

**STUDI PENURUNAN KONSENTRASI FENOL
MENGUNAKAN TEKNIK ADSORPSI KARBON AKTIF
DAN TEKNIK ELEKTROKIMIA**



LENTA EFRIDA SIMANJUNTAK

0606040381

MILIK PERPUSTAKAAN
FMIPA - UI



PERPUSTAKAAN
FAKULTAS MIPA-UI
TIDAK DIPINJAMKAN
HANYA BACA DITEMPAT

**Departemen Kimia
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Depok
2008**

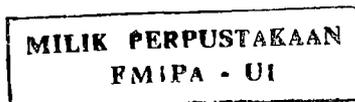
**STUDI PENURUNAN KONSENTRASI FENOL
MENGUNAKAN TEKNIK ADSORPSI KARBON AKTIF
DAN TEKNIK ELEKTROKIMIA**

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

Oleh :

LENTA EFRIDA SIMANJUNTAK

0606040381



DEPOK

2008

**SKRIPSI : STUDI PENURUNAN KONSENTRASI FENOL
MENGUNAKAN TEKNIK ADSORPSI
KARBON AKTIF DAN TEKNIK ELEKTROKIMIA**

NAMA : LENTA EFRIDA SIMANJUNTAK

NPM : 0606040381

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, DESEMBER 2008

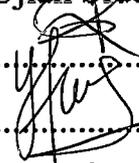


Dr. Ivandini T.A
PEMBIMBING I



Ir. Widyastuti Samadi, M.Si
PEMBIMBING II

Tanggal Lulus Ujian Sidang Sarjana : 22 Desember 2008

Penguji I :  Dr. Riwandi Sihombing

Penguji II :  Dra. Helmiyati, M.Si

Penguji III :  Drs. Erzi Rizal Abwar

**"This Skripsi i dedicated to my Parents.
With all your pray, patience and full support in my life"**

**"Forget the mistake that you have made
But dont forget the lesson you learned"**

"imel_Borju"

**"Segala perkara dapat kutanggung di dalam "DIA" yang
memberikan kekuatan bagiku"
(Holy Bible)**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa yang selalu membimbing dan melimpahkan Kasih Karunia-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul "**Studi Penurunan Konsentrasi Fenol Menggunakan Teknik Kombinasi Karbon Aktif Dan Teknik Elektrokimia**" dapat terselesaikan. Skripsi ini penulis susun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ivandini selaku pembimbing I yang telah banyak membimbing dan memberi saran dan arahan kepada penulis baik dalam penelitian maupun dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Ir. Widyastuti, M.Si, selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu dan pikiran dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan skripsi.
3. Ibu Dra. Siswati Setiasih, M.Si, selaku Pembimbing Akademik penulis yang telah banyak membimbing penulis dalam mengikuti proses perkuliahan.
4. Bapak Dr. Ridla Bakrie selaku ketua departemen kimia FMIPA UI.
5. Bapak Dr. Endang Saepuddin selaku ketua program ekstensi kimia FMIPA UI.
6. Bapak Dr. Asep Saefumillah selaku ketua koordinator program ekstensi kimia FMIPA UI.

7. Bapak Drs. Erzi Rizal Anwar, bapak Dr. Riwandi Sihombing, PhD, dan ibu Dra. Helmiyati, M.Si, terima kasih buat masukan dan sarannya dalam penulisan skripsi ini.
8. Bapak dan Ibu dosen pengajar Kimia FMIPA UI yang telah banyak memberikan ilmu dan nasehat pada penulis.
9. Staf karyawan Kimia FMIPA UI, pak Sukiri, pak Hedi, pak Amin, mas hedi, mas pri, mas hadi dan juga pak marji serta pak Trisno, terima kasih banyak untuk bantuannya.
10. Spesial buat keluargaku tercinta..., My Hero Fam, My sister and My brother, terima kasih buat dukungan moril dan materi dalam perjalanan hidup saya sampai waktu yang tidak terbatas.
11. Teman-teman seperjuangan di kimia UI khususnya anak-anak ekstensi 2006, arie, Ratih dan lainnya, thanks for all.
12. Sahabat-sahabatku tercinta Pasukan Jeruk yang gokil-gokil dan gila juga lucu, dila sang ketua, EmiLia, Hesti, Riza_chunk, Weri_Seroza, Nini_Cihuy dan juga ina_Cuantik, terima kasih buat persahabatan kalian yang selalu membuat tertawa, memberi dukungan dan semangat hidup, tetap kompak selalu sampai nanti.
13. Teman-teman seperjuangan dalam penelitian di lantai 3 dan 4, Ratih, Wulan, Puri, Visti, Alex, andi Lau, Redy, Chacha, Riska, dan Yunita yang selalu membuat suasana ceria.
14. My best friend Devi, thanks ya beb buat semuanya, Angel, Dewi dan Ambar, terimakasih buat doa dan dukungannya.

15. Teman-teman di kosan, iis...,thanks yah buat print-an nya dan juga bantuannya dalam penyusunan skripsi ini, Fina semangat ya belajarnya, semoga cepat nyusul, Vivit, Tika, Pipit, Ides dan Ayu....Terima kasih buat kebersamaan kalian semuanya.
16. Untuk semua pihak yang tidak bisa disebutkan, terima kasih buat doa dan dukungannya.

Pada skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan penulis, namun dengan usaha dan kesungguhan penulis serta dukungan moril maupun saran-saran dari berbagai pihak skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita di masa sekarang dan masa yang akan datang.

Depok, Desember 2008

Penulis,

ABSTRAK

Volume limbah sebagai hasil sisa produksi semakin bertambah banyak sebanding dengan pesatnya pertumbuhan industri. Salah satu limbah industri adalah fenol. Fenol merupakan limbah organik yang dibuang ke lingkungan air. Salah satu cara mengolah limbah adalah melalui proses adsorpsi dengan karbon aktif. Alternatif penerapan teknologi adsorpsi dengan karbon aktif dipilih karena permukaan karbon aktif luas, kemampuan adsorpsi besar, mudah diaplikasikan. Sementara itu teknik elektrokimia dengan cara elektrolisis mampu mengoksidasi limbah senyawa fenol menghasilkan dekomposisi sempurna menjadi CO_2 dan H_2O . Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi fenol dengan menggunakan teknik adsorpsi karbon aktif, teknik oksidasi elektrokimia dengan elektroda timbal dan teknik kombinasi adsorpsi dan oksidasi pada kondisi optimum. Optimasi yang diperoleh berupa waktu kontak adsorben (karbon aktif) dengan adsorbat (fenol) selama 45 menit. Jumlah karbon aktif yang digunakan 1 gram dengan konsentrasi elektrolit NaCl 5 % serta potensial optimum 7 Volt. Dengan menggunakan kondisi optimum teknik adsorpsi menghasilkan % konversi penurunan konsentrasi fenol 52,91 %, teknik oksidasi 96,80 % dan teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi) adalah 98,59 %. Penurunan konsentrasi larutan fenol diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Kata Kunci : Adsorpsi, Karbon Aktif, Fenol, Oksidasi Elektrokimia, Elektrolit.

Xi + 100 hlm.;gbr.;tab.;lamp

Bibliografi : 20 (1989-2008)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Karbon Aktif.....	5
II.1.1 Struktur Karbon Aktif.....	7
II.1.2 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Karbon Aktif.....	7
II.1.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	8
II.1.4 Karbon aktif sebagai adsorben.....	10
II.2 Adsorpsi.....	14
II.3 Isoterm Adsorpsi.....	16
II.4 Elektrokimia dan Elektroanalisis.....	17
II.4.1 Elektrokimia.....	17
II.4.2 Sel Elektrolisa.....	19
II.4.3 Elektroda.....	20
II.4.4 Distribusi Muatan Pada Antar Muka.....	22

II.5	Elektrolit	24
II.6	Fenol	25
II.7	Spektrofotometri UV-Vis	26
BAB III	RANCANGAN PERCOBAAN	29
III.1	Alat.....	29
III.2	Bahan.....	29
III.3	Cara Kerja.....	30
III.3.1	Pembuatan Larutan Pereaksi	30
III.3.2	Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol.....	31
III.3.3	Teknik Adsorpsi	31
III.3.3.1	Adsorpsi Larutan Fenol	32
III.3.3.2	Adsorpsi Larutan Fenol Dalam NaCl 5 %	32
III.3.4	Teknik Oksidasi Elektrokimia.....	32
III.3.4.1	Penentuan Optimum Konsentrasi Elektrolit.....	32
III.3.4.2	Penentuan Potensial Oksidasi Optimum.....	33
III.3.4.3	Waktu Optimum Oksidasi.....	33
III.3.4.4	Perbandingan Elektrolisis Larutan Fenol dalam Aquades dan Dalam NaCl.....	33

III.3.5	Teknik Kombinasi Adsorpsi dan Oksidasi	34
III.3.6	Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	34
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
IV.1	Uji Pendahuluan	35
IV.1.1	Penentuan Serapan Maksimum	
Senyawa Fenol		35
IV.1.2	Uji Pendahuluan Menggunakan	
Voltametri Siklik		37
IV.2	Teknik Oksidasi Elektrokimia.....	38
IV.2.1	Penentuan Optimum Elektrolit.....	40
IV.2.2	Penentuan Potensial Optimum	41
IV.2.3	Penentuan Waktu Optimum Oksidasi	42
IV.3	Teknik Adsorpsi	43
IV.4	Teknik Kombinasi Adsorpsi dan Oksidasi	45
IV.5	Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	49
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
V.1	Kesimpulan	57
V.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Adsorpsi pada karbon aktif 14
Gambar 2.2	Lapisan ganda listrik pada antar muka 22
Gambar 2.3	Rumus bangun fenol (C_6H_5OH) 24
Gambar 2.4	Skema Alat UV-Vis 27
Gambar 4.1	Degradasi warna larutan standar fenol 35
Gambar 4.2	Kurva serapan maksimum larutan fenol..... 35
Gambar 4.3	Kurva voltametri siklik larutan fenol 36
Gambar 4.4	Reaksi degradasi fenol 37
Gambar 4.5	Reaktor elektrokimia 39
Gambar 4.6	Kurva perbandingan optimasi elektrolit..... 40
Gambar 4.7	Kurva perbandingan potensial pada oksidasi larutan fenol 41
Gambar 4.8	Kurva perbandingan oksidasi fenol dalam aquades dan NaCl..... 42
Gambar 4.9	Kurva waktu optimum oksidasi larutan fenol..... 43
Gambar 4.10	Kurva Variasi jumlah karbon aktif pada adsorpsi 44
Gambar 4.11	Kurva penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi..... 45
Gambar 4.12	Kurva teknik kombinasi pada kondisi optimum 46
Gambar 4.13	Kurva perbandingan % konversi adsorpsi, oksidasi dan kombinasi larutan fenol + NaCl..... 48

Gambar 4.14	Kurva isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam aquades	50
Gambar 4.15	Kurva isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam aquades	50
Gambar 4.16	Kurva isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam NaCl 5 %	51
Gambar 4.17	Kurva isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam NaCl 5 %	52
Gambar 4.18	Kurva perbandingan isoterm adsorpsi	53
Gambar 4.19	Tingkat kemampuan adsorpsi karbon aktif pada senyawa organik	54
Gambar 4.20	Bentuk adsorpsi molekul pada karbon aktif	56
Gambar 4.21	Kurva standar penentuan serapan maksimum larutan fenol	63
Gambar 4.22	Kurva standar penentuan optimasi konsentrasi elektrolit	63
Gambar 4.23	Kurva standar penentuan optimum potensial oksidasi larutan fenol dalam NaCl	64
Gambar 4.24	Kurva standar penentuan waktu optimum oksidasi	64
Gambar 4.25	Kurva standar penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi	65
Gambar 4.26	Kurva standar teknik kombinasi pada kondisi	

	optimum	65
Gambar 4.27	Kurva standar penentuan % konversi teknik adsorpsi, teknik oksidasi dan teknik kombinasi	66
Gambar 4.28	Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol..	66
Gambar 4.29	Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 5%	67
Gambar 4.30	Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol.....	67
Gambar 4.31	Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol dalam NaCl.....	68
Gambar 4.32	Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 3 V	68
Gambar 4.33	Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 5 V	69
Gambar 4.34	Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 7 V	69
Gambar 4.35	Kurva kenaikan % konversi teknik adsorpsi dalam NaCl.....	70
Gambar 4.36	Kurva kenaikan % konversi teknik oksidasi dalam NaCl.....	70
Gambar 4.37	Kurva kenaikan % konversi teknik kombinasi dalam NaCl.....	71
Gambar 4.38	Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 1 %	71
Gambar 4.39	Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 3 %	72
Gambar 4.40	Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 5 %	72

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1	Serapan maksimum larutan fenol 73
Tabel 4.2	Kurva standar adsorpsi larutan fenol 73
Tabel 4.3	Teknik adsorpsi larutan fenol dalam aquades → Fp 21x 73
Tabel 4.4	Teknik adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 5% → Fp 10x..... 74
Tabel 4.5	Standar penentuan optimum potensial oksidasi 74
Tabel 4.6	Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 3 Volt → Fp 30x..... 74
Tabel 4.7	Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 5 Volt → Fp 10x..... 75
Tabel 4.8	Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 7 Volt → Fp 3x..... 75
Tabel 4.9	Standar teknik kombinasi..... 75
Tabel 4.10	Teknik kombinasi pada larutan fenol dengan potensial 7 Volt → Fp 5x..... 76
Tabel 4.11	Teknik oksidasi larutan fenol dalam aquades pada potensial 7 Volt → Fp 10x..... 76
Tabel 4.12	Penentuan waktu optimum oksidasi pada potensial optimum..... 76
Tabel 4.13	Perbandingan % konversi pada tehnik adsorpsi, oksidasi dan kombinasi..... 77
Tabel 4.14	Standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol 77
Tabel 4.15	Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol 77
Tabel 4.16	Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam Nacl 78
Tabel 4.17	Isoterm adsorpsi Langmuir larutan feno..... 78
Tabel 4.18	Isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam Nacl..... 78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia organik dan anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah.¹

Limbah dapat berupa limbah organik maupun anorganik. Limbah organik ada yang bersifat *biodegradable* (mudah didegradasi), yaitu termasuk limbah dari tempat pemotongan hewan, pabrik mentega dan keju, pabrik *ice cream*, cat dan tekstil, petrokimia, deterjen, plastik dan sebagainya. Selain itu ada juga limbah organik yang bersifat *non-biodegradable* (sulit didegradasi) seperti yang berasal dari pabrik farmasi dan pestisida. Sedangkan untuk limbah anorganik biasanya berasal dari industri pembuatan dan pengolahan logam.²

Salah satu limbah yang ada dalam limbah industri adalah limbah fenol. Limbah organik ini banyak ditemukan dalam limbah industri di Indonesia, antara lain industri migas, fiber-glass, perekat, kayu lapis, farmasi, cat, tekstil, keramik,

plastik, formaldehid dan sebagainya. Fenol merupakan limbah berbau khas dan beracun serta korosif terhadap kulit (menimbulkan iritasi). Apabila terminum akan menimbulkan rasa sakit dan merusak pembuluh darah sehingga menyebabkan gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limpa. Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap dan pada konsentrasi nilai tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan. Berdasarkan kategori tersebut, fenol digolongkan sebagai Bahan Beracun dan Berbahaya (B3).

