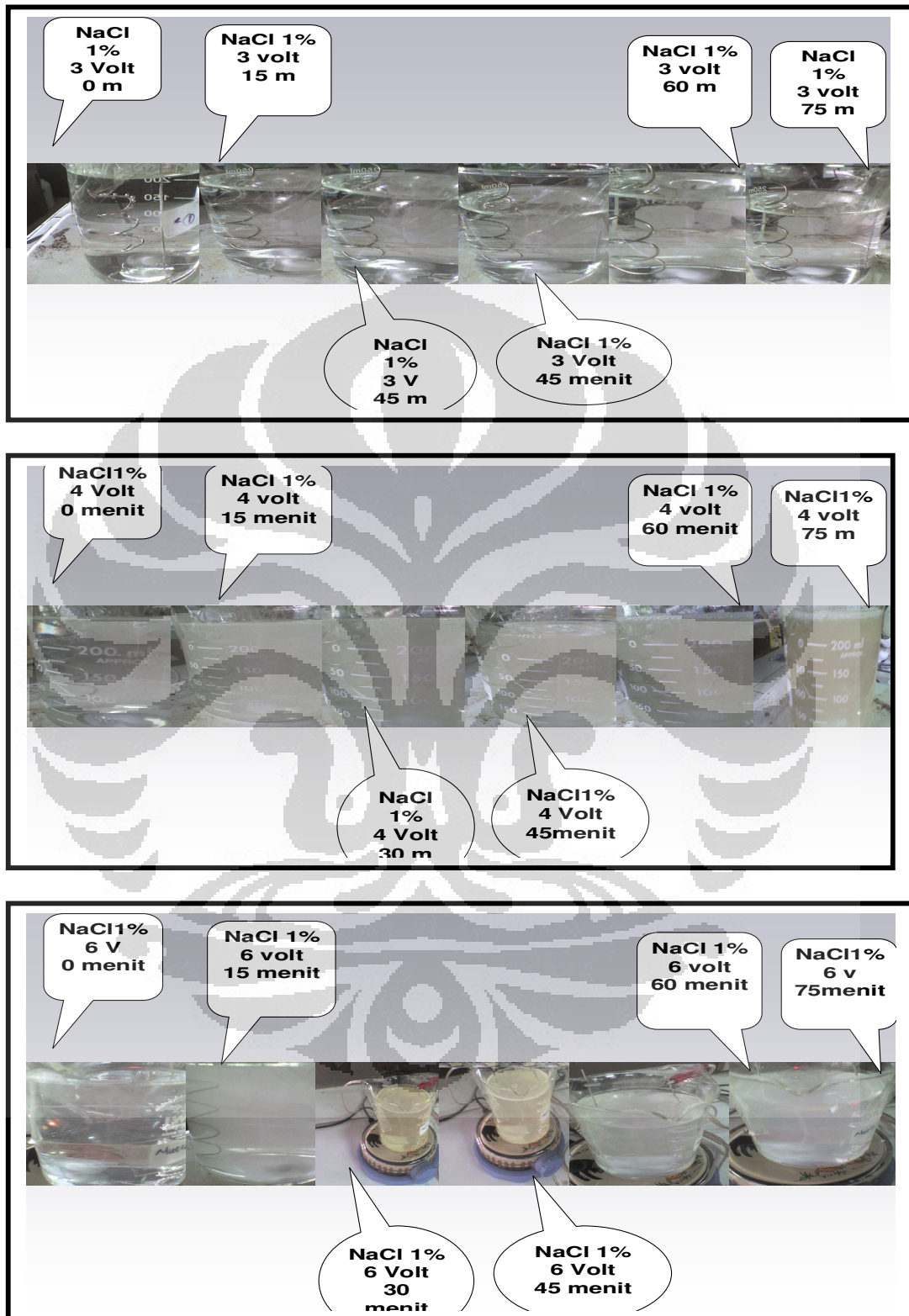
Penentuan potensial optimum dilakukan untuk mengetahui besarnya potensial yang diperlukan untuk proses elektrolisis terhadap fenol sampai fenol terdegradasi dengan sempurna dan konsentrasi fenol yang tersisa dibawah ambang batas yang diperkenan pada lingkungan. Variasi yang digunakan pada penelitian ini mulai dari 3 Volt, 4 Volt, dan 6 Volt. Pada dasarnya semakin besar potensial oksidasi yang diberikan maka penurunan konsentrasi fenol akan semakin efektif. Hal ini sesuai dengan konsep Hukum Faraday yang menyatakan bahwa semakin besar rapat arus (potensial) yang mengalir maka akan semakin besar pula jumlah perubahan kimia yang terjadi dalam sel elektrolisis. Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh potensial terhadap konsentrasi sisa.





Gambar 4.6 Kurva konsentrasi sisa pada variasi volt

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa potensial optimum untuk penurunan fenol adalah 6 Volt, yang memiliki konsentrasi sisa sebesar 0.13554 ppm. Pada potensial 3 volt tidak terjadi penurunan konsentrasi fenol yang cukup signifikan, konsentrasi sisa fenol dalam larutan masih besar yaitu 97.14263 ppm. Pada potensial 4 volt terjadi penurunan yang cukup signifikan, tetapi konsentrasi fenol sisa yang berada dalam larutan masih cukup besar yaitu 80.76911 ppm. Potensial yang diberikan juga akan memiliki pengaruh terhadap warna larutan yang dihasilkan, yang terlihat pada gambar 4.8. Perubahan warna ini mengindikasikan terhadap senyawa intermediet yang dihasilkan.<sup>27</sup>



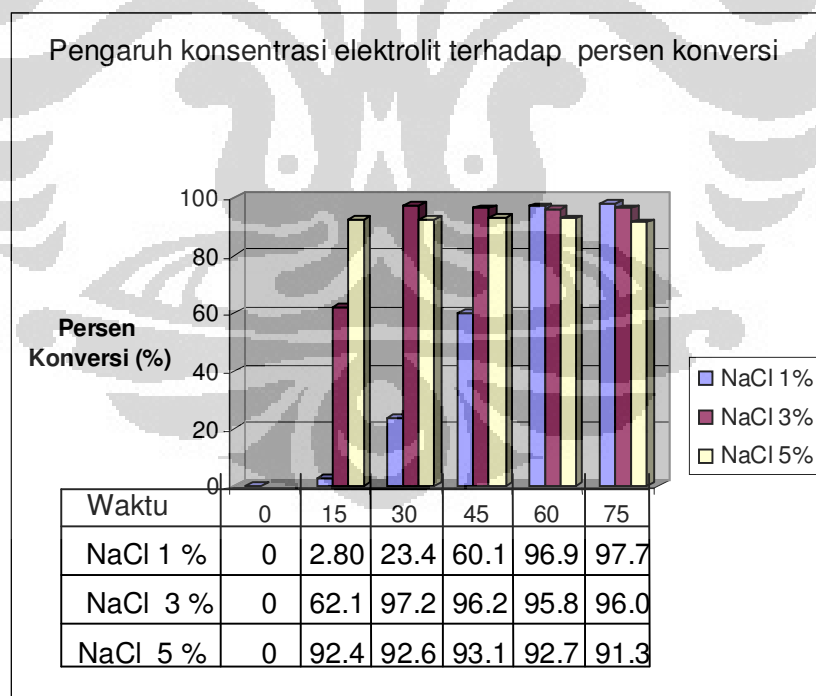
Gambar 4.7 Perubahan warna larutan yang dipengaruhi potensial

Perubahan warna pada Gambar 4.7, mengindikasikan terhadap senyawa intemediet yang dihasilkan. Warna kuning gelap yang dihasilkan pada larutan dengan potensial 4 Volt pada waktu 75 menit dan menit ke-45 pada potensial 6 Volt mengindikasikan kemungkinan terbentuknya senyawa benzoquinone. Pada menit ke-60 pada potensial 4 volt, menunjukkan kemungkinan terbentuknya senyawa hydroquinone yang memiliki warna larutan kuning cerah. Anoda yang biasa digunakan dalam proses elektrolisis adalah logam yang memiliki potensial reduksi yang tinggi dan stabil terhadap korosi.<sup>33</sup>

#### **4.3.3 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum**

Penentuan konsentrasi elektrolit optimum pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi optimum elektrolit yang paling baik untuk digunakan pada proses adsorpsi, oksidasi elektrokimia dan teknik kombinasi. Penggunaan elektrolit pada ketiga proses tersebut sangat penting. Pada proses adsorpsi, elektrolit berfungsi untuk menurunkan kepolaran fenol karena interaksi antara fenol dengan molekul air melemah sehingga akan memaksimalkan adsorpsi fenol oleh arang.<sup>39</sup> Arang bersifat non-polar, sehingga bila terdapat banyak molekul air yang mengelilingi fenol maka adsorpsi fenol pada arang akan berkurang.<sup>2</sup> Arang merupakan padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen, oleh karena itu permukaan arang bersifat non polar.<sup>17</sup>

Penggunaan elektrolit pada teknik oksidasi dan teknik kombinasi adalah sebagai penghantar arus listrik. Selain itu, elektrolit dibutuhkan untuk mengontrol potensial percobaan, menghilangkan efek elektromigrasi, dan untuk menjaga agar ionik dalam larutan konstan.<sup>39</sup> Dengan adanya elektrolit maka proses oksidasi fenol akan berlangsung cepat karena adanya migrasi ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada penelitian ini konsentrasi elektrolit divariasikan yaitu 1%, 3%, dan 5%. Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap persen konversi pada teknik oksidasi elektrokimia.



Gambar 4.8 Pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap persen konversi (%)

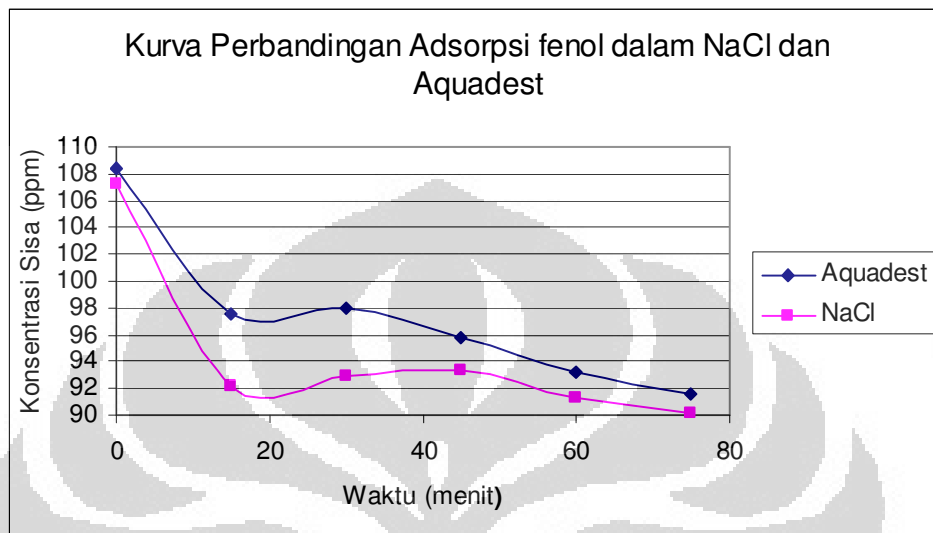
Berdasarkan Gambar 4.8 terlihat bahwa konsentrasi elektrolit optimum adalah NaCl 1%. Sedangkan pada NaCl 5%, pada awal menit ke-15 persen konversinya menunjukkan yang paling besar, tetapi pada menit ke-75-persen konversi NaCl 5% paling kecil. Penurunan persen konversi tersebut terjadi karena konsentrasi NaCl yang tinggi akan menurunkan pembentukan radikal hidroksi pada permukaan anoda.

#### 4.3.4 Adsorpsi

Teknik adsorpsi yang dilakukan pada sistem *batch* ini menggunakan arang yang terbuat dari kayu gelam sebanyak 1 gram. Penggunaan arang sebanyak 1 gram ini karena berdasarkan penelitian bahwa jumlah karbon aktif yang optimum adalah 1 gram.<sup>28</sup> Selain itu pula, penggunaan arang sebanyak 1 gram ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum pada teknik adsorpsi dan kombinasi dengan menggunakan arang sebagai adsorben dan apakah terjadi perbedaan yang cukup signifikan dengan penggantian adsorben ini.