Dalam pengolahan air limbah itu sendiri, terdapat beberapa parameter kualitas yang digunakan. Parameter kualitas air limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik. Parameter organik merupakan ukuran jumlah zat organik yang terdapat dalam limbah. Parameter ini terdiri dari *total organic carbon* (TOC), *chemical oxygen demand* (COD), *biochemical oxygen demand* (BOD), minyak dan lemak (O&G), dan *total petroleum hydrocarbons* (TPH). Karakteristik fisik dalam air limbah dapat dilihat dari parameter *total suspended solids* (TSS), pH, temperatur, warna, bau, dan potensial reduksi. Sedangkan kontaminan spesifik dalam air limbah dapat berupa senyawa organik atau inorganik.³

Fenol dan derivat-derivatnya merupakan polutan yang sangat berbahaya di lingkungan karena bersifat racun dan sangat sulit didegradasi oleh organisme pengurai. Fenol adalah senyawa kimia yang bersifat korosif yang dapat menyebabkan iritasi jaringan, kulit, mata dan mengganggu pernapasan manusia. Nilai ambang batas senyawa fenol untuk baku mutu air minum sebesar 0,0002 ppm, mutu buangan air industri sebesar 0,3 ppm serta di

lingkungan para pekerja gas fenol adalah 0,3 ppm.⁴ Fenol di alam mengalami transformasi kimia, biokimia, dan fisika. Namun proses alami saja tidak cukup untuk menuntaskan permasalahan yang timbul. Hal yang menimbulkan permasalahan harus segera diatasi sehingga fenol dan derivat-derivatnya perlu dikurangi sampai dengan nilai batas ambangnya. Manfaatnya adalah mencoba mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh fenol, yaitu terbentuknya senyawa hasil degradasi yang tidak membahayakan atau menimbulkan racun di alam

Studi ini mempelajari dan mengamati perbandingan efisiensi pada penurunan konsentrasi fenol dengan reaktor statis menggunakan :

- ✦ Teknik Adsorpsi karbon aktif.
- ✦ Teknik oksidasi secara elektrokimia pada elektroda Pb.
- ✦ Kombinasi teknik adsorpsi dan oksidasi secara elektrokimia secara simultan pada kondisi optimum kedua point di atas.

Diharapkan dengan menggunakan metode-metode tersebut dapat mengatasi polutan organik dalam limbah.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- ❖ Untuk mempelajari penanganan limbah fenol dengan teknik adsorpsi konvensional menggunakan teknik adsorpsi karbon aktif dengan teknik elektrokimia.
- ❖ Membandingkan Teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi) dengan masing-masing teknik konvensional.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon.⁵ Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih tinggi. Karbon aktif mengandung 5 sampai 15 persen air, 2 sampai 3 persen abu dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon aktif terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Pelat-pelat tersebut bertumpuk-tumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon dan senyawa organik lain yang tertinggal pada permukaannya.⁶

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Luas permukaan arang aktif berkisar antara 300-3500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume

pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat arang aktif.⁷

Pada temperatur tinggi, atom karbon bereaksi dengan oksigen (O_2) membentuk karbon monoksida atau karbon dioksida. Sedangkan dengan zat-zat pengoksidasi seperti asam nitrat (HNO_3) dan kalium nitrat (KNO_3) akan diperoleh $C_6(O_2H)_6$. Dari kelompok halogen, hanya flour yang dapat bereaksi dengan unsur karbon. Sedangkan logam-logam tertentu seperti Ca, dapat bereaksi dengan unsur karbon pada suhu tinggi, sehingga akan terbentuk senyawa karbida.⁸

Karbon yang baik kualitasnya adalah karbon yang mempunyai kadar C tinggi serta kadar abu dan hidrogen yang rendah. Dengan demikian, kualitas karbon aktif akan ditentukan dari bahan baku, bahan pengaktif dan cara pembuatannya. Permukaan karbon aktif pada umumnya bersifat nonpolar. Sifat ini menyebabkan adsorpsi elektronik anorganik lebih susah daripada adsorpsi senyawa organik.⁵

Karbon aktif dapat digolongkan berdasarkan ukuran porinya. IUPAC menggolongkan diameter pori karbon aktif sebagai berikut :

- ✦ Makropori, dengan diameter > 50 nm.
- ✦ Mesopori, dengan diameter 2-50 nm.
- ✦ Mikropori, dengan diameter < 2 nm.

Karbon aktif juga digolongkan berdasarkan bentuknya seperti serbuk dan granular (bentuk seperti pelet). Karbon aktif granular dapat dinyatakan dalam satuan millimeter ataupun nomor mesh dan mempunyai ukuran lebih besar dari 80 mesh.⁹

2.1.1 Struktur Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk amorf dimana atom-atom C-nya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal ini dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit.

Daerah kristalin mempunyai ketebalan 0,7–1,1 nm dan diameter 2,0–2,5 nm, jauh lebih kecil yang terdapat pada grafit. Hal ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20 – 30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristalin–kristalin karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur tersebut diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris.⁹

2.1.2 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Karbon Aktif

Karbon adalah suatu zat yang inert, tidak larut dalam air basa, asam encer dan pelarut organik. Karbon aktif tidak hanya mengandung karbon, tetapi sejumlah kecil oksigen dan hidrogen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon dan gugus eter. Oksida-oksida permukaan tersebut seringkali berasal dari bahan bakunya atau dapat pula terbentuk dari reaksi dengan udara maupun uap air. Oksida-oksida tersebut biasanya bersifat asam dan akan mempengaruhi sifat karbon aktif.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat karbon aktif mengandung unsur-unsur mineral yang lebih terkonsentrasi selama proses aktivasi. Senyawa anorganik yang digunakan dalam proses aktivasi kimia tidak dapat dipisahkan secara sempurna. Unsur-unsur utama dalam abu adalah garam-garam alkali dan alkali tanah, umumnya garam karbonat dan garam fosfat bersama-sama dengan silika.⁹

2.1.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Dasar pemilihan bahan baku dari karbon aktif tersebut yang paling menentukan adalah besar kandungan karbon pada bahan tersebut. Pembuatan arang aktif berlangsung 3 tahap yaitu proses dehidrasi, proses karbonisasi dan proses aktivasi.

• Proses Dehidrasi

Proses ini dilakukan dengan memanaskan bahan baku sampai suhu 105⁰C selama 24 jam dengan tujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air pada bahan baku. Kemudian diukur kadar air.

• Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi adalah peristiwa pirolisis bahan dimana terjadi proses dekomposisi komponen. Proses ini merupakan peristiwa lanjutan dari pemanasan bahan baku yang mencapai suhu 600-1100⁰C. Selama proses ini unsur-unsur bukan karbon seperti hidrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom yang terbebaskan membentuk kristal grafit.

Proses karbonisasi akan menghasilkan 3 (tiga) komponen pokok, yaitu

karbon atau arang, tar, dan gas (CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , dll). Untuk memperoleh karbon aktif yang baik, perlu adanya pengaturan dan pengontrolan selama proses karbonisasi yaitu; kecepatan penambahan temperatur, tinggi suhu akhir, dan lama karbonisasi. Tahap karbonisasi akan menghasilkan karbon yang mempunyai struktur pori lemah. Oleh karena itu arang masih memerlukan perbaikan struktur porinya melalui proses aktifasi.

• Proses Aktifasi

Aktifasi adalah suatu perubahan fisika dimana permukaan karbon aktif menjadi jauh lebih banyak karena hidrokarbon yang terkandung dalam karbon disingkirkan. Untuk memperoleh arang yang berpori dan luas permukaan yang besar dapat diperoleh dengan cara mengaktifasi bahan. Ada dua cara dalam melakukan proses aktifasi yaitu:

a. Aktifasi Fisika (*Vapor Adsorben Carbon*)

Proses aktifasi dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara ke dalam reaktor pada suhu tinggi ($800\text{-}1000^\circ\text{C}$). Proses ini harus mengontrol tinggi suhu dan besarnya uap atau udara yang dipakai sehingga dihasilkan karbon aktif dengan susunan karbon yang padat dan pori yang luas.

b. Aktifasi Kimia (*Chemical Impregnating Agent*)

Metode ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia (H_3PO_4 , ZnCl_2 , CaCl_2 , K_2S , HCl , H_2SO_4 , NaCl , Na_2CO_3 .) sebelum proses karbonisasi. Proses perubahan arang menjadi karbon aktif merupakan hasil pengolahan bahan kimia.⁴

2.1.4 Karbon Aktif sebagai Adsorben

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang efektif digunakan dalam proses adsorpsi. Kemampuan adsorpsi dari karbon aktif disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

+ Sifat Adsorben

Karbon aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan arang aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting diperhatikan. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan arang aktif yang telah dihaluskan. Jumlah atau dosis karbon aktif yang digunakan, juga diperhatikan. Untuk itu dapat digunakan persamaan Freundlich, yaitu:

$$X/M = kC^{1/n}$$

Persamaan ini menghubungkan kapasitas adsorpsi persatuan berat karbon (X/M) dengan konsentrasi serapan yang tersisa dalam larutan pada keadaan setimbang. Dalam hal ini, dilakukan percobaan terhadap sederetan sampel dengan menggunakan berat arang aktif yang berbeda, dimana waktu dan temperatur dibuat tetap untuk semua perlakuan.

✚ Sifat Serapan

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh arang aktif, tetapi kemampuannya untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa serapan.

✚ Temperatur

Dalam pemakaian arang aktif dianjurkan untuk menyelidiki temperatur pada saat berlangsungnya proses. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas thermal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna atau dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

✚ pH (Derajat Keasaman)

Untuk asam-asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam.

✚ Waktu Kontak

Bila arang aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang yang digunakan. Selain ditentukan oleh dosis arang aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak.

Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk melakukan kontak dengan senyawa serapan. Untuk larutan yang mempunyai viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama.⁷

Karbon aktif banyak digunakan dalam industri pangan maupun industri non pangan. Karbon aktif merupakan adsorben yang baik dan arena itu sering digunakan untuk permurnian, penghilangan warna, penghilangan bau, dekloronisasi, menghilangkan zat racun, penyaring, menghilangkan garam-garam dan dapat juga di gunakan sebagai katalis. Karbon aktif mempunyai daya adsorpsi besar dan bersifat non polar.

Salah satu cara pengolahan limbah organik yaitu teknik adsorpsi dan menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) telah ditetapkan bahwa teknologi adsorpsi dengan karbon aktif merupakan teknologi terbaik untuk menghilangkan polutan organik. Karbon aktif banyak dipilih sebagai adsorben karena memiliki energi adsorpsi rendah.

2.2 Adsorpsi

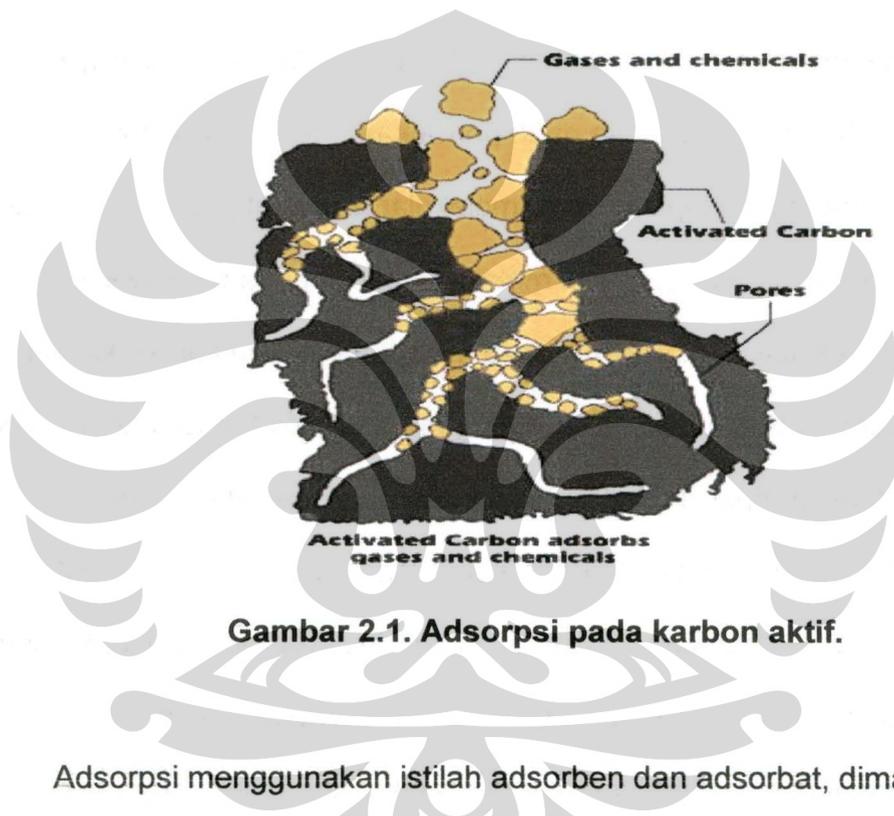
Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Berbeda dengan absorpsi, dimana fluida terserap oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan.¹²

Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan.

Adsorpsi fisika diakibatkan kondensasi molekular dalam kapiler-kapiler dari padatan. Secara umum, unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi. Terjadi pembentukan yang cepat sebuah kesetimbangan konsentrasi antar-muka, diikuti dengan difusi lambat ke dalam partikel-partikel karbon. Laju adsorpsi keseluruhan dikendalikan oleh kecepatan difusi dari molekul-molekul zat terlarut dalam pori-pori kapiler dari partikel karbon. Kecepatan itu berbanding terbalik dengan kuadrat diameter partikel, bertambah dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut, bertambah dengan kenaikan temperatur dan berbanding terbalik dengan kenaikan berat molekul zat terlarut.¹³

Morris dan Weber menemukan bahwa laju adsorpsi bervariasi seiring dengan akar pangkat dua dari waktu kontak dengan adsorben. Kecepatan ini juga meningkat dengan menurunnya pH sebab perubahan muatan pada

permukaan karbon. Kapasitas adsorpsi dari karbon terhadap suatu zat terlarut tergantung pada dua-duanya, karbon dan zat terlarutnya. Kebanyakan limbah cair adalah kompleks dan bervariasi dalam hal kemampuan adsorpsi dari campuran-campuran yang ada. Struktur molekul, kelarutan, dan sebagainya, semuanya berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi.¹⁴ Berikut adalah bentuk adsorpsi pada karbon aktif (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Adsorpsi pada karbon aktif.

Adsorpsi menggunakan istilah adsorben dan adsorbat, dimana adsorben adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon, sedangkan adsorbat adalah merupakan suatu media yang diserap. Pada air buangan proses adsorpsi adalah merupakan gabungan antara adsorpsi secara fisika dan kimia yang sulit dibedakan, namun tidak akan mempengaruhi analisa pada proses adsorpsi.

2.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan temperatur tetap. Isothermal adsorpsi dibagi dua yaitu :

1. Model Adsorpsi Langmuir .

Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben. Dan tempat adsorpsi bersifat homogen. Persamaan umum model adsorpsi isotherm Langmuir dapat ditulis¹⁵ :

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

Dimana :

- X = Jumlah adsorbat pada permukaan (mg, g)
- m = Jumlah adsorben (mg, g)
- k_1, k_2 = Konstanta
- c = Konsentrasi pada keseimbangan (mg/L)

2. Model Adsorpsi Freundlich

Model ini mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan *site* bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap *site* dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisi adsorpsi mengikuti isotherm Langmuir. Persamaan umum model adsorpsi isotherm Freundlich dapat ditulis¹⁵:

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

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)

$1/n$ = ketidaklinieran (tanpa satuan)

2.4 Elektrokimia dan Elektroanalisis

2.4.1 Elektrokimia

Elektrokimia adalah cabang dari ilmu kimia yang mempelajari 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 yang dihubungkan dengan menggunakan kawat sebagai penghantar ion.¹⁶

Reaksi oksidasi-reduksi atau redoks, melibatkan perubahan dalam keadaan oksidasi pereaksi-pereaksi. Dalam kebanyakan contoh sederhana terdapat kehilangan elektron yang sesungguhnya oleh satu pereaksi dan perolehan elektron padanannya oleh pereaksi yang lain. Bila aliran elektron yang menyertai suatu reaksi membentuk arus untuk listrik, maka perubahan kimia itu dirujuk

sebagai elektrokimia. Atau dengan kata lain, elektrokimia adalah suatu pengkajian sifat dan reaksi kimia yang melibatkan ion dalam larutan termasuk elektrolisis dan sel elektrik serta menggunakan arus listrik melalui proses elektrolisis untuk mengurangi atau menurunkan logam-logam dan partikel-partikel di dalam air .

Metode elektrokimia digunakan untuk menganalisis satu sampel dengan cara mengukur potensial, arus, hambatan dan menghubungkan ketiganya dengan suatu analit. Sinyal yang dihasilkan berasal dari reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi pada permukaan elektroda.

Faktor- faktor yang mempengaruhi pengukuran adalah :

- + Sifat elektroda
- + Transfer massa
- + Besaran listrik
- + Elektrolit
- + Faktor eksternal seperti suhu, tekanan dan waktu.

Metode elektroanalisis adalah metode analisis kimia berdasarkan prinsip elektrokimia. Secara garis besar, metode elektroanalisis digolongkan menjadi dua, yang pertama adalah metode antarmuka. Metode antar muka merupakan metode elektroanalisis berdasarkan pada fenomena yang terjadi pada batas antarmuka antara permukaan elektroda dengan lapisan tipis larutan. Metode- metode antarmuka digolongkan menjadi dua jenis, yaitu metode steady state atau metode statik dan metode transtient atau metode dinamik. Salah satu

contoh metode statik adalah metode potensiometri, dalam hal ini pengukuran sel elektrokimia dilakukan dalam kondisi statik, dimana tidak ada arus yang lewat diantara dua elektroda dan konsentrasi dalam sel tidak berubah. Sedangkan metode dinamis dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan mengontrol arus dan potensial. Pada metode ini terdapat aliran arus dan konsentrasi spesies berubah sebagai hasil reaksi redoks. Metode yang kedua adalah metode bulk yang didasarkan pada fenomena yang terjadi pada larutan bulk.²⁷

2.4.2 Sel Elektrolisa

Sel elektrolisa adalah sel elektrokimia dimana reaksi tidak spontan didalamnya digerakkan oleh sumber arus luar. Pada sel elektrolisa terjadi reaksi redoks dimana terjadi transfer elektron dari satu zat ke zat lain. Reaksi redoks dapat dinyatakan sebagai jumlah dua dari setengah reaksi dimana setengah reaksi berlangsung di satu elektroda dan setengah reaksi yang lain berlangsung di elektroda lain. Kompartemen elektroda yang terdapat pada sel elektrolisis adalah anoda dan katoda. Anoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi sehingga akan terjadi pelepasan elektron dari larutan ke elektroda selama reaksi berlangsung (secara defenisi) tetapi karena pada anoda elektron tidak terjadi secara spontan dan pada katoda harus terdapat cadangan elektron untuk menggerakkan reaksi reduksi maka potensial anoda harus dibuat relatif positif terhadap potensial katoda. Sedangkan katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi rduksi, dimana didalamnya terjadi perpindahan elektron dari elektroda ke larutan.¹¹

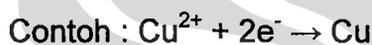
2.4.3 Elektroda

Elektroda adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia. Pada rangkaian sel elektrokimia, elektroda menjadi dua bagian, yaitu :

1. Katoda

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

Reaksi :



2. Anoda

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

Reaksi :



Selain itu elektroda dapat juga digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu :

↳ Elektroda pembanding

Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya cukup konstan dan dipakai sebagai elektroda standar terhadap potensial elektroda lainnya didalam sel elektrokimia. Fungsi elektroda ini adalah sebagai penstabil beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia. Elektroda pembanding harus memiliki syarat stabil terhadap waktu dan

temperatur, dapat digunakan berulang kali, tidak terpolarisasi dan pembuatannya muda. Contoh elektroda pembanding yang sering digunakan adalah elektroda Ag/AgCl, *standar calomel electrode* (SCE), *standar hydrogen alectrode* (SHE) atau *pseudo-reference* (kawat Pt, Ag).^{18,19}

⚡ 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 umum digunakan adalah platina, timbal, emas, perak maupun elektroda cair merkuri tetes. Sedangkan elektroda semikonduktor yang umum digunakan adalah Si dan Ga. Elektroda karbon terdiri atas beberapa jenis yaitu karbon pasta glassy carbon dan grafit.^{18,19}

⚡ 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.¹⁸

2.4.4 Distribusi Muatan Pada Antar Muka

Secara umum, apabila suatu partikel padatan terdispersi dalam dalam suatu media cair, maka partikel tersebut dapat bermuatan melalui beberapa mekanisme, yaitu :

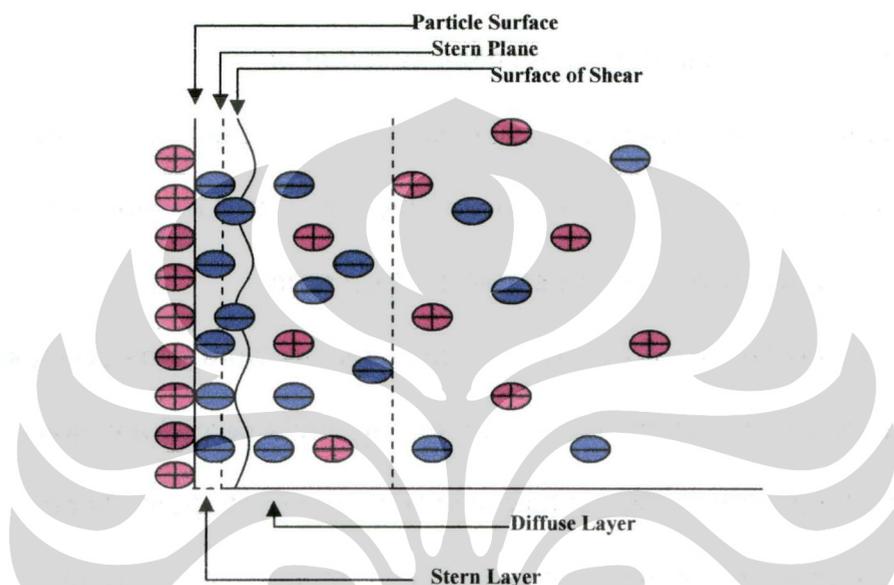
1. Terjadinya peristiwa adsorpsi yang bersifat selektif terhadap spesies bermuatan yang terdapat di dalam dispersi tersebut.

Air sebagai medium dispers yang bersifat universal, dapat terionisasi menghasilkan ion hidroksil (OH^-) dan ion hidronium (H_3O^+). Adanya muatan tersebut dapat diadsorpsi oleh partikel solid.

2. Terjadinya peristiwa ionisasi gugus-gugus yang terdapat pada permukaan solid, sehingga meninggalkan muatan tertentu pada permukaan solid tersebut. Mekanisme ini sering terjadi ketika pada suatu permukaan partikel padatan terdapat gugus yang mudah terionisasi, misalnya COOH .

Ketika suatu partikel padatan bermuatan terdispersi dalam suatu pelarut yang mengandung ion (misalnya pelarut air), maka partikel padatan tadi dapat memiliki muatan tertentu melalui salah satu mekanisme di atas, sehingga menimbulkan gaya listrik yang dapat mempengaruhi tarik-menarik atau tolak-menolak terhadap ion yang ada disekelilingnya. Apabila ion yang diadsorpsi pada permukaan padatan bermuatan positif (kation), maka ion-ion yang bermuatan negatif (anion) yang tersebar di dalam bulk akan tertarik oleh partikel padatan yang bermuatan positif tadi. Dengan demikian, semakin dekat dengan inti padatan, maka distribusi anion akan semakin banyak. Di sisi lain, semakin

jauh jarak terhadap inti padatan, distribusi antara kation dan anion akan semakin seimbang, sampai pada jarak tertentu. Pada kondisi seperti ini dicapai penetralan listrik, meskipun pada bagian tertentu dijumpai distribusi antara kation dan anion yang kurang rata.



Gambar 2.2. Lapisan Ganda Listrik Pada Antar Muka^{20,21}

Dalam teori lapisan listrik ganda (Gambar 2.2), ion yang diadsorpsi oleh permukaan padatan dan menimbulkan muatan tertentu disebut dengan ion penentu potensial, di sisi lain, ion yang memiliki muatan yang berlawanan dengan ion penentu potensial disebut dengan counterion atau gegenion. Ion-ion yang tersebar di dalam *bulk* dan memiliki muatan yang sama dengan ion penentu potensial disebut dengan similion. Dengan demikian, distribusi listrik pada antarmuka padatan dalam larutan ion adalah ekuivalen dengan suatu lapisan ganda dari distribusi ion yang bermuatan. Lapisan yang pertama (dalam)

meliputi daerah distribusi ion yang terikat erat pada permukaan padatan bermuatan, disebut Stern layer. Lapisan berikutnya (luar) meliputi daerah dengan distribusi ion yang lebih menghambur, disebut diffuse layer.²³

2.5 Elektrolit

Elektrolit adalah substansi yang terdiri dari ion bebas yang berfungsi sebagai media penghantar elektron. Pada umumnya elektrolit berupa larutan seperti asam, basa dan garam, tetapi elektrolit juga dapat berupa fasa gas di bawah kondisi tekanan rendah dan temperatur yang tinggi.

Elektrolit terbentuk pada waktu garam dilarutkan ke dalam pelarut, misalnya air akan mengalami disosiasi menjadi ion-ionnya. Ion-ion tersebut berfungsi sebagai pembawa elektron yang bergerak untuk menetralkan muatan pada larutan yang mengalami polarisasi sebagai akibat adanya reaksi redoks sehingga reaksi tetap berjalan.

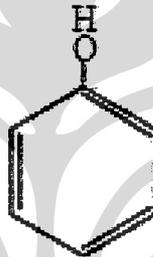
Elektrolit terbagi menjadi dua yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Perbedaannya terletak pada kemampuan untuk menghantarkan arus listrik karena kemampuannya untuk terionisasi dalam air. Pada elektrolit kuat senyawa atau molekul yang dilarutkan dengan air akan terionisasi sempurna sehingga akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik.

Sedangkan dalam elektrolit lemah, molekul yang dilarutkan dengan air hanya terdisosiasi sebagian sehingga kurang baik untuk menghantarkan arus listrik. Elektrolit lemah mempunyai kesetimbangan dinamik karena didalamnya

selalu terjadi perubahan, baik yang melibatkan pembentukan ion menjadi molekul atau sebaliknya.²²

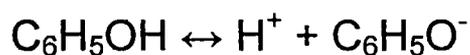
2.6 Fenol

Fenol merupakan senyawa organik dari golongan senyawa aromatik yang mempunyai rumus molekul C_6H_5OH dan rumus bangun (Gambar 2.3) sebagai berikut :



Gambar 2.3. Rumus bangun fenol (C_6H_5OH)

Fenol merupakan senyawa yang mempunyai grup hydroxyl yang menempel pada cincin aromatik, dikenal juga sebagai asam karbolik yang merupakan asam lemah dibandingkan asam asetat. Dalam keadaan murni (pada temperatur ruang), fenol berbentuk kristal solid dan tidak berwarna. Fenol larut dalam air karena sifatnya yang polar dan akan terurai menurut persamaan reaksi berikut :



Fenol memiliki sifat cenderung asam, dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Fenol terionisasi menjadi H^+ ($K_a = 1,2 \times 10^{-10}$) dan pada konsentrasi ini cukup beracun untuk bakteri. Pada umumnya fenol digunakan sebagai desinfektan (*germicide*), antiseptik, industri produk sintetis. Selain itu fenol dapat dijumpai sebagai hasil industri *petroleum*.

Fenol memiliki kelarutan terbatas dalam air, yakni 8,3 gram/100 ml.

Fenol memiliki sifat yang cenderung asam, artinya ia dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Pengeluaran ion tersebut menjadikan anion fenoksida $C_6H_5O^-$ yang dapat dilarutkan dalam air.

Fenol dan turunannya merupakan salah satu limbah organik yang termasuk dalam kategori B-3. Fenol juga merupakan salah satu komponen dalam air limbah yang sangat berbahaya. Disamping kerugian yang ditimbulkan, fenol merupakan senyawa yang memiliki banyak kegunaan, sehingga pemulihan fenol dari air limbah merupakan hal yang menarik.

Fenol dapat digunakan sebagai antiseptik seperti yang digunakan Sir Joseph Lister saat mempraktikkan pembedahan antiseptik. Fenol merupakan komponen utama pada antiseptik dagang, triklorofenol atau dikenal sebagai TCP (*trichlorophenol*). Fenol juga merupakan bagian komposisi beberapa anestetika oral, misalnya semprotan kloraseptik. Fenol berfungsi dalam pembuatan obat-obatan (bagian dari produksi aspirin, pembasmi rumput liar, dan lainnya). Fenol yang terkonsentrasi dapat mengakibatkan pembakaran kimiawi pada kulit yang terbuka. Batas maksimum yang diperbolehkan untuk air minum maupun air bersih adalah 0,0002 ppm.⁴

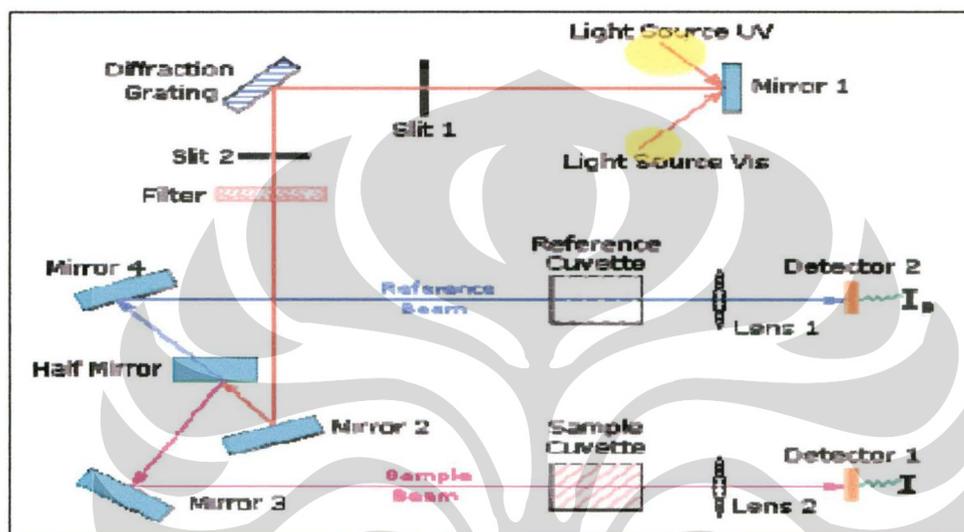
2.7 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometer adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukuran intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang.