Adsorpsi fenol dalam NaCl akan menghasilkan hasil adsorpsi yang berbeda dengan yang tanpa NaCl. Gambar 4. 9 menunjukkan penurunan konsentrasi fenol yang berbeda pada larutan fenol dalam NaCl 1% dengan larutan Fenol dalam aquadest. Pada dasarnya adsorpsi karbon aktif terjadi karena adanya ketidakstabilan pusat aktif pada adsorben. Pusat aktif tersebut akan membentuk tegangan permukaan yang menyebabkan energi bebas permukaan menjadi besar. Kestabilan pusat aktif pada adsorben dilakukan

dengan menurunkan energi bebas permukaan melalui adsorpsi zat-zat lain dipermukaan karbon aktif.<sup>26</sup>



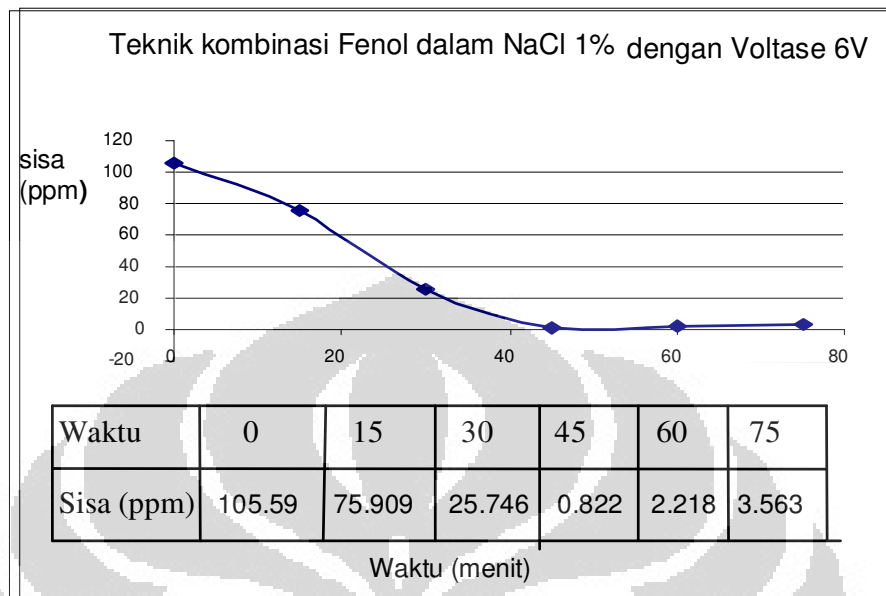
Gambar 4.9 Kurva penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi

Dari kurva di atas terlihat bahwa adsorpsi fenol dalam NaCl menghasilkan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan fenol dalam aquadest. Hal tersebut terjadi karena dengan penambahan NaCl dalam fenol akan menyebabkan interaksi antara fenol dengan air akan semakin lemah. Akibatnya semakin banyak molekul fenol yang diikat oleh gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif.<sup>38</sup> Berdasarkan Gambar 4.9 terlihat bahwa waktu optimum adsorpsi fenol dalam NaCl 1 % adalah 75 menit dengan konsentrasi sisa sebesar 90.14627 ppm. Dengan bertambahnya waktu, konsentrasi fenol yang teradsorpsi pada arang akan semakin besar.

#### 4.3.5 Teknik Kombinasi

Teknik kombinasi merupakan teknik gabungan antara teknik adsorpsi dan teknik oksidasi. Kondisi optimum yang didapatkan pada teknik adsorpsi dan oksidasi diterapkan pada teknik kombinasi. Dengan teknik kombinasi ini diharapkan akan dihasilkan penurunan konsentrasi fenol yang lebih baik dan juga akan terjadi proses regenerasi arang yang akan meminimalkan penggunaan arang.

Teknik kombinasi juga merupakan suatu cara untuk meminimalkan keterbatasan-keterbatasan yang ada pada teknik oksidasi elektrokimia. Pada teknik oksidasi elektrokimia dibutuhkan luas permukaan yang spesifik dari elektroda karena terjadi reaksi transfer elektron. Bila luas permukaan elektroda yang digunakan terlalu kecil maka akan menyebabkan proses oksidasi akan menjadi tidak maksimal. Selain itu, pada permukaan Pt dapat terbentuk lapisan tipis oksida yang akan menyebabkan penurunan kerja elektroda dan lama-lama akan menjadi pasif.<sup>23</sup>



Gambar 4.10 Kurva penurunan konsentrasi fenol pada teknik kombinasi

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa hasil teknik kombinasi cukup baik dibandingkan dengan teknik adsorpsi, walaupun perbedaannya dengan teknik oksidasi sangat kecil. Teknik kombinasi lebih baik karena pada teknik ini terdapat arang yang berfungsi sebagai adsorben dan juga berfungsi sebagai penghantar.<sup>29</sup> Berperannya arang sebagai penghantar akan meningkatkan kemampuan degradasi polutan organik yang terdapat pada permukaan arang. Arang juga akan mengurangi keterbatasan yang dimiliki oleh elektroda, yang membutuhkan luas permukaan yang spesifik. Luas permukaan yang dimiliki oleh arang akan digunakan oleh elektroda sebagai permukaan untuk terjadinya transfer elektron.<sup>24</sup>



Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa konsentrasi fenol sisa pada menit ke-60 dan 75 mengalami peningkatan. Peningkatan ini mungkin terjadi karena terjadinya proses desorpsi fenol oleh arang aktif.

Kelebihan lain teknik kombinasi yaitu dapat meregenerasi arang secara langsung sehingga arang yang telah digunakan dapat digunakan kembali dan mengurangi penggunaan arang.<sup>25,26</sup> Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terjadi regenerasi arang dengan teknik kombinasi.

Tabel 4.1 Perbandingan persen konversi adsorpsi dan kombinasi 2

ADSORPSI	KONVERSI %	KOMBINASI	% KONVERSI
Adsorpsi 1	10.245	Kombinasi 1	99.983
Adsorpsi 2	3.685	Kombinasi 2	99.154

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa penurunan kemampuan arang pada teknik kombinasi tidak signifikan, hanya terjadi penurunan persen konversi sebesar 0.83 %, Sedangkan pada teknik adsorpsi, penurunan persen konversi setelah penggunaan arang untuk kedua kalinya cukup besar, yaitu sekitar 7 %. Penurunan persen konversi yang kecil pada teknik kombinasi ini menunjukkan bahwa arang tergenerasi.

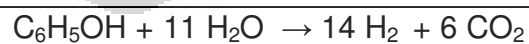
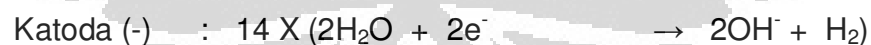
Mekanisme regenerasi arang disebut sebagai elektrodessorpsi, yang mana fenol yang telah diadsorpsi akan didesorpsi oleh permukaan arang dan selanjutnya akan dioksidasi oleh anoda. Dalam pengaruh medan listrik,  $\text{Na}^+$  dari  $\text{NaCl}$  akan bergerak menuju katoda untuk membuat fenol yang berada

didalam arang terdesorpsi pada katoda karena  $\text{Na}^+$  akan bereaksi dengan fenol yang akan membentuk sodium fenoksida. Sodium fenoksida yang terbentuk akan terdesorpsi karena senyawa tersebut sangat sulit untuk diadsorpsi oleh arang dan selanjutnya sodium phenat itu akan dioksidasi oleh proses elektrokimia.<sup>29</sup>

Data potensial reduksi dari masing-masing reaksi yang mungkin terjadi didalam sel elektrolisis.



Reaksi elektrolisis yang terjadi pada katoda dan anoda pada proses degradasi fenol dengan penambahan NaCl adalah sebagai berikut:



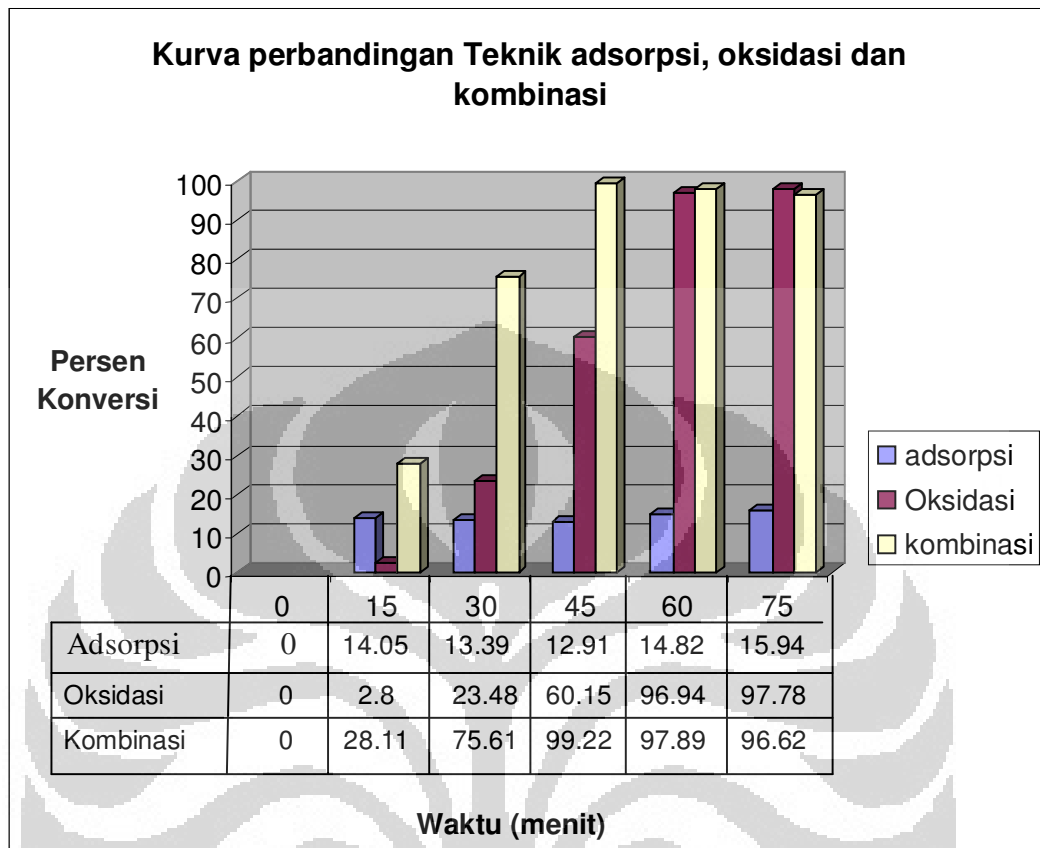
#### 4.3.6 Perbandingan teknik kombinasi, oksidasi dan adsorpsi

Perbandingan teknik kombinasi, oksidasi dan adsorpsi bertujuan untuk mengetahui perbedaan yang dihasilkan pada teknik kombinasi, adsorpsi dan oksidasi dalam persen konversi %.

Untuk mendapatkan hasil % konversi dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ konversi} = \frac{(C \text{ sisa fenol menit } 0) - (C \text{ sisa fenol menit } n)}{C \text{ sisa fenol menit } 0} \times 100 \%$$

di mana : C = konsentrasi (ppm) dan menit n = menit 15, 30, 45, dan 60.



Gambar 4.11 Kurva perbandingan adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi

Berdasarkan Gambar 4.11 terlihat bahwa % konversi larutan pada ketiga teknik mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu. Pada menit ke-15 terlihat bahwa persen konversi oksidasi lebih kecil dibandingkan teknik adsorpsi. Hal tersebut disebabkan karena kemungkinan terbentuknya senyawa benzokuinon dan hydroquinone yang bersifat stabil. Pada menit ke-30 dan 45 terlihat bahwa persen konversi dengan teknik kombinasi memiliki persen konversi yang besar, perbedaan yang sangat jauh dengan teknik

adsorpsi. Hal ini berarti bahwa teknik kombinasi lebih efektif karena dengan waktu yang cukup singkat fenol sudah terdegradasi.

Berdasarkan kurva diatas dapat disimpulkan bahwa pada menit 75 pada teknik adsorpsi memiliki persen konversi sebesar 15.94 %, teknik oksidasi sebesar 97.78 % dan teknik kombinasi sebesar 96.62%. Penurunan persen konversi teknik kombinasi pada menit ke 75 dapat disebabkan terjadinya proses desorpsi fenol pada arang. Berdasarkan hasil ini juga dapat disimpulkan bahwa % konversi untuk teknik kombinasi pada waktu 75 menit, lebih kecil dibandingkan dengan teknik adsorpsi + oksidasi yaitu 100%. Hal tersebut dikarenakan proses adsorpsi dan elektrolisis dalam teknik kombinasi tidak terjadi secara bersamaan, tetapi bertahap. Terjadi proses adsorpsi terlebih dahulu, baru proses elektrolisis selanjutnya ataupun sebaliknya.<sup>28, 37</sup> Pada penelitian ini, berdasarkan Gambar 4.11 terlihat bahwa terjadi proses adsorpsi terlebih dahulu baru proses oksidasi, persen konversi adsorpsi lebih besar daripada proses kombinasi pada menit ke-15.

#### **4.3.7 Isoterm Adsorpsi**

Penentuan isoterm adsorpsi untuk larutan fenol dalam aquadest dan fenol dalam NaCl adalah untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi pada arang sehingga dapat diketahui jenis ikatan yang terjadi antara fenol dengan arang saat adsorpsi. Pada penentuan isoterm adsorpsi ini dibuat variasi konsentrasi fenol 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm yang diadsorpsi menggunakan arang sebanyak 1 gram dalam suhu ruang, dalam

kondisi fenol dalam aquadest dan fenol dalam NaCl. Isoterm adsorpsi yang menggambarkan hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan konsentrasi adsorbat dalam larutan pada temperatur tetap. Isoterm adsorpsi Langmuir yang dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\frac{X}{m} = \frac{K_1 \cdot C}{1 + k_2 \cdot C}$$

Persamaan di atas dapat disusun dengan persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{k_1} + \frac{k_2}{k_1} \cdot C$$

Plot C terhadap C/(x/m) akan menghasilkan persamaan garis lurus.

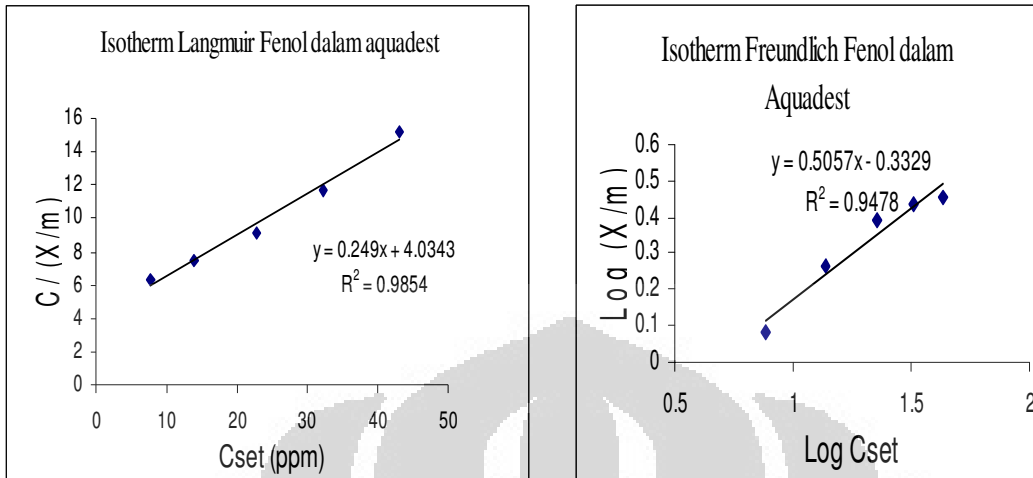
Sedangkan Freundlich menyatakan persamaan dengan bentuk sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n}$$

Persamaan diatas dikonversi ke dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } X/m = \text{log } k + 1/n \text{ log } C_{\text{set}}$$

Dengan memplot log  $C_{\text{set}}$  terhadap log  $x/m$  akan diperoleh persamaan garis lurus sehingga didapat nilai regresi linier.



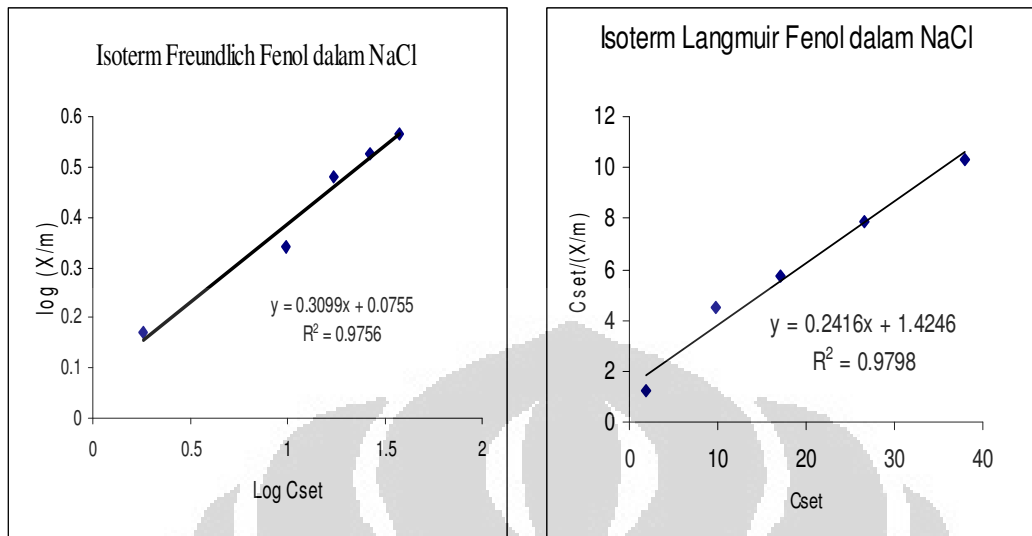
Gambar 4.12 Kurva isoterm untuk fenol dalam aquadest

Dari kurva isoterm adsorpsi diatas terlihat bahwa untuk fenol dalam aquadest nilai  $r^2$  isoterm Freundlich adalah 0.9478 sedangkan isoterm Langmuir nilai  $r^2$  adalah 0.9854. Berdasarkan nilai regresi tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis adsorpsi yang terjadi lebih cenderung mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir. Pada isoterm Langmuir terjadi adsorpsi kimia (kimisorpsi). Pada adsorpsi kimia ikatan yang terjadi dapat sedemikian kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan kembali. Kapasitas adsorpsi maksimum dapat terjadi akibat terbentuknya lapisan monolayer adsorbat pada permukaan adsorben dan tempat adsorpsi bersifat homogen.<sup>2</sup> Isoterm langmuir ini menunjukkan bahwa pada arang yang digunakan memiliki luas permukaan yang sangat besar (500-1400  $\text{m}^2/\text{g}$ ).<sup>30</sup> Namun demikian, dari kedua nilai regresi tersebut perbedaanya tidak terlalu besar, hal ini

menandakan bahwa kemungkinan adsorpsi Freundlich dan Langmuir dapat terjadi dalam larutan fenol.

Sedangkan untuk adsorpsi larutan fenol dalam NaCl, isoterm yang terjadi lebih cenderung isoterm Langmuir. Berdasarkan gambar 4.13 dapat diketahui nilai regresi untuk isoterm Langmuir adalah 0.9798 dan untuk nilai regresi isoterm Freundlich adalah 0.9756. Nilai regresi yang tidak terlalu jauh tersebut menunjukkan bahwa pada fenol dalam NaCl terjadi dua interaksi, yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika terjadi ketika gaya tarik-menarik molekul antara zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari gaya tarik-menarik zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi di atas permukaan adsorben. Ikatan tersebut sangat lemah sehingga mudah diputuskan apabila konsentrasi adsorben berubah, jadi proses ini berlangsung bolak-balik.<sup>39</sup> Terjadinya adsorpsi fisika dapat dibuktikan dengan terjadi desorpsi fenol pada teknik adsorpsi. Terjadinya proses desorpsi pada teknik kombinasi juga membuktikan bahwa terjadi adsorpsi fisika.<sup>2</sup>





Gambar 4.13 Isoterm fenol dalam NaCl

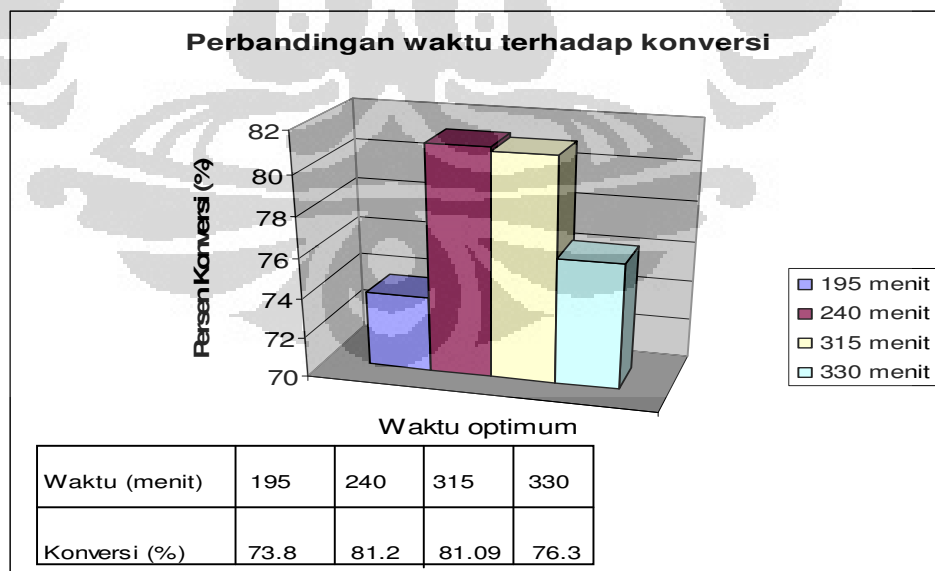
Berdasarkan data FTIR terlihat terdapatnya puncak yang menandakan gugus CN.<sup>19</sup> Pada  $2358.94 \text{ cm}^{-1}$  terjadi serapan yang medium dan tajam, dan puncak tersebut mengidentifikasi terdapatnya CN. Oleh karena itu, isoterm yang lebih dominan terjadi adalah isoterm langmuir.

Kapasitas adsorpsi karbon terhadap suatu zat terlarut dipengaruhi oleh karbon dan zat yang terlarut, kelarutan, struktur molekul, dan berat molekul zat terlarut. Kemampuan karbon untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa.

## 4.4 Sistem Semi-Kontinyu

### 4.4.1 Sistem Semi-Kontinyu Fenol dalam NaCl

Penelitian dengan sistem semi-kontinyu ini bertujuan untuk mengaplikasikan penurunan fenol dalam skala industri. Pada pengaplikasiannya dibuat sebuah alat yang terdiri dari 3 bagian. Bagian yang pertama merupakan tempat masuknya larutan, bagian kedua merupakan tempat dilakukannya proses adsorpsi dan oksidasi fenol dan yang terakhir merupakan tempat keluarnya larutan yang telah mengalami proses degradasi. Pada proses degradasi dengan sistem semi-kontinyu ini digunakan arang sebanyak 294 gram dan fenol sebanyak 900 mL. Fenol dialirkan sedikit-demi sedikit sampai waktu yang diinginkan. Varian waktu yang digunakan adalah 195 menit, 240 menit, 315 menit dan 330 menit.



Gambar 4. 14 Kurva perbandingan persen konversi terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4. 14 terlihat bahwa waktu optimum yang didapatkan untuk penurunan fenol adalah 240 menit dengan persen konversi sebesar 81.2 %. Bertambahnya waktu pengontakan fenol dengan arang dan proses elektrolisis tidak menjamin bahwa hasil konversi akan meningkat. Hal tersebut terlihat dari kurva bahwa persen konversi fenol pada waktu 330 menit lebih kecil dibandingkan dengan waktu 315 menit. Jadi urutan persen konversi adalah 240 menit > 315 menit > 330 menit > 195 menit. Penurunan persen konversi ini dapat disebabkan karena fenol yang telah berada dalam arang terdesorpsi kembali ke larutan. Pada penentuan waktu optimum dengan sistem semi-kontinyu ini digunakan arang dalam bentuk granular sehingga permukaan arang yang dapat digunakan sebagai penjerap kontaminan berkurang dan mengakibatkan terjadi penurunan konversi.<sup>17</sup> Penggunaan arang granular ini ditujukan agar dapat diaplikasikan dalam skala industri, sistem batch sangat sulit untuk diterapkan dalam skala industri. Pada sistem semi-kontinu, permukaan arang digunakan sebagai permukaan elektroda untuk transfer elektron.