Warna adalah salah satu kriteria untuk mengidentifikasi suatu objek. Pada analisis spektrofotometri, spektrum radiasi elektromagnetik digunakan untuk menganalisa spesies kimia dan menelaah interaksinya dengan radiasi elektromagnetik. Suatu foton memiliki energi tertentu dan dapat menyebabkan transisi tingkat tinggi energi suatu atom atau molekul, karena setiap spesies kimia mempunyai tingkat energi yang berbeda maka transisi perubahan energinya juga berbeda. Berarti suatu spektrum yang diperoleh dengan memplot beberapa fungsi frekuensi terhadap frekuensi radiasi elektromagnetik adalah khas untuk spesies kimia tertentu dan berguna untuk identifikasi.¹²

Spektrofotometri UV-Vis adalah suatu instrumen untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu zat uji pada panjang gelombang Ultra Violet (190 nm – 380 nm) dan pada panjang gelombang Visible (380 nm-780 nm).

Unsur – unsur terpenting suatu spektrofotometer UV-Vis terdiri dari sumber radiasi, monokromator, sel, foto sel dan detektor. Baik spektrofotometer sinar tunggal maupun sinar rangkap keduanya memiliki komponen yang sama. Gambar 2.4 merupakan bagian-bagian dari spektrofotometer UV-Vis.



Gambar 2.4 Skema alat UV-Vis

BAB III

RANCANGAN PERCOBAAN

3.1 Alat

1. Reaktor elektrokimia
2. Magnetik Stirer
3. pH meter
4. Adaptor (penghasil potensial/voltase)
5. Potensiostat
6. Timbangan Analitik
7. Spektrometer UV-2450 Shimadzu *double beam*
8. Peralatan Gelas Kimia
9. Elektroda Pb
10. Elektroda platina

3.2 Bahan

1. Karbon aktif granular dari tempurung kelapa ukuran 8–10 mesh
2. Fenol, C_6H_5OH
3. Laruran amonia, NH_4OH 25 %
4. Kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4
5. Hidrat dikalium hidrogen fosfat, $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$
6. Natrium klorida, $NaCl$
7. 4-aminoantipirin

8. Kalium heksasianoferat (III), $K_3Fe(CN)_6$
9. Aqua demin
10. NaOH

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Pembuatan Larutan Preaksi

3.3.1.1 Pembuatan Larutan Stok Fenol 1000 ppm

1 gram fenol ditimbang dan dilarutkan dengan aqua demin dalam gelas piala 50 mL, secara kuantitatif dipindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan hingga volume 1000 mL, kemudian dipindahkan ke dalam botol coklat dan ditutup rapat-rapat. Larutan ini disebut larutan stok fenol.

3.3.1.2 Pembuatan Pereaksi Fenol, 4-aminoantipirin.

↓ Larutan NH_4OH 0,5 N

1,9 mL larutan NH_4OH 25 % diencerkan dengan aqua demin dalam labu 50 mL hingga volume 50 mL, disimpan dalam botol coklat tertutup.

↓ Buffer fosfat pH 6,8

Ditimbang 10,45 gram K_2HPO_4 dan 7,23 gram KH_2PO_4 lalu dilarutkan dengan air suling, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL secara kuantitatif dan diencerkan hingga volume 100 mL.

↓ Larutan $K_3Fe(CN)_6$ 8% (b/v)

Ditimbang 0,8 gram $K_3Fe(CN)_6$ dan dilarutkan dengan air suling, kemudian dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 10 mL dan diencerkan hingga volume 50 mL. Larutan ini mempunyai waktu simpan selama satu minggu dan disimpan dalam lemari es.

↓ Larutan 4-aminoantipirin 2% (b/v)

Ditimbang 0,2 gram 4-aminoantipirin dan dilarutkan dengan air suling, kemudian dipindahkan ke dalam 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 Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol

Larutan fenol dengan deret konsentrasi mulai dari 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm. Kemudian ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada kisaran panjang gelombang 400 – 600 nm.

3.3.3 Teknik Adsorpsi

Pada tahap ini sebanyak 200 ml larutan fenol 100 ppm akan diadsorpsi menggunakan karbon aktif (sebelumnya telah dipanaskan selama 45 menit pada suhu $140^{\circ}C$) dengan variabel waktu dan jumlah karbon sebanyak 1 gram.

3.3.3.1 Adsorpsi Larutan Fenol

Larutan stok fenol diencerkan dengan aquades dalam labu 250 ml sehingga di peroleh larutan fenol 100 ppm. Larutan fenol 100 ppm 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 untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.3.2 Adsorpsi Larutan Fenol dalam NaCl 5 %

Larutan stok fenol dilarutkan dalam NaCl 5 % dan diencerkan hingga volum 250 ml sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 5 %. Larutan fenol 100 ppm 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 untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4 Teknik Oksidasi Elektrokimia

3.3.4.1 Penentuan Optimum Konsentrasi Elektrolit

Larutan fenol dengan kosentrasi 100 ppm diencerkan dalam larutan NaCl dengan variasi 1%, 3% dan 5%, kemudian dielektrolisis dengan potensial 5 Volt selama 90 menit, setiap 15 menit larutan dicuplik dan ditambahkan

pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.2 Penentuan Potensial Oksidasi Optimum

Larutan fenol dengan konsentrasi 100 ppm dalam NaCl 5 %, kemudian dielektrolisis dengan variasi potensial 3 Volt, 5 Volt dan 7 Volt. Setiap 15 menit larutan dicuplik untuk diukur absorbansinya yang sebelumnya sudah ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

3.3.4.3 Waktu Optimum Oksidasi

Larutan fenol dengan konsentrasi 100 ppm dalam NaCl 5%, kemudian dioksidasi selama 2 jam. Setiap 15 menit larutan dicuplik untuk diukur absorbansinya yang sebelumnya sudah ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

3.3.4.4 Perbandingan Elektrolisis Larutan Fenol dalam Aquades dan dalam NaCl 5%

Larutan fenol dengan konsentrasi 1000 ppm dilarutkan dalam aquades dan dalam larutan elektrolit NaCl 5%, kemudian dioksidasi selama 4 jam. Setelah 4 jam larutan dicuplik kemudian diukur absorbansinya setelah menambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

3.3.5 Teknik Kombinasi (Adsorpsi-Oksidasi)

Larutan fenol dengan konsentrasi awal 100 ppm dalam larutan elektrolit NaCl dioksidasi menggunakan sel elektrokimia, sekaligus diadsorpsi menggunakan karbon aktif pada kondisi optimum yang telah diperoleh pada kedua teknik sebelumnya. Setiap 15 menit larutan dicuplik sampai menit ke-75. Kemudian direaksikan dengan pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum.

3.3.6 Penentuan Isoterm Adsorpsi.

Larutan fenol dalam aquades dan dalam NaCl 5% dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm diadsorpsi dengan karbon aktif 1 gram. Kemudian pada kondisi optimum filtrat fenol dicuplik untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum yang sebelumnya ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

BAB IV

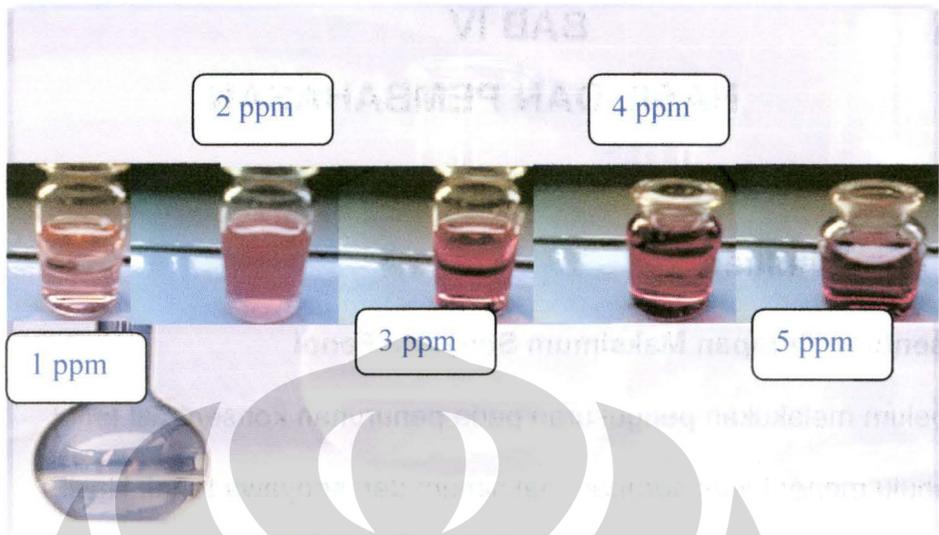
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Pendahuluan

4.1.1 Penentuan Serapan Maksimum Senyawa Fenol

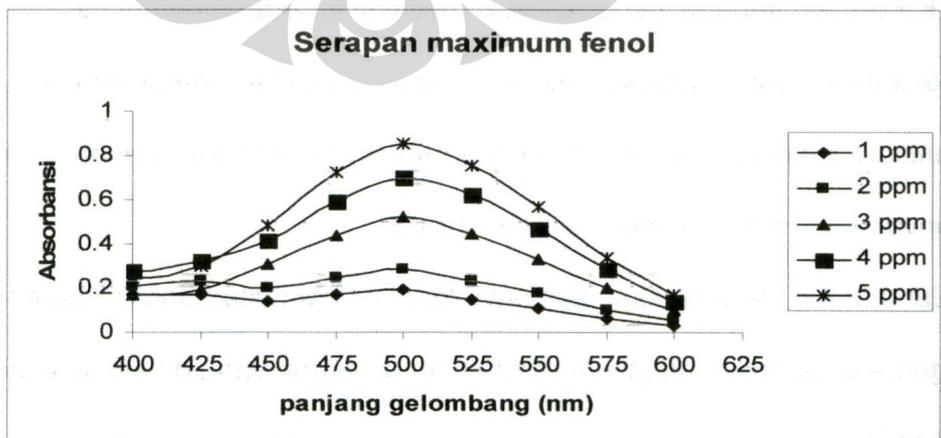
Sebelum melakukan pengukuran pada penurunan konsentrasi fenol, terlebih dahulu menentukan serapan maksimum dari senyawa fenol. Hasil serapan maksimum yang didapat akan digunakan untuk pengukuran selanjutnya. Sebanyak 25 mL larutan fenol dengan variasi konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm ditambah NH_4OH , kondisi pH diatur pada $7,9 \pm 1$ dengan menambahkan buffer fosfat. Pada prinsipnya semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin pada pH $7,9 \pm 0,1$ dalam suasana larutan kalium ferri sianida akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Konsentrasi fenol dianalisis dengan spektrofotometer sinar tampak menggunakan pereaksi 4-aminoantipirin dalam keadaan basa (pH $\pm 7,8$) dengan adanya $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ sebagai pengokasidasi. Reaksi ini akan membentuk kompleks antipirin yang berwarna merah²⁶. Warna yang terbentuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang antara 400 – 600 nm, setelah 15 menit serapannya diukur dengan spektrometer UV/Vis.

Gambar 4.1 menunjukkan senyawa fenol setelah ditambahkan pereaksi yang digunakan, semakin tinggi konsentrasi fenol, warna yang ditimbulkan akan semakin pekat.



Gambar 4.1 Degradasi warna larutan standar fenol setelah ditambah pereaksi

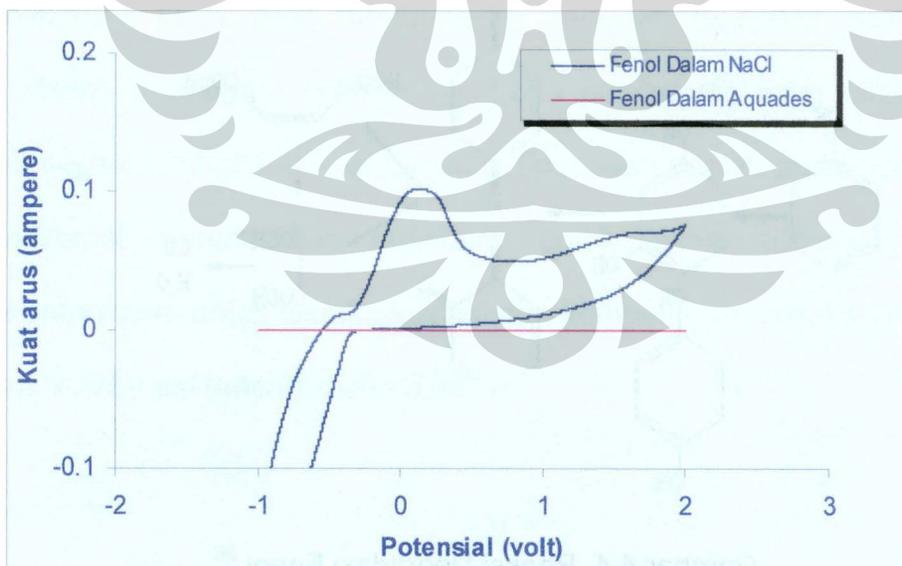
Hasil pengukuran serapan maksimum larutan fenol yaitu pada panjang gelombang 506 nm. Berdasarkan literatur menyatakan bahwa serapan maksimum senyawa fenol dengan menggunakan metode 4-aminoantipirin berada pada kisaran ± 505 nm. Panjang gelombang yang digunakan untuk percobaan ini adalah 506 nm. Gambar 4.2 adalah kurva serapan maksimum larutan fenol dengan mengambil kisaran panjang gelombang 400 – 600 nm.