Persen konversi yang dihasilkan pada waktu optimum pada sistem semi-kontinyu ini adalah 81.2 %, lebih kecil dibandingkan dengan sistem batch. Sistem semi-kontinyu yang tanpa disertai pengadukan akan berpengaruh pada proses difusi dan penempelan molekul adsorbat. Adsorpsi dibatasi terutama oleh proses *film diffusion* dan *pore diffusion*, proses ini tergantung pada besarnya kontak dalam sistem. Aliran fenol pada reaktor memberi sedikit pengaruh pada timbulnya turbulensi yang bisa menimbulkan

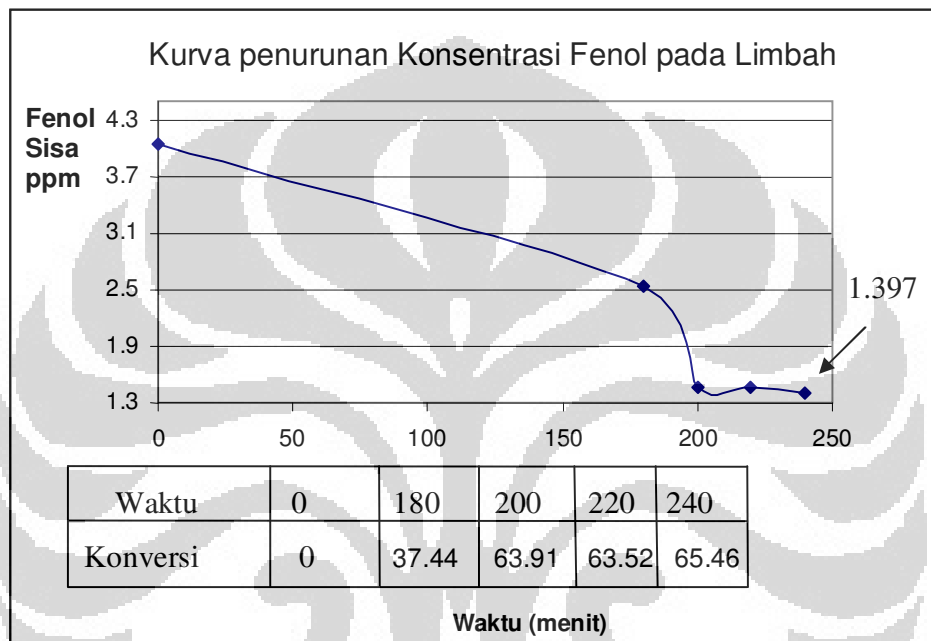
efek pengadukan sehingga adsorpsi berlangsung lambat. Menurut Webber, jika pergolakan antar partikel dan fluida relatif kecil, maka lapisan *film* disekeliling partikel akan tebal sehingga adsorpsi berlangsung lambat. Apabila dilakukan pengadukan yang cukup maka kecepatan *pore diffusion* akan meningkat.<sup>38</sup>

#### 4.4.2 Sistem Semi-Kontinyu Menggunakan Limbah

Penggunaan limbah fenol pada sistem semi-kontinyu ini bertujuan untuk mengetahui penurunan kandungan fenol pada limbah fenol dengan menggunakan sistem ini. Selain itu, penelitian ini ingin mengetahui penurunan COD limbah yang dihasilkan dengan menggunakan sistem semi-kontinyu dan adsorpsi arang. Limbah yang digunakan adalah Limbah yang berasal dari P.T Protek, yang diambil pada tanggal 25 mei 2009. Konsentrasi kandungan fenol pada limbah yang dihasilkan perusahaan tersebut setiap harinya berbeda-beda. Pada tanggal 25 mei 2009, konsentrasi fenol yang terdapat pada limbah adalah sebesar 5.3923 ppm.

Perusahaan ini merupakan perusahaan pembuat bahan pembersih lantai, sabun dan lain-lain sehingga limbah yang dihasilkannya pun merupakan campuran dari bahan-bahan tersebut. Kemungkinan kandungan senyawa yang ada pada limbah dapat berupa fenol, resorcinol, katekol, *o*-kresol, *p*-kresol, lisol, pirogalol dan xilenol.<sup>29</sup> Pada proses penurunan konsentrasi fenol pada limbah ini digunakan teknik kombinasi elektrokimia dan adsorpsi arang kayu gelam dengan menggunakan kondisi optimum yang

didapatkan pada penelitian 4.4.1 yaitu 240 menit. Teknik elektrokimia banyak digunakan untuk melakukan pengolahan limbah, karena teknik ini dapat langsung digunakan dekat sumber polusi dan menghasilkan penurunan yang cukup signifikan terhadap konsentrasi limbah.<sup>25</sup>



Gambar 4.15 Kurva penurunan konsentrasi fenol pada limbah

Dari gambar 4.15 terlihat bahwa hasil konversi pada waktu optimum yaitu 240 menit hanya menghasilkan 65.46 %. Persen konversi pada waktu optimum sistem semi-kontinyu dengan menggunakan fenol 81.2 %, sedangkan dengan menggunakan limbah sebesar 65.46 %. Terdapatnya senyawa-senyawa lain pada limbah dapat menyebabkan senyawa-senyawa yang dapat kemampuan okidasi yang lebih baik akan terlebih dahulu

teroksidasi dibandingkan fenol. Kemampuan arang untuk mengadsorpsi fenol berkurang karena senyawa yang memiliki berat molekul yang lebih kecil lebih mudah teradsorpsi pada arang.<sup>28,38</sup>

#### 4.5 COD Limbah

Penentuan COD pada penelitian ini adalah bertujuan untuk mengukur beban pencemaran dari sampel limbah yang digunakan pada penelitian ini. Hasil penentuan ini sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi kondisi toksik dan tentang adanya bahan-bahan organik yang non-biodegradable.<sup>38</sup>

Secara alamiah bahan organik dalam air dapat diuraikan oleh bakteri, tetapi tidak semua bahan organik dapat teruraikan oleh bakteri dalam waktu yang singkat dan bahkan terkadang tidak terjadi biodegradable. Bahan organik ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas air.<sup>20,21</sup> Oleh karena itu, konsentrasi organik dalam limbah dan setelah dibuang di lingkungan perlu diketahui untuk mencegah gangguan terhadap lingkungan.

Uji COD ini meliputi semua bahan organik, baik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme maupun tidak dapat diuraikan. Dengan kata lain, COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik secara kimia atau jumlah oksidan  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  yang bereaksi dengan sampel dan dinyatakan sebagai mg  $\text{O}_2$  untuk tiap 1000 mL contoh uji.<sup>22,38</sup>

Senyawa organik dan anorganik, terutama organik dalam contoh uji dioksidasi oleh  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dalam refluks tertutup menghasilkan  $\text{Cr}^{3+}$ . Jumlah

oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen ( $O_2$  mg /L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak.<sup>22</sup>  $Cr_2O_7^{2-}$  kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 400 nm dan  $Cr^{3+}$  kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm.

Penggunaan  $K_2Cr_2O_7$  sebagai pengoksidator pada penelitian ini dikarenakan karena ia dapat mengoksidasi hampir semua senyawa organik. Pada penelitian degradasi fenol dengan menggunakan metode semi-kontinu ini ditambahkan NaCl sebagai elektrolit. Dengan adanya keberadaan NaCl didalam sampel ini dapat menyebabkan ketidakvalidan dalam penghitungan COD, karena  $K_2Cr_2O_7$  merupakan oksidator kuat yang dapat mengoksidasi Cl<sup>-</sup> menjadi  $Cl_2$ :



Dikarenakan kemampuan  $K_2Cr_2O_7$  tersebut, maka ditambahkan merkuri sulfat ( $HgSO_4$ ). Merkuri sulfat akan membentuk kompleks merkuri klorida. Selain itu pula  $HgSO_4$  berfungsi sebagai katalis yang akan mempercepat oksidasi rantai lurus. Tanpa kehadiran katalis tersebut, oksidasi terhadap rantai lurus sulit terjadi.<sup>22,35,38</sup>

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa COD awal limbah adalah 3904.353 ppm, sedangkan COD akhir limbah adalah sebesar 110.918 ppm. Persentase penurunan COD yang dihasilkan dengan menggunakan sistem semi-kontinyu sebesar 97.1591%.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini maka dapat disimpulkan :

1. Kondisi optimum adsorpsi adalah fenol dalam NaCl 1 %
2. Konsentrasi elektrolit dan potensial optimum adalah larutan fenol dalam NaCl 1 % dengan potensial 6 volt
3. Hasil persen konversi pada penelitian dengan arang kayu gelam dalam sistem batch adalah teknik adsorpsi 15.94 %, teknik oksidasi 99.87 %, dan teknik kombinasi 96.63 %.
4. Hasil persen konversi pada penelitian dengan sistem semi-kontinyu adalah untuk fenol 81.26 % dan untuk limbah adalah 65.46 % dengan waktu optimum 4 jam.
5. Penurunan COD untuk limbah yaitu sebesar 97.16%



## 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk mencari pengaruh anoda yang digunakan pada teknik elektrolisis dan mencari senyawa intermediet dari tiap-tiap anoda yang digunakan dan mencari pengaruh pH terhadap adsorpsi, oksidasi dan kombinasi. Serta membuat suatu rancangan alat yang dapat digunakan dalam skala besar pada industri.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Subagya, Yusuf, dkk. 2001. Diktat Penuntun Kuliah Ekologi. Universitas Terbuka. Jakarta.
2. Budy, setiya. 2008. perbedaan Adsorpsi Phenol Arang Tempurung Kelapa dengan Arag Sono. STIKES Surya Mitra Husada. Kediri.
3. Alaerts, G & Sri Sumestri Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional.
4. Subiarto. 1999/2000. *Penyerapan Sf-gO dan Co-60 dari Limbah Radioaktif Cair dengan Arang Aktif Lokal, Uspen P2PLR –BATAN*. Serpong.
5. Tryana, Meilita Sembiring, ST & Sarma, Tuti Sinaga, ST. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
6. M. T. Sorour, dkk. 2006. *Phenolic Wastewater Treatment. Sanitary Engineering Department, Alexandria University*. Alexandria, Egypt.
7. M. Akgun, Aydin. 2005. *Sorption of Cadmium And Lead On Activated Carbons Produced From Resin And Agricultural Wastes*. Middle East Technical University.
8. Sembiring, Meilita Tryana. 2003. *Arang aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
9. <http://livestock.com/chemisty/charcoal.htm>
10. <http://chemistry.about.com/od/chemistryfaqs/f/charcoal.htm>

11. Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid 1 Edisi ke Empat*. Terj. Dari Physical chemistry, oleh Dra. Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga. Jakarta: xv + 530 hlm.
12. Simanjuntak, Lenthia. 2008. *Studi Penurunan Konsentrasi Fenol Menggunakan Teknik Adsorpsi Karbon Aktif Dan Teknik Elektrokimia*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok.
13. Anshory, Irfan. 2001. *Kimia*. Erlangga. Jakarta
14. Sinko, J.P., 2006, *Martin's Physical Pharmacy and Pharmaceutical Science : Physical Chemical and Biopharmaceutical Principles in the Pharmaceutical Sciences*.
15. Brady, James E. 1991. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Edisi Kelima Jilid Satu*. Terjemahan dari General chemistry and principles & structure, oleh Sukmariah, Maun, K., Anas, T.S, Sally. Binarupa aksara. Jakarta : xv + 633 hlm
16. Martin, A., Bustamante, P., 1993, *Physical Pharmacy : Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences*, 4th Ed, Lea & Febiger, Philadelphia.
17. Silmina, Ulina, dkk. 2009. *Penurunan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Pada Limbah Minyak Pelumas Yang Berasal Dari Bengkel Dengan Menggunakan Reaktor Pemisah Minyak Dan Karbon Aktif Serta Zeolit Sebagai Adsorben*. Universitas Negeri Malang. Malang.

18. Juliandini, Fithrianita. 2008. *Uji Kemampuan Karbon Aktif Dari Limbah Kayu Dalam Sampah Kota Untuk Penyisihan Fenol*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
19. Sunardi. 2006. *Penuntun Praktikum Analisa Instrumentasi*. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok.
20. [http://google.com/pengetahuan populer](http://google.com/pengetahuan%20populer). 10 juni 2009
21. <http://google.com/COD>. 10 juni 2009
22. [http://google.com/chemical oxygen demand](http://google.com/chemical%20oxygen%20demand). 10 juni 2009
23. AL-Mazna, H. & B. E. Conway. 2001. *Auto-Inhibition Effects In Anodic Oxidation Of Phenols For Electrochemical Waste-Water Purification*. Departemen of Chemistry, University of Ottawa. Ottawa, Kanada
24. Zhou, M.H. & L.C. Lei. *Electrochemical Regeneration Of Activated Carbon Loaded With p-Nitrophenol in a fluidized Electrochemical Reactor*. Institute of Environmental Engineering, Zhejiang university. Hangzhou, China.
25. Lie, Xiao Yan, dkk. 2005. *Reaction and Pathway Mechanism Of The Electrochemical Degradation Of Phenol On Different Electrodes*. The university of Hongkong. Hongkong, China.
26. Dwiwahyuni, Arum. 2007. *Studi Pendahuluan Regenerasi Karbon Aktif Yang Terjenuhkan Senyawa Fenol Dengan Metode Elektrolisis*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok.
27. Wu, Zucheng, cong Yanqing, dkk. 2004. *p-nitrophenol Abatement by The Combination of Electrocatalysis and Activated Carbon*.

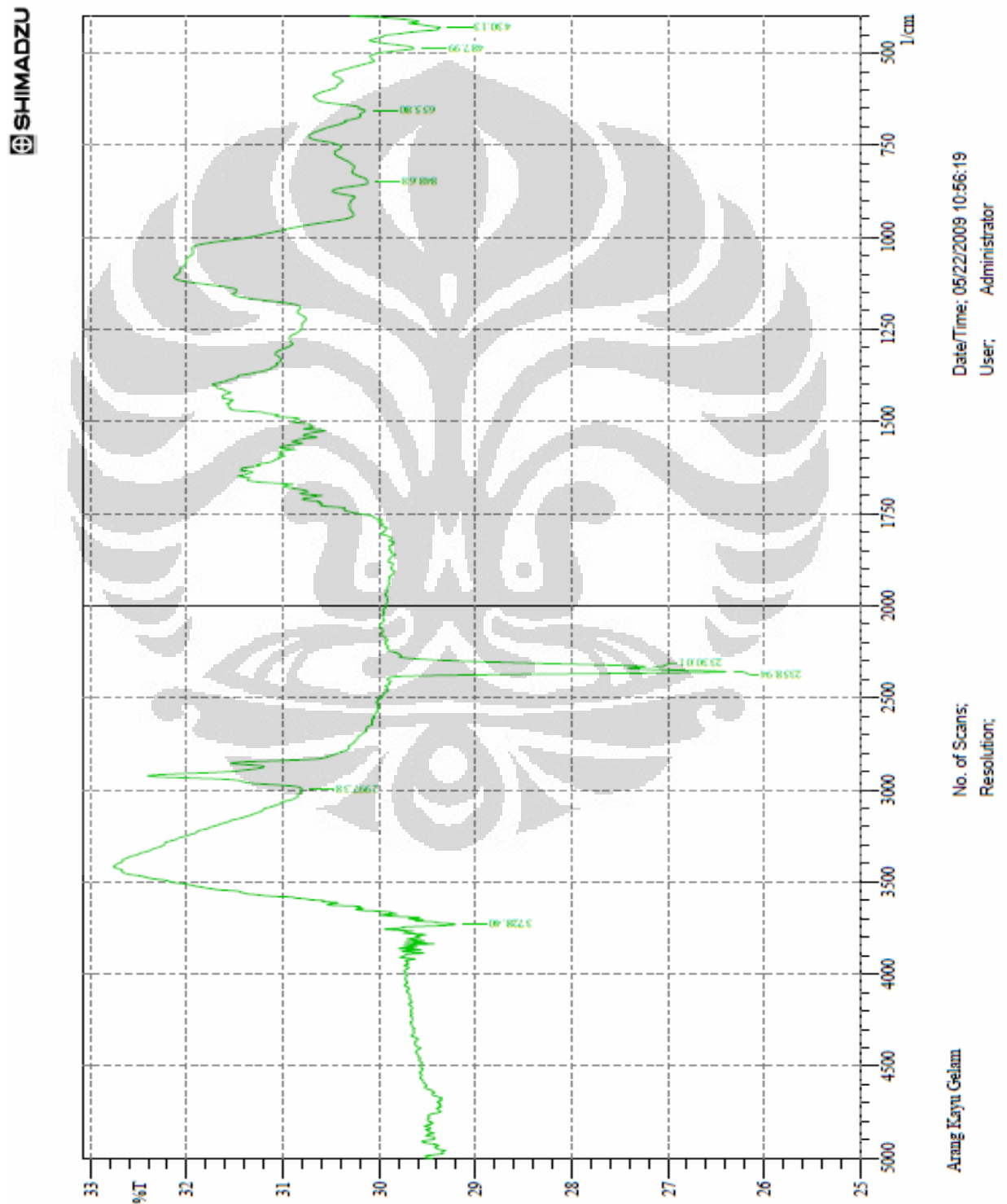
Departement of Environmental Science and Engineering, Zhejiang university. Hangzhou, China.

28. Khairunisa, Ratna. 2008. *Kombinasi Teknk Elektrolisis Dan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol Dalam Air*. Karya Utama Sarjana Kimia. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok.
29. Zhang, Huiping, Liyi Ye and Hui Zhong. 2002. *Regeneration of Phenol-Saturated Activated Carbon In A Electrochemical Reactor*. Departement of Chemical Engineering, Ziamen niversity. Republic Of China.
30. Dogan, Dogan & Haluk Turkdemir. *Electrochemical Oxidation Of Textile Dye Indigo*. Departement of Science & Chemistry Departement. Malatya, Turkey.
31. Baksi, S., S. Biswas, S. Mahajan. 1998. *Actived Carbon From Bamboo-Technology Development Towards Commercialization*.
32. Rajkumar, D, K. Palanivelu, and N Balasubramanian. 2003. Combined Electrochemical Degradation And Activated Carbon Adsorption Treatment For Wastewater Containing Mixed Phenolic Compound.
33. Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid 2 Edisi ke Empat*. Terj. Dari Physical chemistry, oleh Dra. Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga. Jakarta:xv + 530 hlm.
34. Sunardi. 2004. Diktat Penuntun Kuliah Elektrokimia Analisis dan Dasar-Dasar Pemisahan. Departemen Kimia. Depok

35. Sihombing, Riwandi. 2002. *Penenuntun Praktikum Kimia Lingkungan Analisa Air*. Departemen Kimia, FMIPA UI. Depok
36. Fisik, Tim Kimia. 2001. *Penuntun Praktikum Kimia Fisik (Kelarutan Timbal Balik)*. Departemen Kimia, FMIPA UI. Depok
37. Harry M. Freeman: 1989. *Standarad Handbook of hazardous Waste Treatment and Disposal*, Mc. Graw Hill Book Company, U.S.A.
38. Wijaya, Hanung. 2008. *Penggunaan Tanah Laterit Sebagai Media Adsorpsi Untuk Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Pengolahan Limbah Cair DI Rumah Sakit BAKTININGSIH KLEPU*. Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia. YOGYAKARTA
39. Wang, joseph. 2000. *Analytical Electrochemistry Second edition*. Wiley-VCH.USA

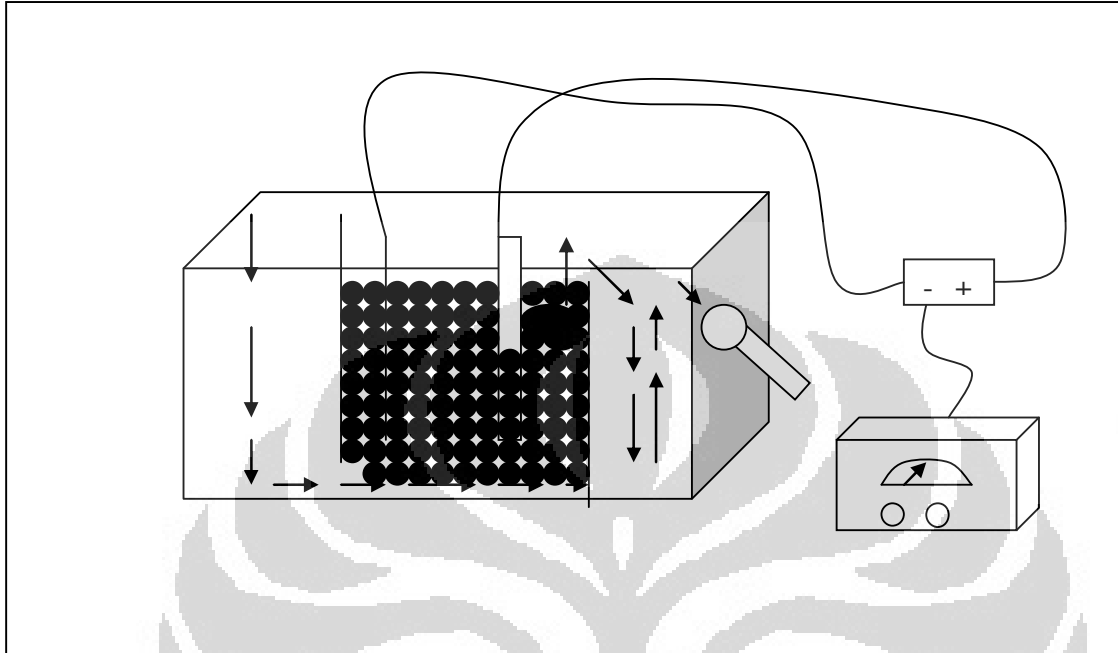


## Lampiran 1. Data FTIR Arang

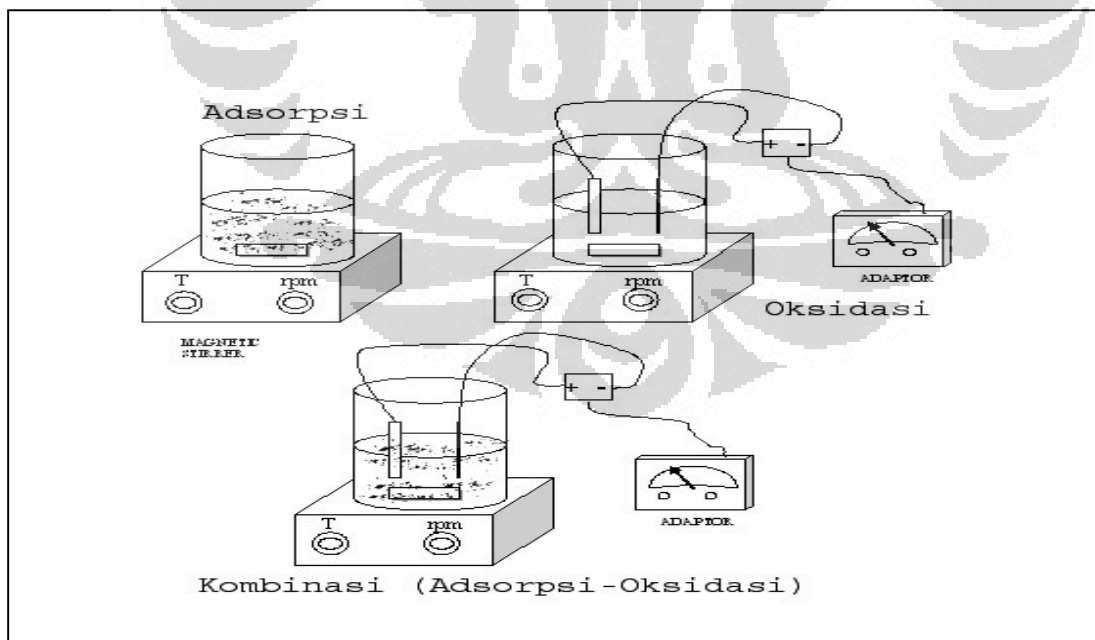




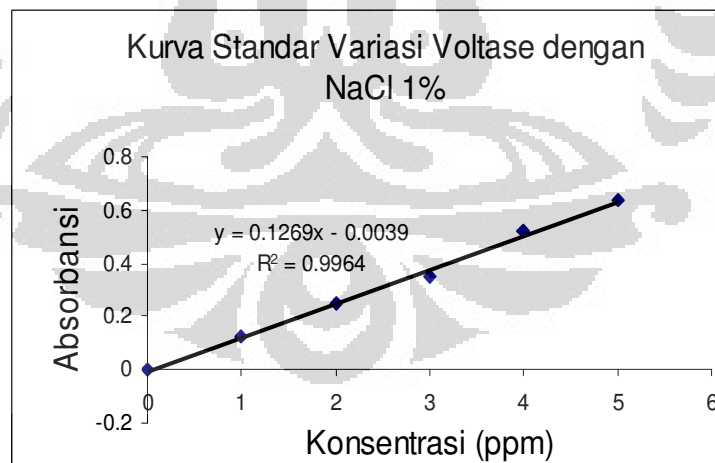
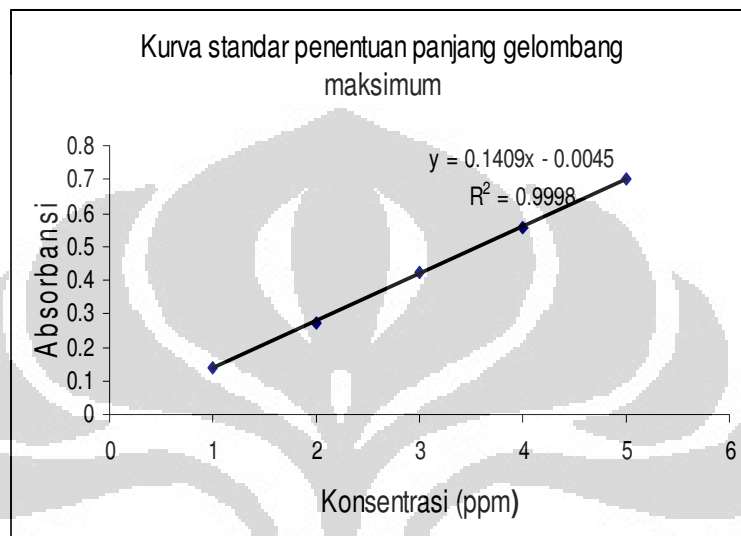
## Lampiran 2. Reaktor