Gambar 4.2 Kurva serapan maksimum larutan fenol

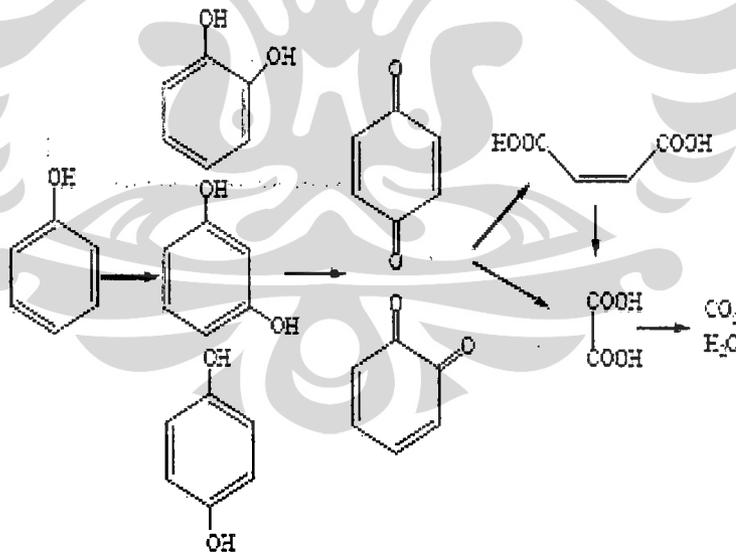
4.1.2 Uji Pendahuluan Menggunakan Voltametri Siklik

Teknik Voltametri Siklik merupakan teknik paling luas digunakan dalam memperoleh informasi kualitatif dari reaksi elektrokimia. Teknik ini juga sering dikerjakan pertama dalam studi elektrokimia. Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensial minimum yang diperlukan untuk melepaskan gugus yang terikat pada senyawa fenol yang kemudian diikuti dengan pendegradasian senyawa fenol tersebut menjadi CO_2 dan H_2O . Uji pendahuluan dilakukan dengan menggunakan Voltametri Siklik dengan kisaran potensial 1 V dan 2 V. Gambar 4.3 dibawah ini merupakan kurva voltametri siklik dengan scan rate 100 mVs^{-1} .



Gambar 4.3 Kurva voltametri siklik larutan fenol dalam larutan NaCl

Dari kurva voltametri siklik diatas terlihat sangat jelas perbedaan antara larutan fenol dalam aquades dengan fenol dalam NaCl. Pada oksidasi fenol dalam aquades tidak menunjukkan terjadinya oksidasi dengan pelepasan H^+ dari gugus OH pada fenol, hal ini dapat dilihat dengan grafiknya yang mendatar tanpa adanya *peak*. Sedangkan pada oksidasi fenol dalam NaCl menunjukkan adanya oksidasi yaitu dimulai pada potensial 0.02167 V, pada potensial ini terjadi hanya pelepasan ion H^+ dari OH membentuk ion fenolat, sedangkan oksidasi lebih lanjut untuk mendegradasi fenol menjadi CO_2 dan H_2O membutuhkan potensial yang lebih besar dari 0.0216 V. Pada potensial maksimum fenol didegradasi menjadi CO_2 dan H_2O yaitu seperti Gambar 4.4 berikut :

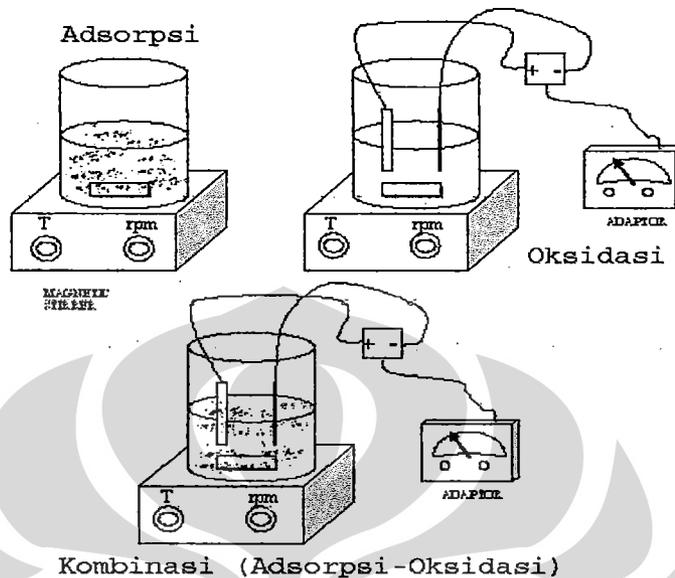


Gambar 4.4 Reaksi Degradasi Fenol ²⁶

4.2 Teknik Oksidasi Elektrokimia

Dalam penelitian ini oksidasi elektrokimia dilakukan dengan cara elektrolisis. Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit oleh arus listrik searah dengan menggunakan dua macam elektroda. Elektroda tersebut adalah katoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif) dan anoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif). Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda sehingga jumlah elektronnya berkurang atau bilangan oksidasinya bertambah.

Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.²³ Pada elektrolisis ini menggunakan dua elektroda yaitu elektroda Pb sebagai elektroda kerja yang dihubungkan pada kutub positif adaptor dan elektroda platina (batangan) sebagai elektroda pendukung yang dihubungkan pada kutub negatif. Rangkaian reaktor yang digunakan adalah pada Gambar 4.5 dimana adsorpsi menunjukkan rangkaian untuk teknik adsorpsi, oksidasi merupakan rangkaian untuk teknik oksidasi dan kombinasi merupakan rangkaian untuk teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi).



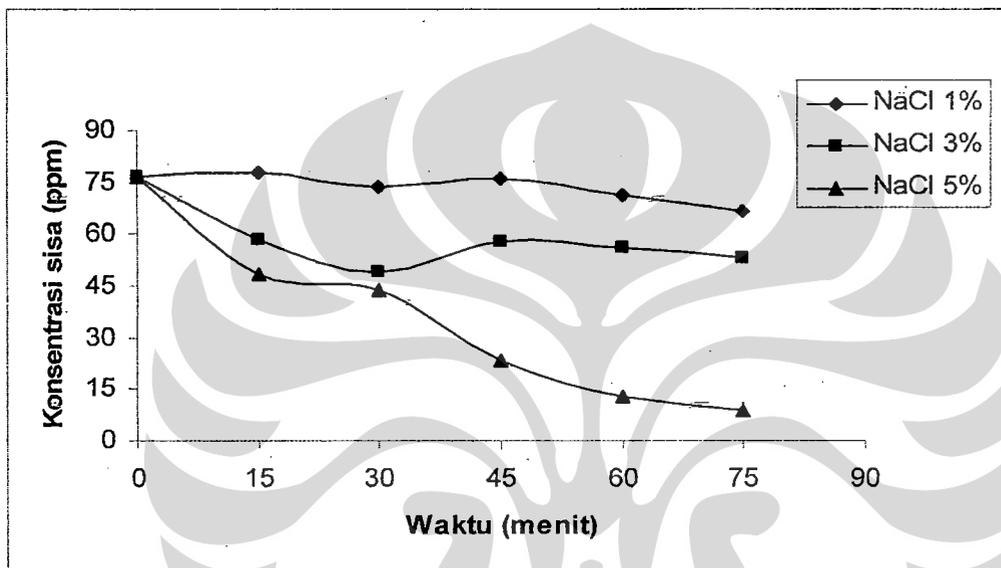
Gambar 4.5 Reaktor Elektrokimia

Selain kedua elektroda tersebut juga digunakan elektroda pembanding pada uji pendahuluan yaitu Ag/AgCl. Akibat aliran arus listrik searah ke dalam larutan elektrolit akan terjadi perubahan kimia dalam larutan tersebut. 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).

4.2.1 Penentuan Optimum Elektrolit

Optimasi larutan elektrolit dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan optimum elektrolit yang akan digunakan pada percobaan selanjutnya. Elektrolit sangat besar pengaruhnya baik pada teknik adsorpsi maupun teknik oksidasi serta kombinasi keduanya. Elektrolit pada teknik adsorpsi berfungsi untuk

menurunkan kepolaran senyawa fenol sehingga interaksi fenol dengan molekul air melemah. Sedangkan pada teknik oksidasi elektrolit berfungsi sebagai konduktor elektrik yang baik menghantarkan arus listrik. Berikut adalah kurva perbandingan dari konsentrasi elektrolit yang divariasikan.

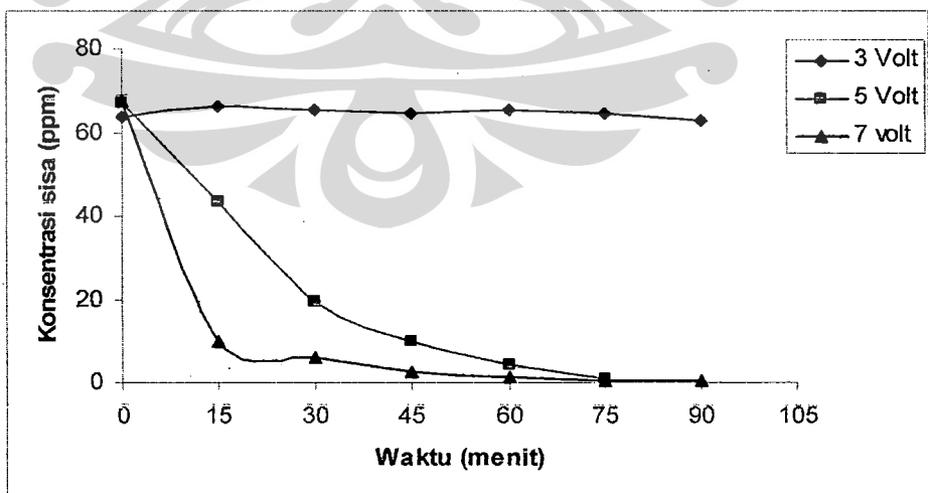


Gambar 4.6 Kurva perbandingan optimasi elektrolit

Dari Gambar 4.6 di atas dapat disimpulkan bahwa optimum elektrolit adalah NaCl 5% dengan menggunakan tiga variasi konsentrasi elektrolit. Pada dasarnya semakin besar konsentrasi elektrolit yang digunakan maka penurunan konsentrasi fenol akan semakin cepat, sehingga bukan hal yang mutlak untuk optimasi elektrolit, akan tetapi tergantung dari kondisi proses yang digunakan.

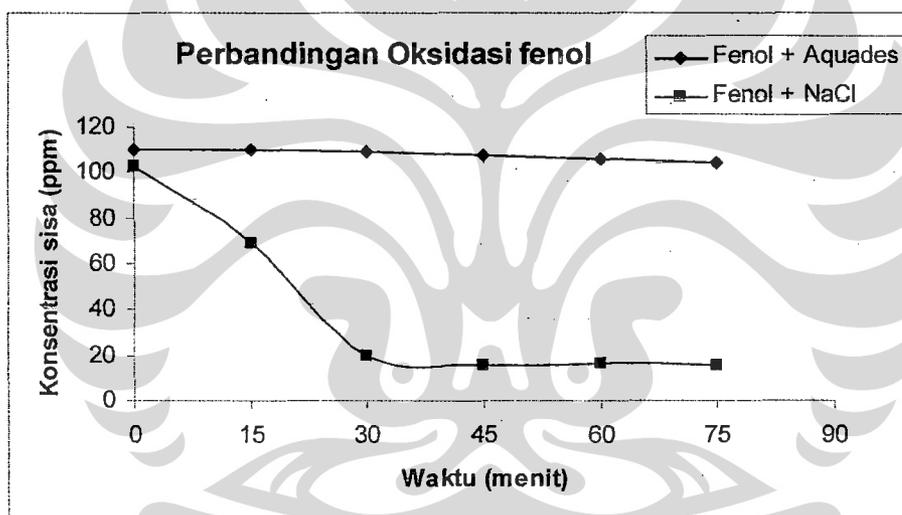
4.2.2 Penentuan Potensial Optimum

Penentuan potensial optimum dilakukan untuk mengetahui kondisi besarnya potensial yang akan digunakan selama proses elektrolisis berlangsung sampai konsentrasi fenol benar – benar habis terdegradasi. Kondisi optimum potensial divariasikan mulai dari 3 Volt, 5 volt dan 7 volt. Dan optimum potensial yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada potensial 7 Volt. Pada dasarnya semakin besar potensial yang diberikan pada oksidasi maka penurunan konsentrasi fenol akan semakin cepat. 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. Berikut adalah gambar perbandingan ketiga potensial.



Gambar 4.7 Kurva perbandingan potensial pada oksidasi larutan fenol.

Dari Gambar 4.7 diatas dapat dilihat perbandingan potensial antara 3 volt, 5 volt dan 7 volt. Pada potensial 3 volt tidak memberikan penurunan konsentrasi fenol yang begitu signifikan, hal ini dapat dilihat dari garis yang ditunjukkan di atas hampir datar atau lamdai. Sedangkan pada potensial 5 dan 7 volt cukup memberikan penurunan konsentrasi yang signifikan. Pada potensial optimum juga dilakukan oksidasi fenol dalam aquades, hasil dari penurunan konsentrasi ditunjukkan pada kurva di bawah ini. Dengan adanya penambahan NaCl pada senyawa fenol menyebabkan penurunan konsentrasi fenol semakin cepat.

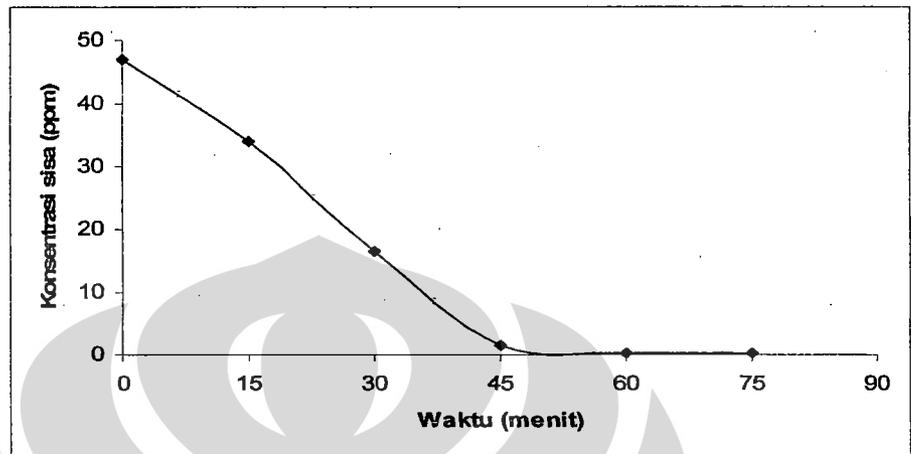


Gambar 4.8 Kurva perbandingan oksidasi fenol dalam aquades dan NaCl

4.2.3 Penentuan Waktu Optimum Oksidasi

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum waktu yang dibutuhkan untuk mengoksidasi larutan fenol pada potensial optimum dan juga optimum elektrolit. Pada dasarnya semakin lama fenol dioksidasi maka semakin banyak fenol yang terurai, tapi hal ini tergantung dari kondisi yang digunakan

dalam proses percobaan. Berikut adalah kurva optimasi waktu oksidasi larutan fenol.



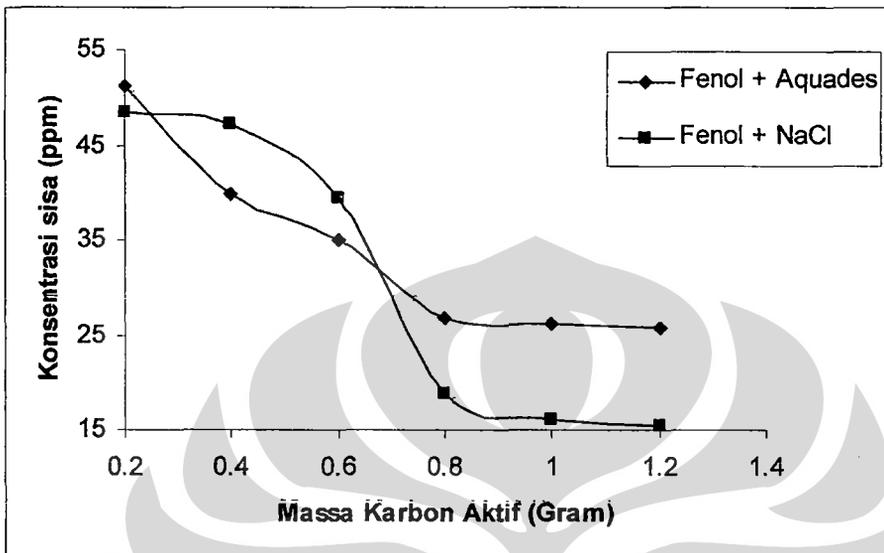
Gambar 4.9 Kurva waktu optimum oksidasi larutan fenol

Dari kurva di atas waktu optimum oksidasi larutan fenol adalah pada menit ke-45. Sedangkan pada menit berikutnya tidak menunjukkan penurunan konsentrasi fenol yang signifikan yaitu ditandai dengan kurva yang mendatar.

4.3 Teknik Adsorpsi

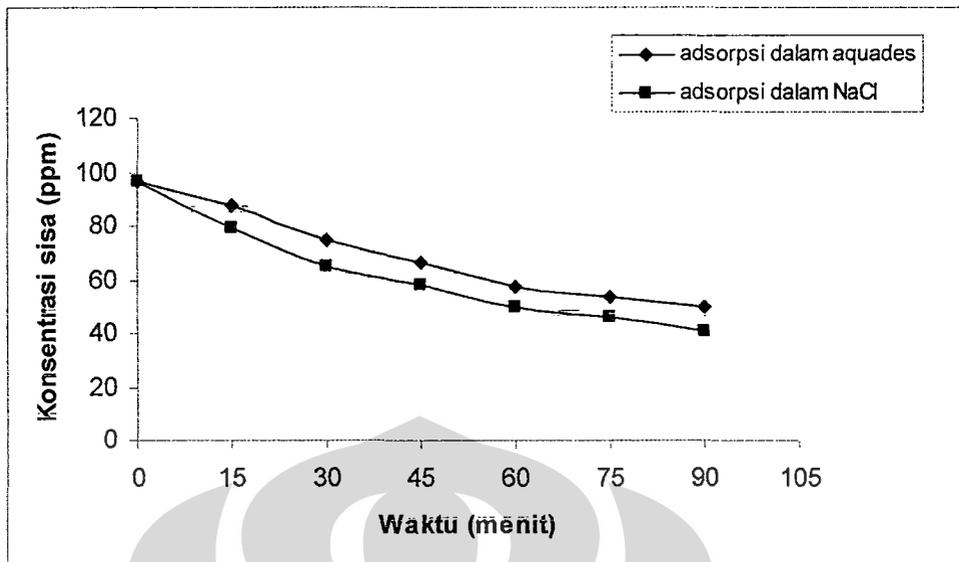
Pada teknik adsorpsi menggunakan karbon aktif 1 gram untuk mengadsorpsi larutan fenol 100 ppm. Penggunaan karbon aktif 1 gram merupakan jumlah karbon optimum untuk mengadsorpsi fenol 100 ppm. Pada dasarnya semakin banyak jumlah adsorben (karbon akti) yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka semakin banyak pula jumlah adsorbat (fenol) yang teradsorpsi oleh adsorben tersebut. Akan tetapi berdasarkan penelitian (Ratna, 2008) yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 penentuan jumlah karbon optimum;

optimumnya adalah 1 gram baik pada adsorpsi larutan fenol dalam aquades maupun dalam NaCl.



Gambar 4.10 Kurva Variasi jumlah karbon aktif pada adsorpsi

Adsorpsi fenol dalam larutan elektrolit NaCl dan juga adsorpsi fenol dalam aquades memberikan penurunan konsentrasi fenol yang berbeda. Gambar 4.11 menunjukkan penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi pada kondisi optimum. 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.



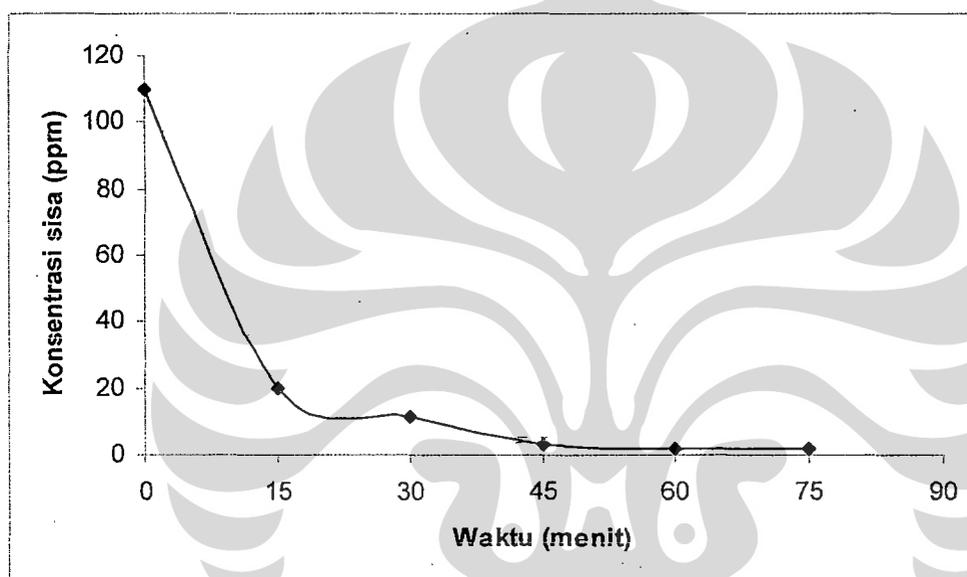
Gambar 4.11 Kurva penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi

Penambahan NaCl pada larutan fenol menyebabkan berkurangnya molekul air yang mengelilingi molekul fenol sehingga interaksi antara molekul fenol dengan molekul air akan semakin melemah. Akibatnya semakin banyak molekul fenol yang diikat oleh gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif. Namun pada teknik adsorpsi, penambahan elektrolit NaCl tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan konsentrasi fenol, hal ini dapat dilihat pada perbandingan kurva di atas. Berbeda dengan teknik oksidasi dimana elektrolit sangat berpengaruh untuk penurunan konsentrasi fenol.

4.4 Teknik Kombinasi Adsorpsi dan Oksidasi

Teknik ini merupakan gabungan dari teknik adsorpsi dan teknik oksidasi dengan menggunakan kondisi optimum yang ditentukan pada percobaan sebelumnya. Teknik kombinasi ini diharapkan memberikan hasil yang lebih bagus dibandingkan dengan masing-masing teknik.

Berikut adalah kurva teknik kombinasi pada penurunan konsentrasi larutan fenol.



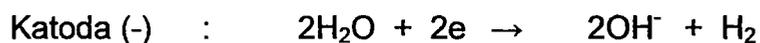
Gambar 4.12 Kurva teknik kombinasi pada kondisi optimum

Dari Gambar 4.12 di atas menunjukkan teknik kombinasi memberikan hasil yang lebih bagus dibandingkan masing-masing teknik. Namun jika dibandingkan antara oksidasi dengan kombinasi tidak begitu signifikan penurunannya, hal ini dapat dilihat pada persen konversi Gambar 4.13.

Apabila dalam suatu elektrolit (NaCl) ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, yaitu ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima

elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi. Reaksi yang mungkin terjadi pada proses ini adalah :

↓ Reaksi elektrolisis air :



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda

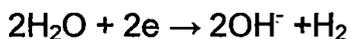
↓ Reaksi elektrolisis NaCl



Ion H^+ dari suatu asam (fenol) akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda



4.5 Perbandingan Teknik Adsorpsi, Oksidasi dan Kombinasi

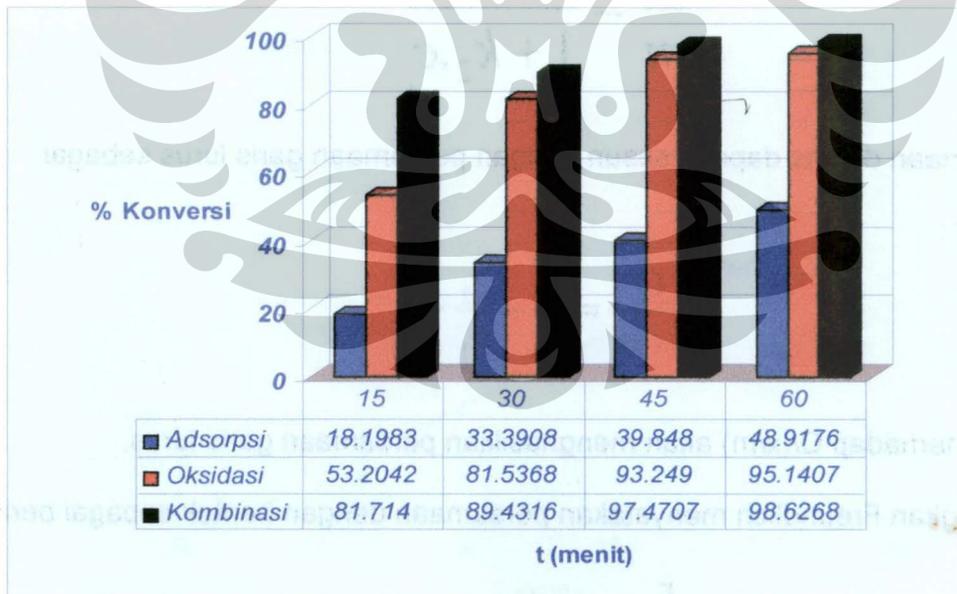
Perbandingan ketiga teknik diasumsikan sebagai persen konversi sehingga dapat diketahui berapa persen konsentrasi fenol yang terurai atau besarnya penurunan konsentrasi fenol dalam bentuk persen.

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

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

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

Gambar 4.13 menunjukkan kurva perbandingan persen konversi pada masing-masing teknik dan teknik kombinasi.



Gambar 4.13 Kurva perbandingan persen konversi adsorpsi, oksidasi dan kombinasi larutan fenol dalam NaCl

4.6 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Tujuan penentuan isoterm adsorpsi adalah untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi selama proses adsorpsi pada permukaan karbon aktif. Dengan demikian akan diketahui jenis ikatan yang terjadi antara gugus aktif karbon dengan fenol. Deret konsentrasi fenol yang dibuat pada 5 variasi konsentrasi yaitu 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm diadsorpsi dengan 1 gram karbon aktif dengan menggunakan pelarut aquades dan elektrolit 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.

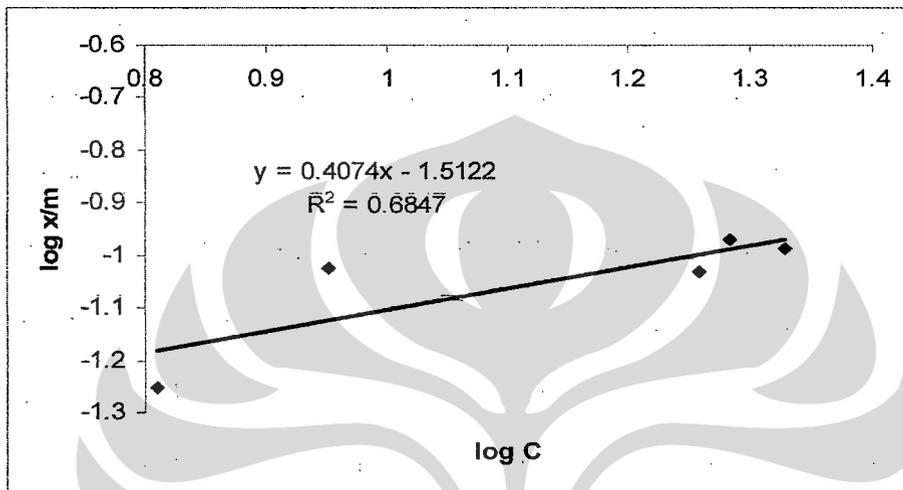
Sedangkan Freundlich menyatakan persamaan dengan bentuk sebagai berikut :

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

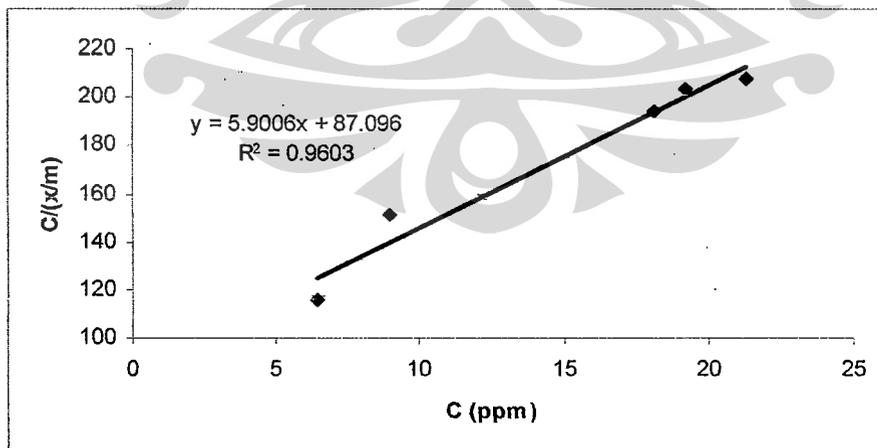
Persamaan diatas dikonversi ke dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

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

Log C_{kes} diplot terhadap log x/m akan diperoleh persamaan garis lurus sehingga didapat nilai regresi linier. Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 adalah bentuk persamaan yang didapat dari hasil pengolahan data isoterm adsorpsi.