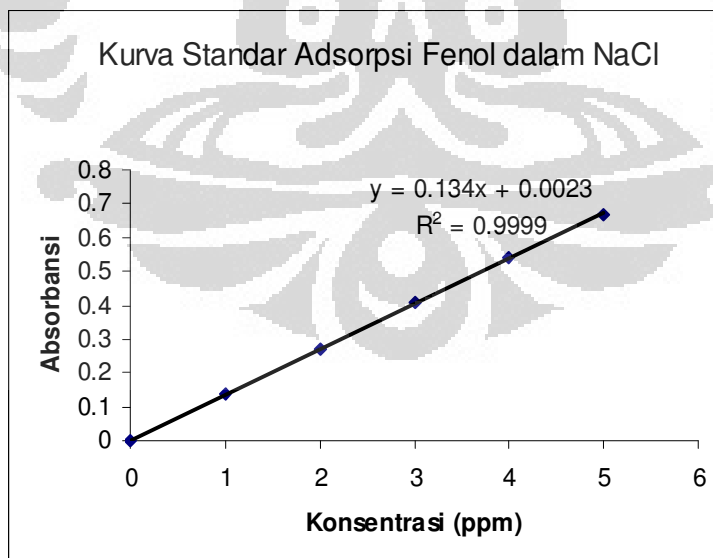
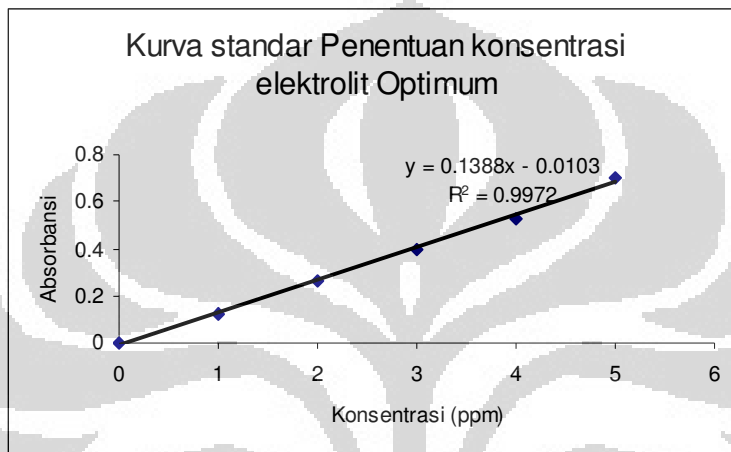
Reaktor sistem semi-kontinyu



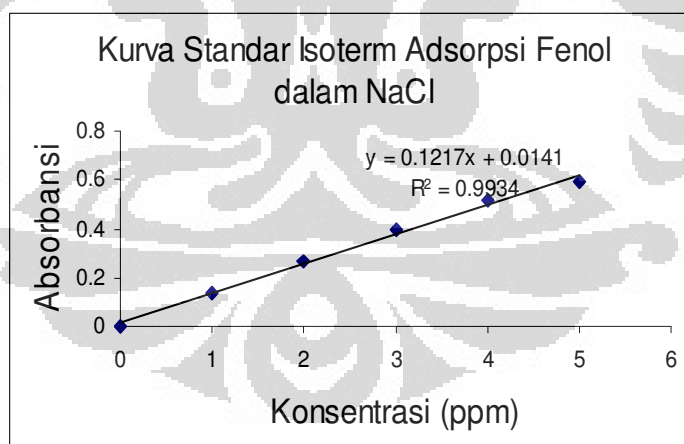
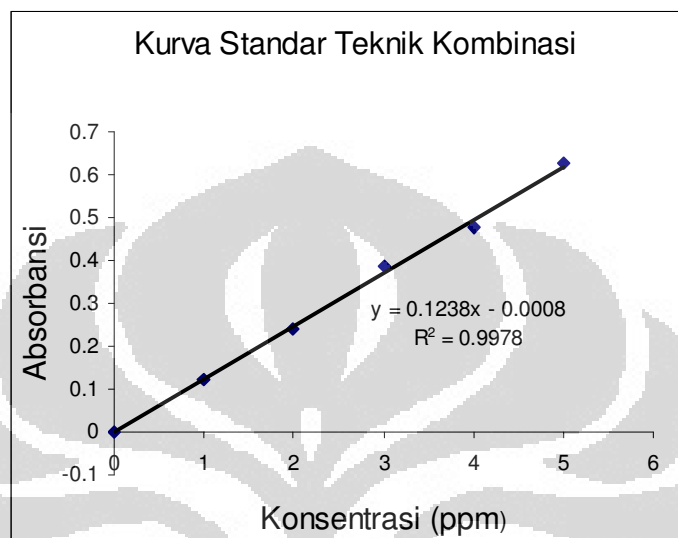
Reaktor sistem *batch*

**Lampiran 3. Kurva standar**

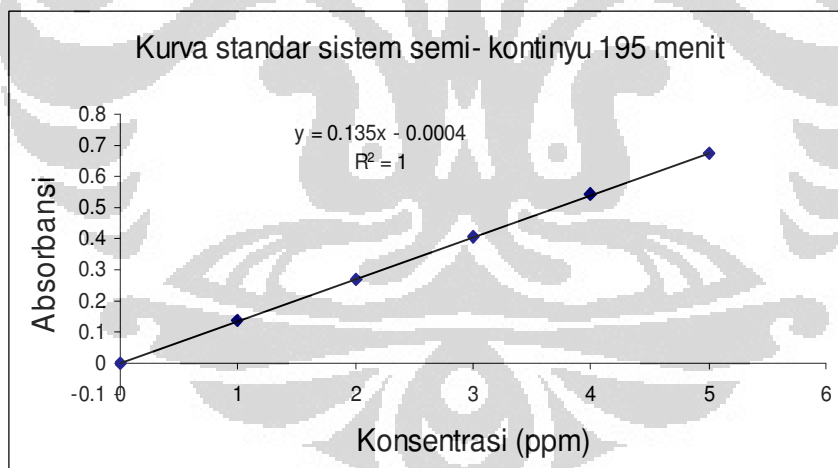
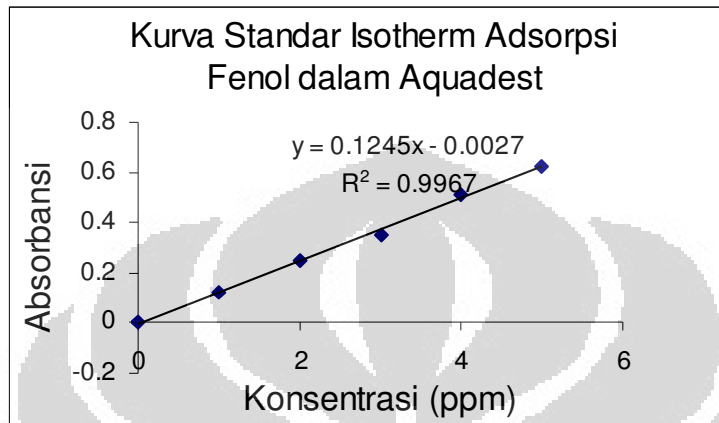
## Lampiran 3 (lanjutan)

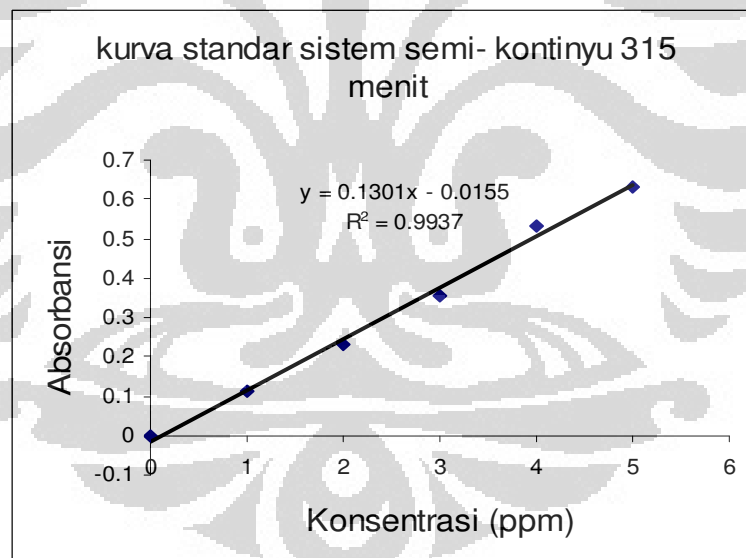
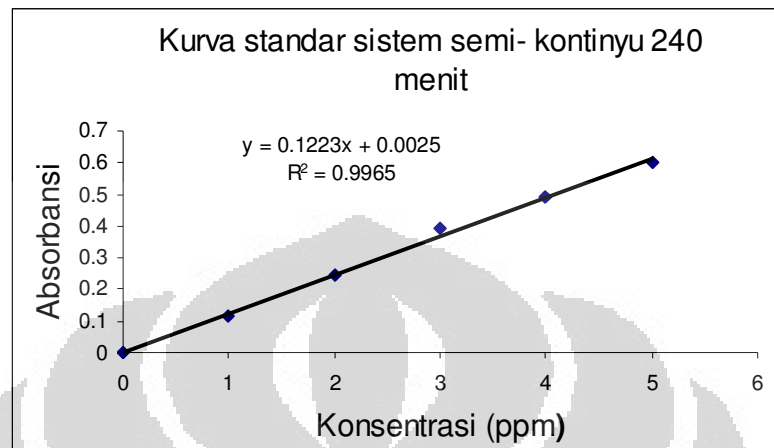


## Lampiran 3 (lanjutan)

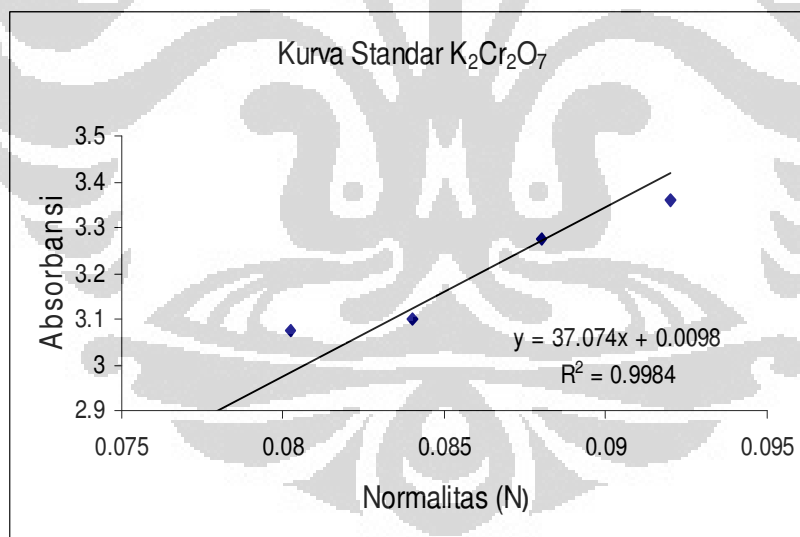
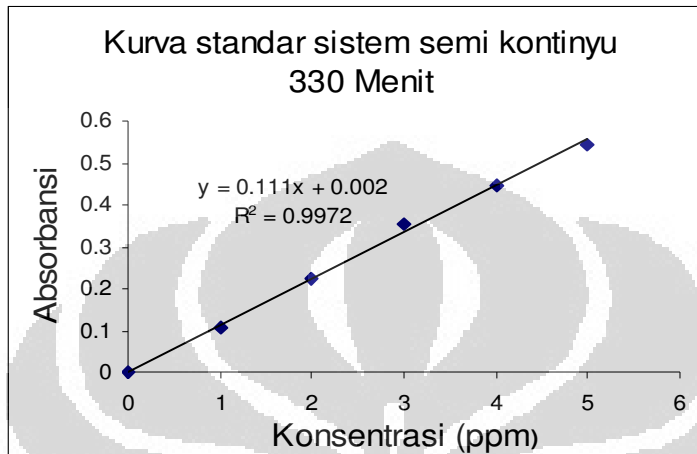