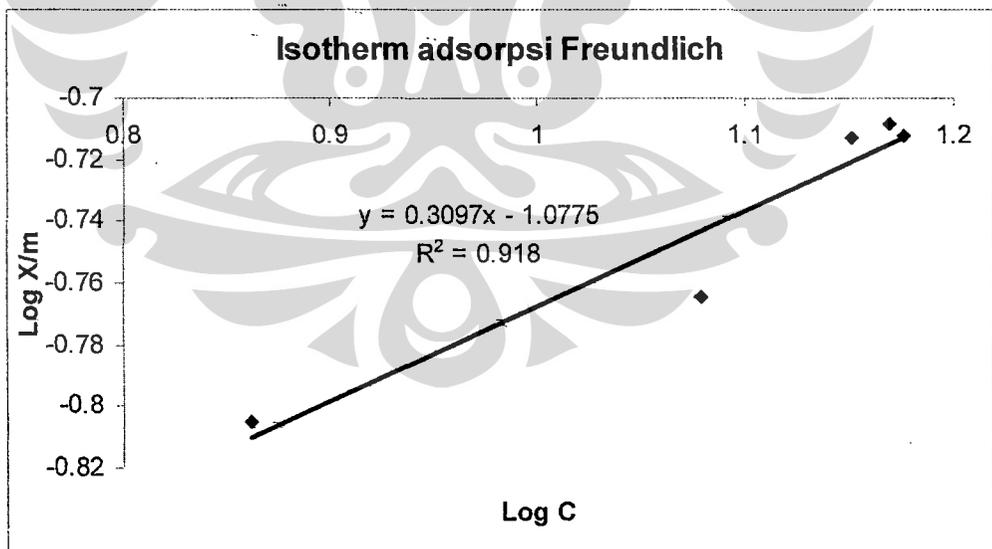
Gambar 4.14 Kurva isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam aquades



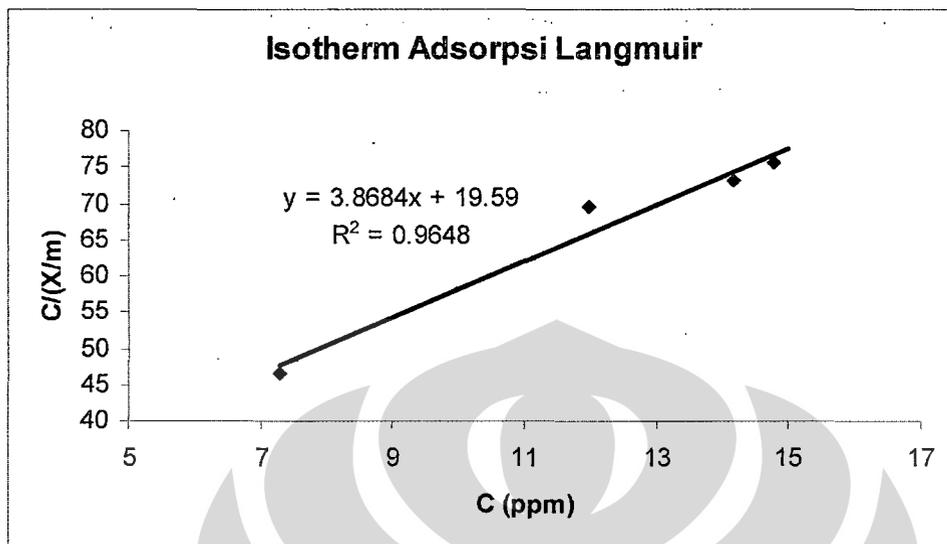
Gambar 4.15 Kurva isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam aquades

Dari kurva isoterm adsorpsi di atas bahwa nilai r^2 untuk jenis isoterm Freundlich adalah 0,6847, sedangkan jenis isoterm Langmuir nilai r^2 adalah 0,9603. Dari nilai regresi tersebut dapat dinyatakan bahwa jenis adsorpsi yang terjadi adalah mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir. Isoterm Langmuir mengacu kepada adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia (kemisorpsi), dengan membentuk lapisan monolayer dan luas permukaan karbon aktif yang besar, adsorpsi fenol dapat terjadi. Akan tetapi hal tersebut tidak mutlak, karena jika proses adsorpsi tersebut dilanjutkan dengan waktu yang relatif lama, konsentrasi fenol akan kembali meningkat, itu artinya bahwa adsorpsi fisika juga terjadi.

Sama halnya dengan isoterm adsorpsi pada larutan fenol dengan menggunakan NaCl. Seperti yang digambarkan pada Gambar 4.16 dan 4.17 bahwa isoterm yang terjadi juga mengikuti Langmuir.



Gambar 4.16 Kurva isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam NaCl 5 %

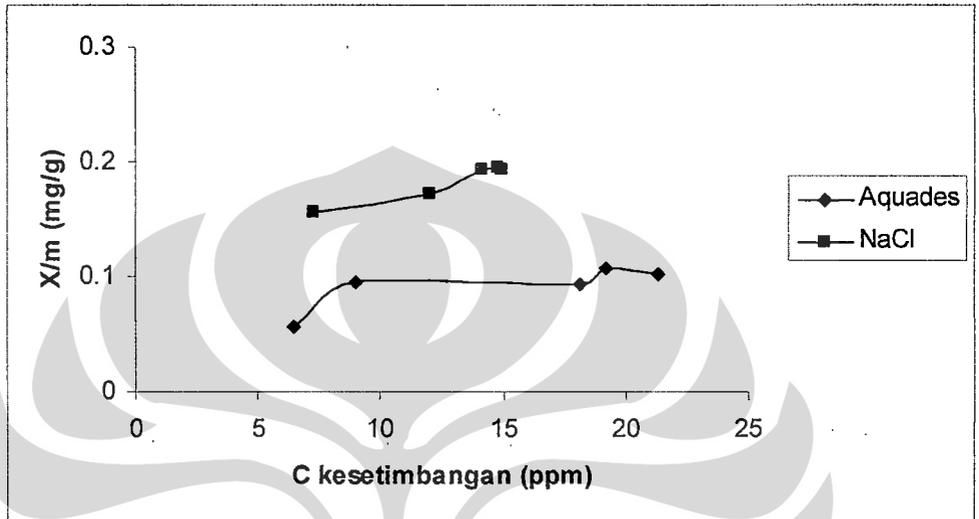


Gambar 4.17 Kurva isotherm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam NaCl 5 %

Dari kurva di atas besarnya nilai regresi untuk isotherm Freundlich adalah 0,916. Sedangkan untuk Langmuir adalah 0,9648. Sama halnya dengan isotherm pada larutan fenol dalam aquades yang mengasumsikan bahwa jenis adsorpsinya adalah Langmuir karena memiliki nilai regresi paling besar. Akan tetapi hal ini juga tidak memungkinkan untuk terjadinya adsorpsi jenis Freundlich yang menyatakan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisika, karena spesies awal senyawa fenol ditemukan kembali ketika proses adsorpsi dilanjutkan pada waktu yang lebih lama.

Penambahan NaCl akan berpengaruh pada kenaikan nilai x/m (banyaknya fenol yang teradsorpsi dalam karbon aktif). Hal ini terjadi karena penambahan NaCl menyebabkan berkurangnya molekul air yang mengelilingi molekul fenol sehingga interaksi antara fenol dengan molekul air akan lemah.

Akibatnya semakin banyak molekul fenol yang diikat oleh gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif. Seperti Gambar 4.18 yang menggambarkan perbandingan isoterm adsorpsi.



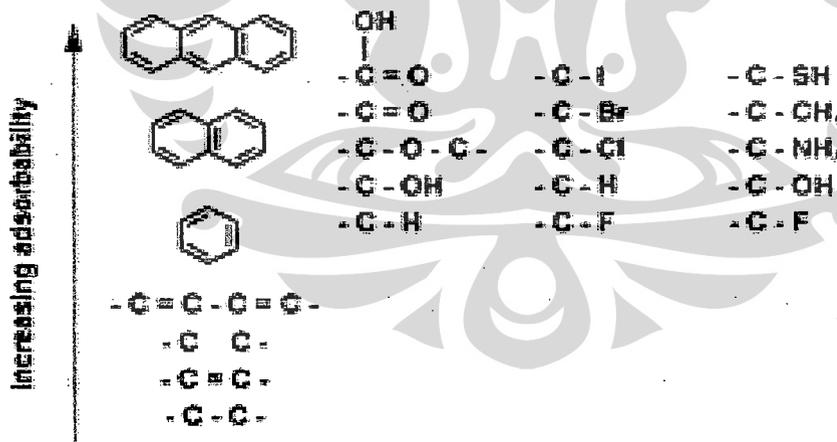
Gambar 4.18 Kurva perbandingan isoterm adsorpsi

Pada dasarnya kapasitas adsorpsi karbon terhadap suatu zat terlarut dipengaruhi oleh karbon dan zat yang terlarut. Kelarutan, struktur molekul, dan berat molekul zat terlarut berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi karbon. Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif tetapi kemampuan karbon untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa.

Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul yang terserap (adsorbat) dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, dan struktur rantai dari senyawa adsorbat.

Gambar 4.19 menunjukkan jenis senyawa organik yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif. Dalam prakteknya, karbon aktif digunakan terutama untuk adsorpsi senyawa organik dan juga beberapa senyawa anorganik dengan berat molekul yang besar seperti iodin dan merkuri. Secara umum meningkatnya kemampuan senyawa-senyawa tersebut diadsorpsi oleh karbon dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

- Bertambahnya berat molekul (BM)
- Tingkat gugus fungsi yang tinggi seperti ikatan ganda (*double bonds*) atau senyawa halogen
- Meningkatnya polarisasi (pengkutuban) molekul yang berhubungan dengan awan-awan elektron molekul



Gambar 4.19 Tingkat kemampuan adsorpsi karbon aktif pada senyawa organik ²²

Adapun mekanisme penyerapan adalah sebagai berikut :

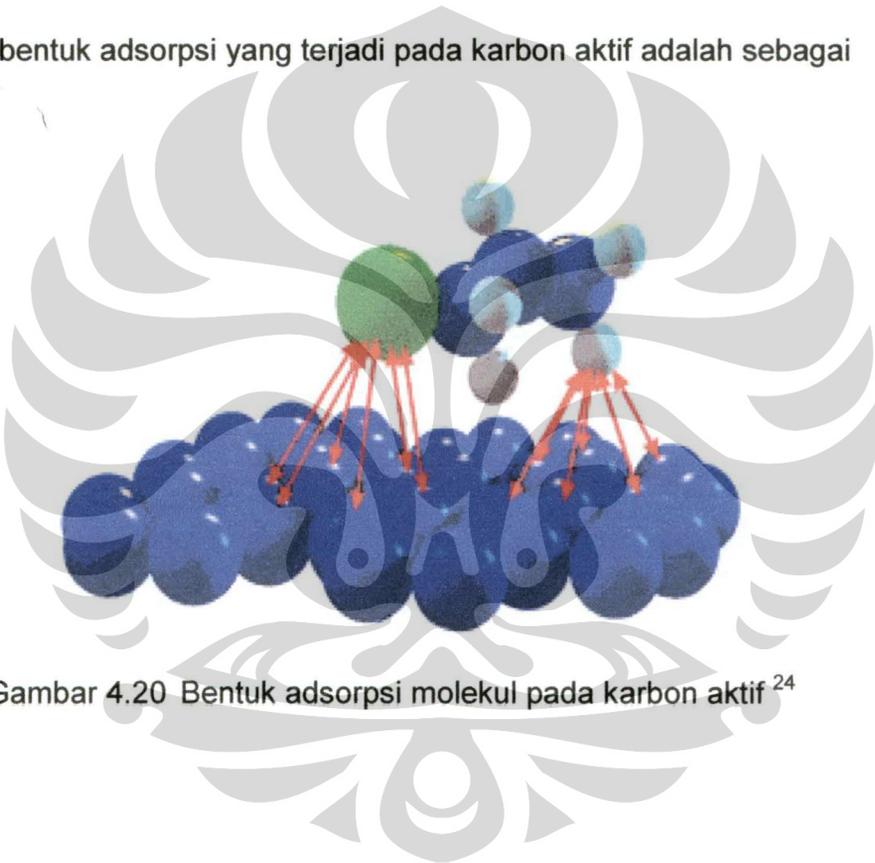
1. Molekul adsorbat berpindah menuju lapisan terluar dari adsorben.
2. Karbon aktif dalam kesatuan kelompok mempunyai luas permukaan pori yang besar sehingga dapat mengadakan penyerapan terhadap adsorbat.
3. Sebagian adsorbat ada yang teradsorpsi di permukaan luar, tetapi sebagian besar teradsorpsi di dalam pori-pori adsorben dengan cara difusi.
4. Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian besar molekul adsorbat akan teradsorpsi dan terikat di permukaan. Tetapi bila permukaan pori adsorben sudah jenuh dengan adsorbat maka akan terjadi dua kemungkinan, yaitu :
 - Terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya.
 - Tidak terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi akan terus berdifusi keluar pori.

Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap suatu gas dalam jumlah besar, tetapi menyerap gas-gas lain dalam jumlah yang lebih kecil.
2. Adsorpsi terjadi sangat cepat, dimana kecepatan adsorpsinya semakin berkurang dengan semakin banyaknya gas yang diserap.

3. Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorben, semakin porus adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya.
4. Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat adsorben tergantung pada tekanan parsial (partial pressure) gas, dimana semakin besar tekanan maka semakin banyak gas diserap.²⁰

Kemungkinan bentuk adsorpsi yang terjadi pada karbon aktif adalah sebagai berikut :



Gambar 4.20 Bentuk adsorpsi molekul pada karbon aktif²⁴

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk pengolahan limbah fenol jauh lebih baik menggunakan teknik oksidasi dibandingkan teknik adsorpsi karbon aktif dengan persen konversi teknik oksidasi 96,80 % dan teknik adsorpsi 52,91 %.
2. Penurunan konsentrasi fenol menggunakan teknik kombinasi lebih bagus dibandingkan dengan masing-masing teknik.
3. Hasil penentuan jenis isoterm adsorpsi baik dalam aquades maupun dalam NaCl cenderung mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir.
4. Hasil persen konversi penurunan konsentrasi fenol dengan teknik adsorpsi karbon aktif pada menit ke-75 adalah 52,91 %, teknik oksidasi 96,80 %, sedangkan teknik kombinasi 98,59 %.
5. Pada teknik elektrokimia potensial optimum yang digunakan adalah 7 Volt, sedangkan optimum elektrolit NaCl adalah 5%.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu :

1. Mengukur filtrat fenol menggunakan instrumen lain setelah melalui adsorpsi maupun oksidasi, sehingga dapat dipastikan apakah fenol benar-benar terdekomposisi menjadi CO_2 dan H_2O . Misalnya IR
2. Mempelajari mekanisme yang terjadi selama proses adsorpsi maupun oksidasi sehingga senyawa antara tidak terbentuk.
3. Penelitian ini merupakan studi penurunan konsentrasi fenol menggunakan teknik adsorpsi dan teknik oksidasi juga kombinasi adsorpsi-oksidasi, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang teknik oksidasi dan kombinasi, karena persen konversi kedua teknik tersebut tidak jauh perbedaannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Juliandini, Fithrianita. 2008. *Uji Kemampuan Karbon Aktif Dari Limbah Kayu Dalam Sampah Kota Untuk Penyisihan Fenol*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
2. Alaerts, G & Sri Sumestri Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional.
3. Baksi, S., S. Biswas, S. Mahajan. 1998. *Activated Carbon From Bamboo-Technology Development Towards Commercialization*.
4. Listyarini, Sri. 1985. *Pengaruh Perlakuan Asam Sulfat Terhadap Aktifitas Bentonit Sebagai Penjernihan Minyak Kelapa Sawit*. Karya Utama Sarjana Kimia. Depok. Departemen Kimia UI, FMIPA UI.
5. Subiarto. 1999/2000. *Penyerapan Sf-gO dan Co-60 dari Limbah Radioaktif Cair dengan Arang Aktif Lokal, Uspen P2PLR –BATAN*. Serpong.
6. Tryana, Meilita Sembiring, ST & Sarma, Tuti Sinaga, ST. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
7. Razak, Darmilah Ms. 1994. *Penghilangan Fenol Air Dar Limbah Industri dengan Adsorpsi Karbon Aktif*. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Sumber Daya Alam dan Lingkungan Lembaga Penelitian UNPAD. Bandung.
8. Wu, Zucheng dkk. 2004. *p-Nitrophenol Abatement by The Combination of Electrocatalysis and Activated Carbon*. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzho 310027, China.