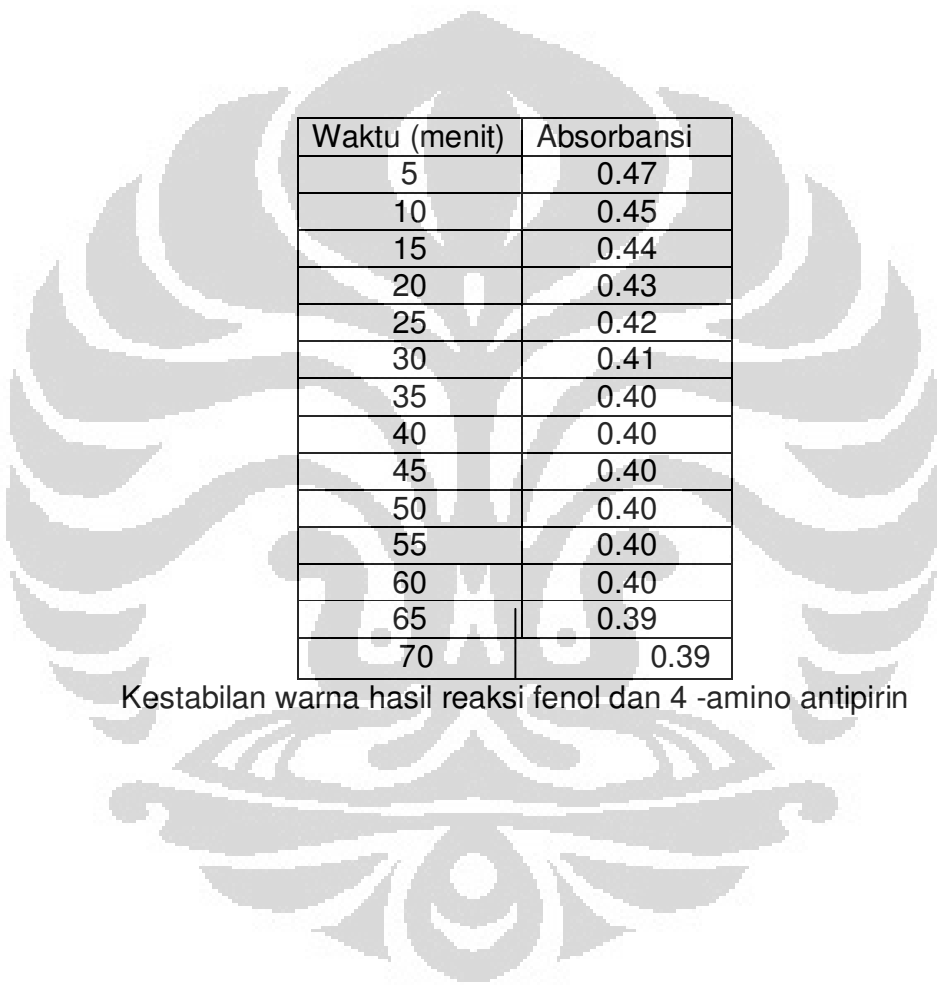
## Lampiran 3 (lanjutan)



**Lampiran 3 (lanjutan)**

## Lampiran 3 (lanjutan)



**Lampiran 4.** Data Kestabilan Warna Reaksi Fenol dan 4 -amino antipirin

Waktu (menit)	Absorbansi
5	0.47
10	0.45
15	0.44
20	0.43
25	0.42
30	0.41
35	0.40
40	0.40
45	0.40
50	0.40
55	0.40
60	0.40
65	0.39
70	0.39

Kestabilan warna hasil reaksi fenol dan 4 -amino antipirin



**Lampiran 5. Data Penentuan Potensial Optimum**

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.12836
2	0.24963
3	0.34961
4	0.51836
5	0.63428

## Standar variasi voltase dengan NaCl 1%

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	%
0	0.69918	5.540426	110.8085		
15	0.69656	5.519779	110.3956	0.412913	0.372637
30	0.6874	5.447597	108.9519	1.856569	1.675476
45	0.6421	5.090623	101.8125	8.996049	8.118555
60	0.65403	5.184634	103.6927	7.115829	6.421735
75	0.61247	4.857132	97.14263	13.66587	12.33287

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% pada potensial 3 Volt

## Pengenceran 20 X

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	%
0	0.70477	5.584476	111.6895		
15	0.65489	5.191411	103.8282	7.861289	7.038521
30	0.6817	5.402679	108.0536	3.635914	3.255377
45	0.66559	5.275729	105.5146	6.174922	5.52865
60	0.54668	4.338692	86.77384	24.91566	22.30797
75	0.50858	4.038455	80.76911	30.92039	27.68424

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% pada potensial 4 Volt

## Pengenceran 20 X

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	%
0	0.66781	5.293223	105.8645		
15	0.55733	4.422616	88.45232	17.41218	16.44761
30	0.26857	2.147124	42.94247	62.92203	59.43638
45	0.00136	0.04145	0.828999	105.0355	99.21692
60	-0.0019	0.01576	0.315209	105.5493	99.70225
75	-0.00304	0.006777	0.13554	105.729	99.87197

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% pada potensial 6 Volt

### Lampiran 6. Data Penentuan Konsentrasi Optimum Elektrolit

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.12419
2	0.26735
3	0.3985
4	0.52617
5	0.70433

Data Standar Variasi elektrolit dengan potesial 6 Volt

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.64933	4.752378	95.04755	0	0
15	0.63085	4.619236	92.38473	2.663024	2.801781
30	0.4944	3.636167	72.72334	22.32441	23.48762
45	0.25251	1.893444	37.86888	57.17887	60.15818
60	0.00984	0.145101	2.902017	92.14573	96.94698
75	0.0043	0.105187	2.103746	92.944	97.78685

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% pada potensial 6 Volt

Pengenceran 20 X

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.69928	5.112248	102.245		
15	0.25839	1.935807	38.71614	63.52886	62.13395
30	0.00912	0.139914	2.798271	99.44673	97.26317
45	0.0166	0.193804	3.876081	98.36892	96.20903
60	0.0194	0.213977	4.279539	97.96546	95.81443
75	0.0175	0.200288	4.005764	98.23924	96.08219

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 3 % pada potensial 6Volt

Pengenceran 20 X

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.66188	4.842795	96.85591		
15	0.04032	0.364697	7.293948	89.56196	92.46928
30	0.03893	0.354683	7.09366	89.76225	92.67607
45	0.03579	0.332061	6.64121	90.2147	93.14321
60	0.03839	0.350793	7.01585	89.84006	92.7564
75	0.04776	0.4183	8.365994	88.48992	91.36243

Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5 % potensial 6Volt

**Lampiran 7. Data penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi**

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.13863
2	0.26921
3	0.4063
4	0.5399
5	0.66989

Standar teknik adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 1 %

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.72085	5.362313	107.2463		
15	0.61983	4.608433	92.16866	15.07764	14.05889
30	0.6246	4.64403	92.8806	14.3657	13.39506
45	0.62802	4.669552	93.39104	13.85526	12.9191
60	0.6143	4.567164	91.34328	15.90302	14.8285
75	0.60628	4.507313	90.14627	17.10003	15.94464

Teknik adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 1 %

Pengenceran 20 X

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.11725
2	0.23233
3	0.36072
4	0.48526
5	0.61205

Standar adsorpsi fenol dalam aquadest

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.5262	4.336052	108.4013		
15	0.47325	3.90416	97.604	10.7973	9.924238
30	0.47477	3.916558	97.91395	10.48735	9.63935
45	0.46453	3.833034	95.82586	12.57544	11.5586
60	0.4518	3.729201	93.23002	15.17128	13.94454
75	0.44406	3.666069	91.65171	16.74959	15.39522

Teknik adsorpsi larutan fenol dalam aquadest (pengenceran 25 X)

### Lampiran 8. Data Teknik Kombinasi

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.12354
2	0.24121
3	0.38469
4	0.47716
5	0.62575

Data standar teknik kombinasi

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.65283	5.279725	105.5945		
15	0.46908	3.795477	75.90953	29.68497	28.11223
30	0.15857	1.287318	25.74637	79.84813	75.6177
45	0.00429	0.041115	0.822294	104.7722	99.22127
60	0.01293	0.1110905	2.218094	103.3764	97.89942
75	0.02126	0.178191	3.563813	102.0307	96.625

Teknik kombinasi larutan fenol dalam NaCl 1%

Pengenceran 20 X

**Lampiran 9.** Data Isoterm Adsorpsi Fenol dalam NaCl

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.13365
2	0.26501
3	0.39886
4	0.51781
5	0.59444

Data standar isoterm adsorpsi fenol dalam NaCl

m	C	Cset	Cads	X	X/m	Log Cset	log (X/m)
1.0146	7.8081	1.8221	5.9860	1.4965	1.4749	0.2605	0.1687
1.0008	18.6031	9.8438	8.7592	2.1898	2.1880	0.9931	0.3400
1.0105	29.3405	17.1650	12.1755	3.0438	3.0122	1.235	0.4788
1.0085	40.1622	26.5756	13.5866	3.3966	3.3680	1.4244	0.5273
1.0008	52.6068	37.9313	14.6754	3.6688	3.6659	1.5789	0.56418

Isoterm adsorpsi Freundlich fenol dalam NaCl 1 %

m	C	Cset	Cads	X	X/m	Cset	C/(X/m)
1.0146	7.8081	1.8221	5.9860	1.49650	1.4749	1.8221	1.2353
1.0008	18.6031	9.8438	8.7592	2.1898	2.1880	9.84387	4.4989
1.0105	29.3405	17.1650	12.1755	3.0438	3.0122	17.1650	5.6984
1.0085	40.1622	26.5756	13.5866	3.3966	3.3680	26.5755	7.8905
1.0008	52.6068	37.9313	14.6754	3.6688	3.6659	37.9313	10.3470

Isoterm adsorpsi Langmuir fenol dalam NaCl 1 %

**Lampiran 10.** Data Isoterm Adsorpsi Fenol dalam Aquadest

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.12605
2	0.24655
3	0.34686
4	0.51256
5	0.6196

Data standar isotherm adsorpsi fenol dalam aquadest

m	C	Cset	Cads	X	X/m	Log Cset	log (X/m)
1.0034	12.5371	7.6760	4.8610	1.2152	1.2111	0.8851	0.0831
1.008	21.2794	13.8342	7.4451	1.8612	1.8465	1.1409	0.2663
1.0074	32.6941	22.6969	9.9971	2.4992	2.4809	1.3559	0.3946
1.0269	43.4202	32.1580	11.2621	2.8155	2.7417	1.5072	0.4380
1.0331	54.7124	43.0065	11.7058	2.9264	2.8327	1.6335	0.4522

Isoterm adsorpsi freundlich fenol dalam aquadest

m	C	Cset	Cads	X	X/m	Log Cset	log (X/m)
1.0034	12.5371	7.6760	4.8610	1.2152	1.2111	0.8851	0.0831
1.008	21.2794	13.8342	7.4451	1.8612	1.8465	1.14095	0.2663
1.0074	32.6941	22.6969	9.9971	2.4992	2.4809	1.3559	0.39461
1.0269	43.4202	32.1580	11.2621	2.8155	2.7417	1.5072	0.4380
1.0331	54.7124	43.0065	11.7058	2.9264	2.8327	1.6335	0.4522

Isoterm adsorpsi Langmuir fenol dalam aquadest

**Lampiran 11.** Data Sistem Semi-Kontinyu 195 menit

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.13469
2	0.26837
3	0.40434
4	0.54213
5	0.67348

Standar sistem semi-kontinyu 195 menit

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.54432	4.0349	100.8741		
135	0.15062	1.1186	27.9666	72.9074	72.27567
155	0.151	1.1214	28.0370	72.8370	72.20591
175	0.1637	1.2155	30.3888	70.4852	69.87444
195	0.14244	1.0580	26.4518	74.4222	73.77736

Sistem semi-kontinyu larutan fenol dalam NaCl 1% waktu alir 195 menit

Pengenceran 25 X

### Lampiran 12 Data Sistem Semi-kontinyu 240 menit

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.11618
2	0.24512
3	0.39404
4	0.49419
5	0.59923

Data standar sistem semi-kontinyu 240 menit

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.6277	5.1125	102.2518		
180	0.1101	0.8803	17.6075	84.6442	82.7802
200	0.1239	0.9932	19.8642	82.3875	80.5731
220	0.1214	0.9722	19.4439	82.8078	80.9842
240	0.1196	0.9582	19.1643	83.0874	81.2576

Sistem semi-kontinyu larutan fenol dalam NaCl 1% waktu alir 240 menit

Pengenceran 20 X



**Lampiran 13** Data Sistem Semi-Kontinyu 315 menit

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.11121
2	0.22842
3	0.35271
4	0.53423
5	0.63208

Data standar sistem semi-kontinyu 315 menit

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.5284	4.1810	104.5273		
255	0.0942	0.8435	21.0876	83.4396	79.8257
275	0.1002	0.8893	22.2348	82.2924	78.7282
295	0.1022	0.9046	22.6172	81.9100	78.3623
315	0.0873	0.7905	19.7636	84.7636	81.0923

Sistem semi-kontinyu larutan fenol dalam NaCl 1% waktu alir 315 menit

Pengenceran 20 X

### Lampiran 14 Data Sistem Semi-Kontinyu 330 menit

konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.10559
2	0.22322
3	0.35516
4	0.4482
5	0.54533

Data standar sistem semi-kontinyu 330 Menit

Waktu (menit)	Absorbansi	Cp	Ca	Cs	% konversi
0	0.53121	4.767658	119.1914		
270	0.09213	0.811982	20.29955	98.89185	82.96895
290	0.09946	0.878018	21.95045	97.24095	81.58386
310	0.11379	1.007117	25.17793	94.01347	78.87605
330	0.12749	1.130541	28.26351	90.92789	76.28729

Sistem semi-kontinyu larutan fenol dalam NaCl 1% waktu alir 330 menit

Pengenceran 20 X

**Lampiran 15** Data Sistem Semi-Kontinyu Limbah Fenol

Konsentrasi	Absorbansi
0	0
1	0.12846
2	0.24973
3	0.3521
4	0.52364
5	0.64328

Standar sistem semi-kontinyu limbah Fenol

Waktu (menit)	Absorbansi	Ca	Cs	% konversi
0	0.51499	4.04428		
180	0.3201	2.529915	1.514365	37.44462
200	0.18232	1.459363	2.584917	63.91539
220	0.18435	1.475136	2.569144	63.52537
240	0.17426	1.396737	2.647543	65.4639

Sistem semi-kontinyu limbah fenol dalam NaCl 1% Waktu Alir 240 menit

### Lampiran 16 Data Penentuan COD Limbah

Normalitas	Absorbansi
0	0
0.08021	3.07484
0.084	3.0997
0.088	3.27614
0.092	3.35927

Data standar  $K_2Cr_2O_7$

Nama	Absorbansi	Normalitas	COD	COD s
Blank	2.76673	0.07183		
Sampel sebelum	2.65419	0.0698	78.0870	3904.353
Sampel Sesudah	2.07227	0.05796	110.918	110.9187

COD limbah fenol

**Lampiran 17.**eterangan Tabel pada Lampiran**Keterangan tabel :**

$C_p$  = konsentrasi terukur pada UV-Vis

$F_p$  = faktor pengenceran

$C_a = C_p \times$  faktor pengenceran ( $F_p$ )

$v$  stirer = 360 rpm

$C$  = Konsentrasi Awal

$m$  = massa karbon aktif (gram)

$X$  = jumlah larutan fenol yang teradsorpsi dalam karbon aktif (mg)

$A$  = absorbansi

$t$  = waktu perlakuan larutan tiap teknik

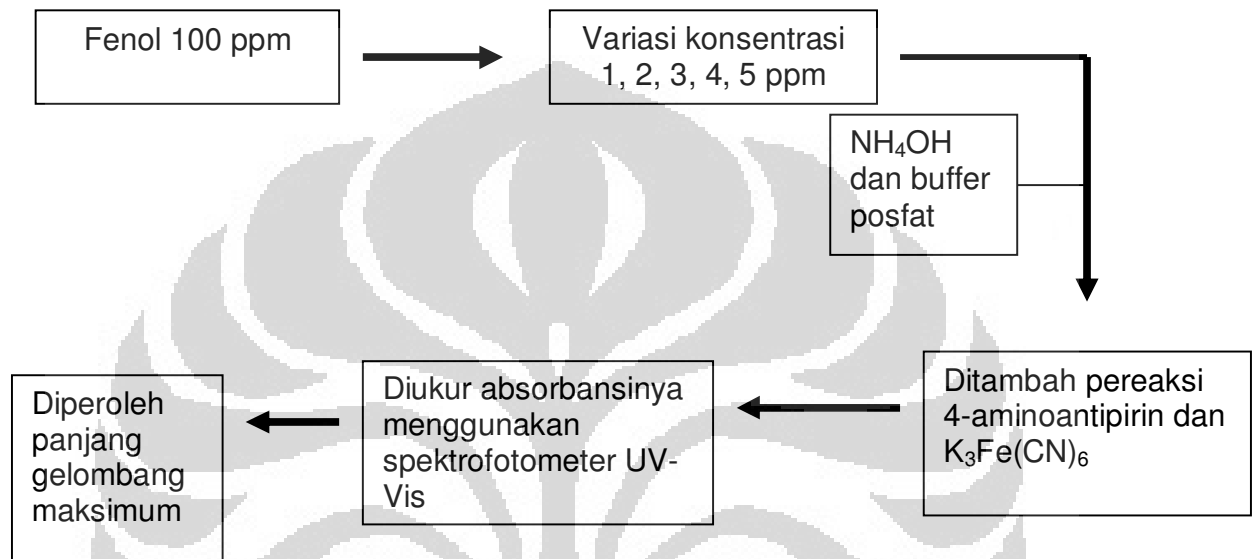


**Lampiran 18. Data Penentuan Panjang Gelombang Maksimum**

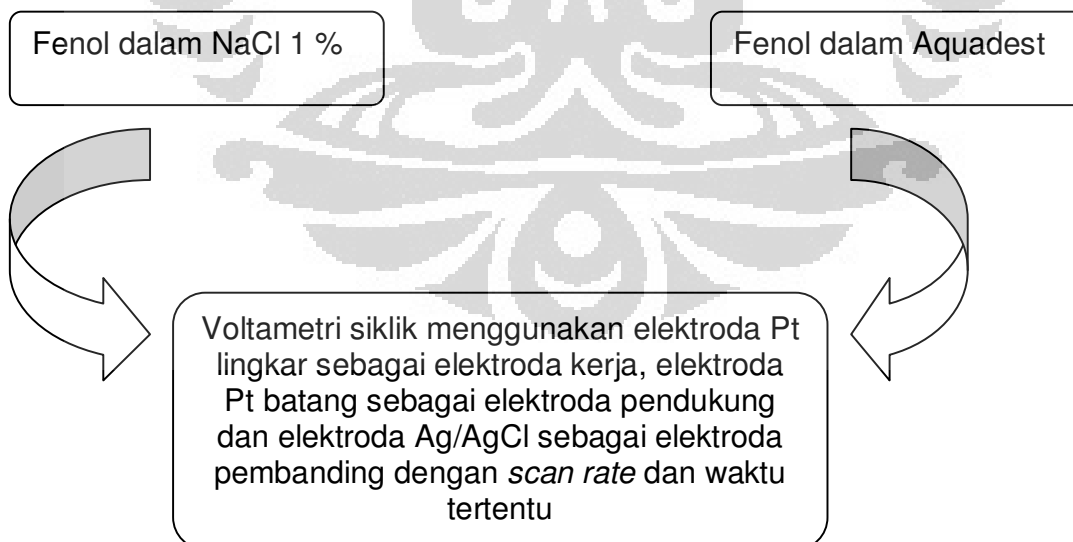
$\lambda$	1 ppm	2 ppm	3 ppm	4 ppm	5 ppm
400	-0.038	0.003	0.02	0.066	0.101
420	0.007	0.045	0.073	0.114	0.153
440	0.05	0.108	0.164	0.222	0.281
460	0.085	0.177	0.272	0.358	0.454
480	0.117	0.241	0.369	0.486	0.613
500	0.134	0.273	0.419	0.553	0.696
520	0.131	0.265	0.406	0.535	0.674
540	0.109	0.222	0.342	0.45	0.567
560	0.081	0.163	0.252	0.33	0.416
580	0.052	0.102	0.16	0.211	0.266
600	0.029	0.056	0.089	0.116	0.148

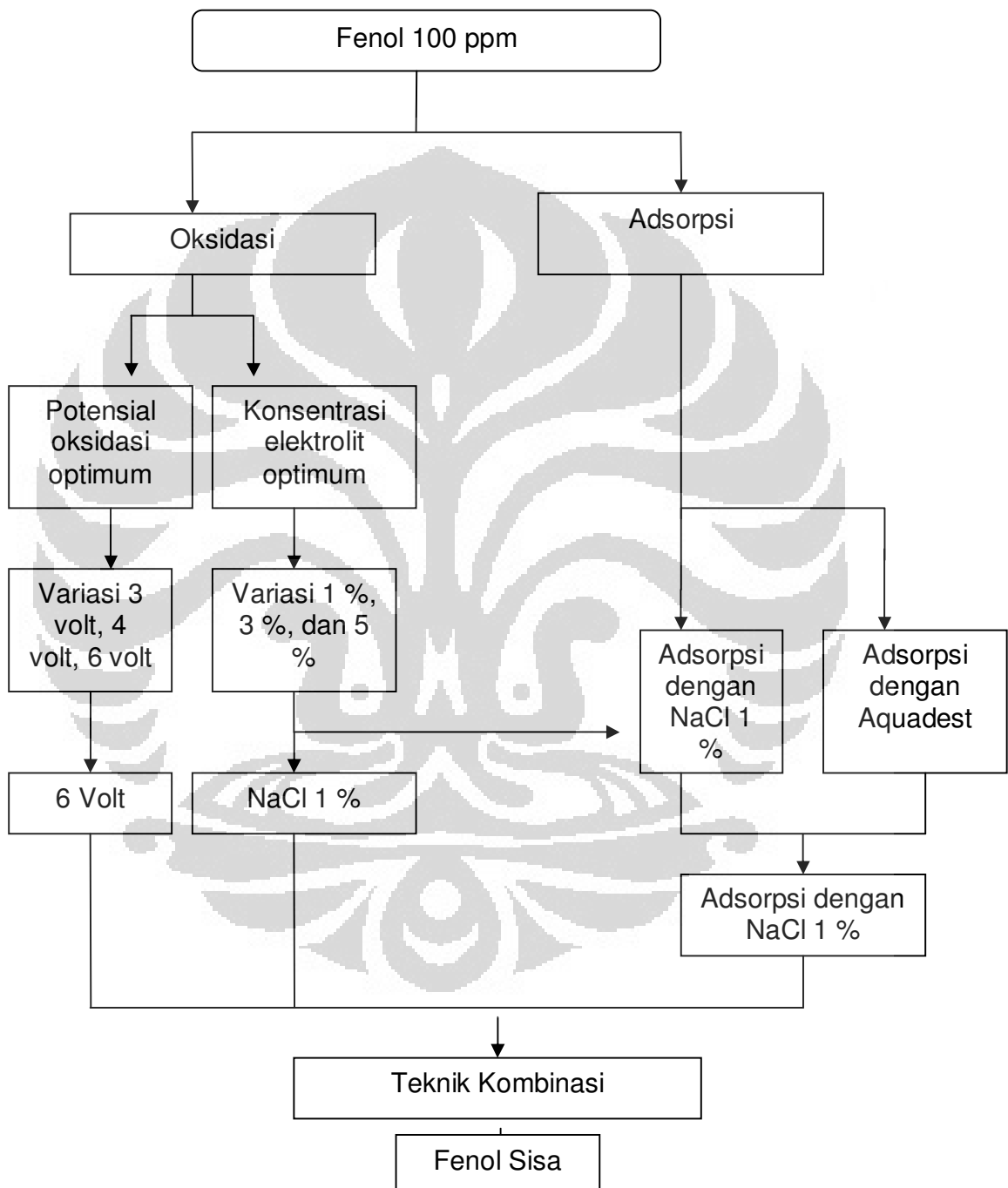
## Lampiran 19. Skema Kerja

### I. Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol



### 2. Uji Pendahuluan Menggunakan Voltametri Siklik



**Lampiran 19** (lanjutan)**3. Sistem Batch**



**Lampiran 19** (lanjutan)**4. Teknik Semi-Kontinu**