9. Juliandini, Fithrianita. 2008. *Uji Kemampuan Karbon Aktif Dari Limbah Kayu Dalam Sampah Kota Untuk Penyisihan Fenol*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
10. Rahmah, Luthfia. 2007. *Studi Pendahuluan Aplikasi Elektrokimia Untuk Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif Pada Penurunan Intensitas Warna Biru Indigo*. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok
11. Harry M. Freeman: 1989. *Standarad Handbook of hazardous Waste Treatment and Disposal*, Mc. Graw Hill Book Company, U.S.A.
12. Dwiwahyuni, Arum. 2007. *Studi Pendahuluan Regenerasi Karbon Aktif Yang Terjenuhkan Senyawa Fenol Dengan Metode Elektrolisis*. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok.
13. Erahman, Q.F. *Studi Reaksi Katalitik Toluena dan Metanol Menjadi Xilena Dengan Menggunakan Katalis Zeolit H-zsm dan γ -Al₂O₃-TiO₂*. Karya Utama Sarjana Kimia. Depok. Departemen Kimia UI, FMIPA UI.
14. Bard. J Allen & L.R Faulkner. 2001. *Electrochemical Methods Fundamental and Application Second Edition*. US.jhon wiley & sons, Inc. Washinton DC : xv + 530 hlm.
15. Day. R.A, A.L Underwood. 1998. *Analisa Kimia Kuantitatif Edisis Kelima. Terjemahan dari Quantitative Analysis, Oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka, Ph.D. Erlangga. Jakarta. : xv + 692 hlm.*
16. Wulandari, Rianti. 1989. *Pemanfaatan Sekam Sebagai Karbon Aktif*. Karya Utama Sarjana Kimia. Depok. Departemen Kimia UI, FMIPA UI.

17. 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
18. Martin, A., Bustamante, P., 1993, *Physical Pharmacy : Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences*, 4th Ed, Lea & Febiger, Philadelphia.
19. Sinko, J.P., 2006, *Martin's Physical Pharmacy and Pharmaceutical Science : Physical Chemical and Biopharmaceutical Principles in the Pharmaceutical Sciences*.
20. Pengolahan Limbah Radiaktif (SR-90) dengan Arang Aktif Lokal. <http://digilib.batan.go.id/sipulitbang>. 16 Oktober 2008.
21. What is Adsorption. <http://G:\IARC+isoterm ads-160408\htm>, 16 Oktober 2008.
22. Bard, Allens J dan Faulkner, Larry R. 2000. *Electrochemical Methods Fundamentals and Applications*. Department of Chemistry and Biochemistry. University of Texas at Austin.
23. Sunardi. 2007. *Pengaruh Tegangan Listrik Dan Kecepatan Alir Terhadap Hasil Pengolahan Limbah Cair Yang Mengandung Logam Pb, Cd Dan TSS Menggunakan Alat Elektrokoagulasi*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan, BATAN. Yogyakarta.
24. Retna S.R.W.N. 2001. *Studi Degradasi Fotokatalitik Fenol Dengan Katalis Suspensi TiO₂ Terhadap Variasi Volume & Intensitas*. Departemen Kimia FMIPA UI.

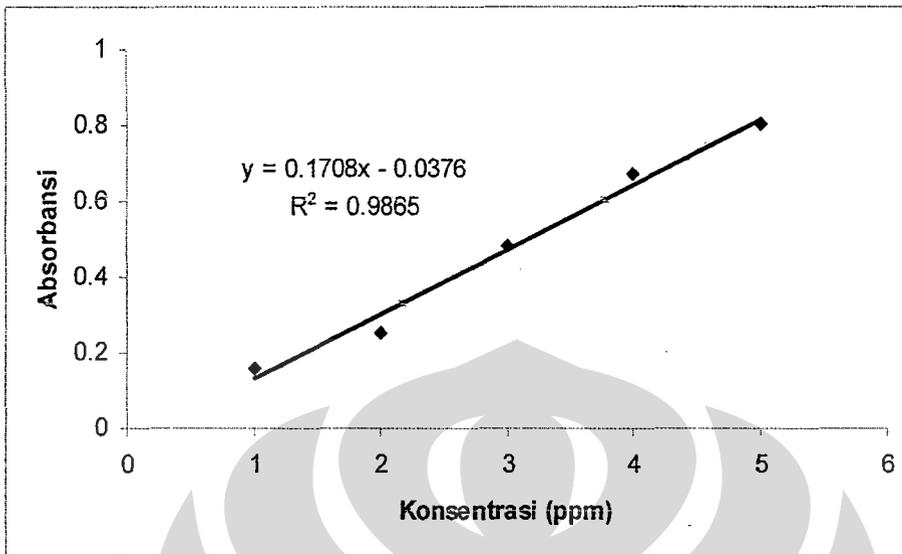
25. ZHU Xiang-feng, XU Xin-hua. 2004. *The mechanism of Fe (III)-catalyzed ozonation of phenol*. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzho 310027, China.
26. Basuki, Kris TRI. 2007. *Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisil Gas Buang Dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif. PTAPB-BATAN*. Yogyakarta.
27. Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid I Edisi ke Empat*. Terj. Dari Physical chemistry, oleh Dra. Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga. Jakarta:xv + 530 hm.



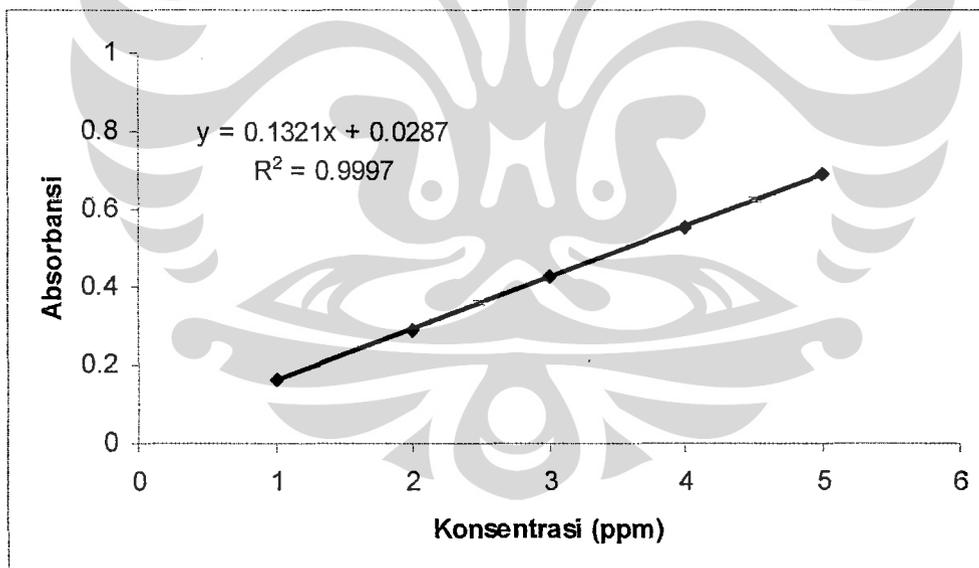
25. ZHU Xiang-feng, XU Xin-hua. 2004. *The mechanism of Fe (III)-catalyzed ozonation of phenol*. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzho 310027, China.
26. Basuki, Kris TRI. 2007. *Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif*. PTAPB-BATAN. Yogyakarta.
27. Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid I Edisi ke Empat*. Terj. Dari Physical chemistry, oleh Dra. Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga. Jakarta:xv + 530 hlm.



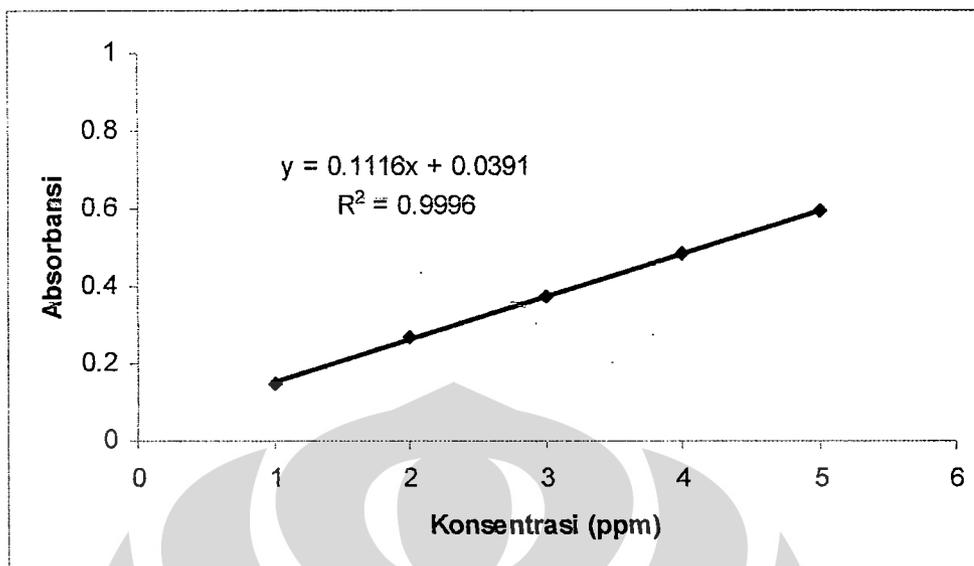




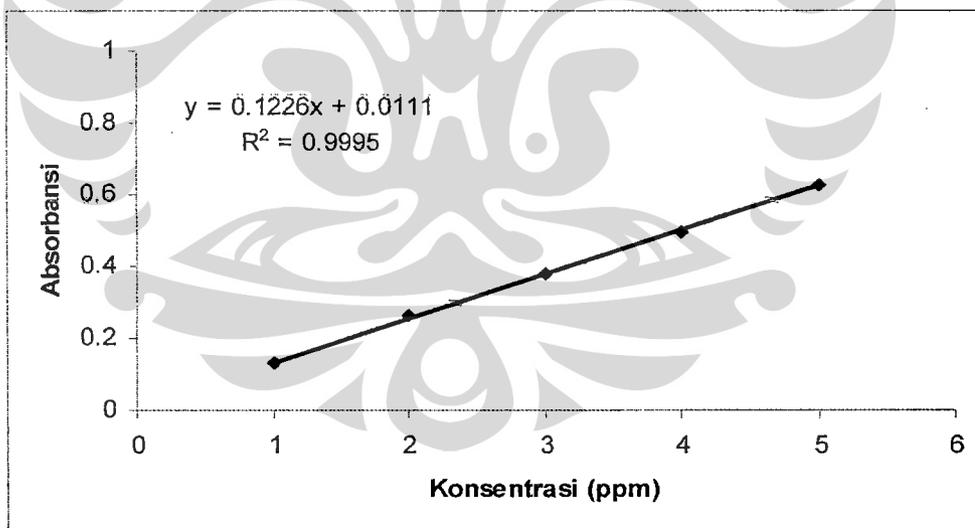
Gambar 4.21 Kurva standar penentuan serapan maksimum larutan fenol



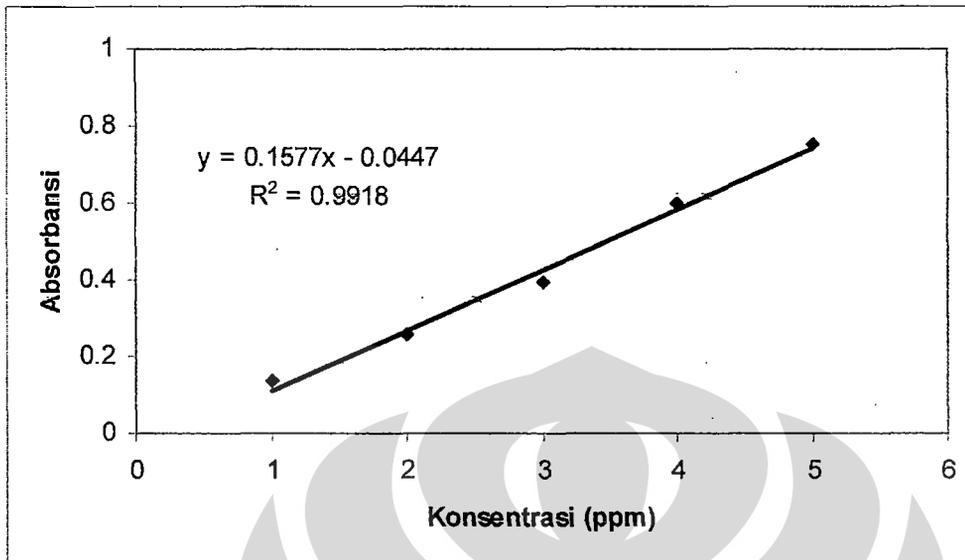
Gambar 4.22 Kurva standar penentuan optimasi konsentrasi elektrolit



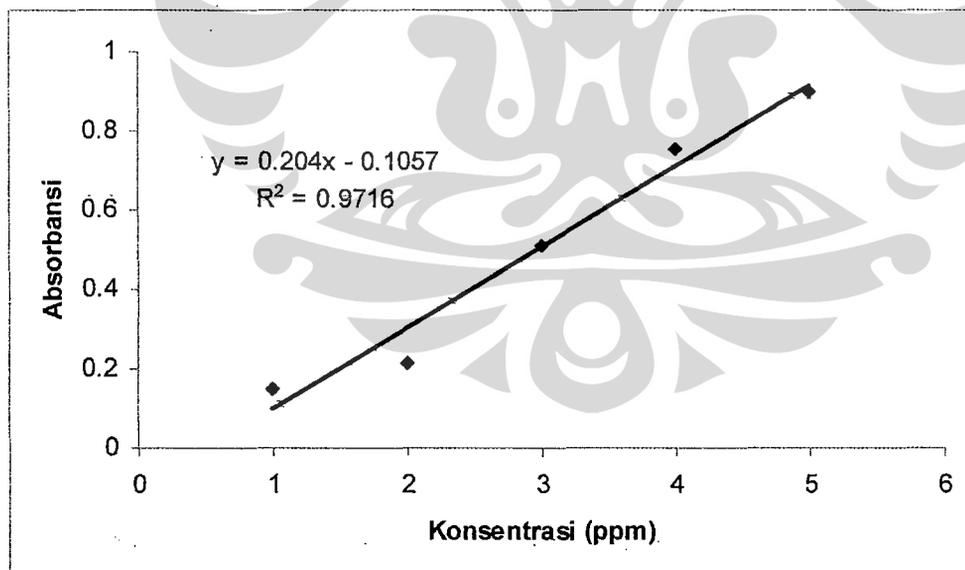
Gambar 4.23 Kurva standar penentuan optimum potensial oksidasi larutan fenol dalam NaCl



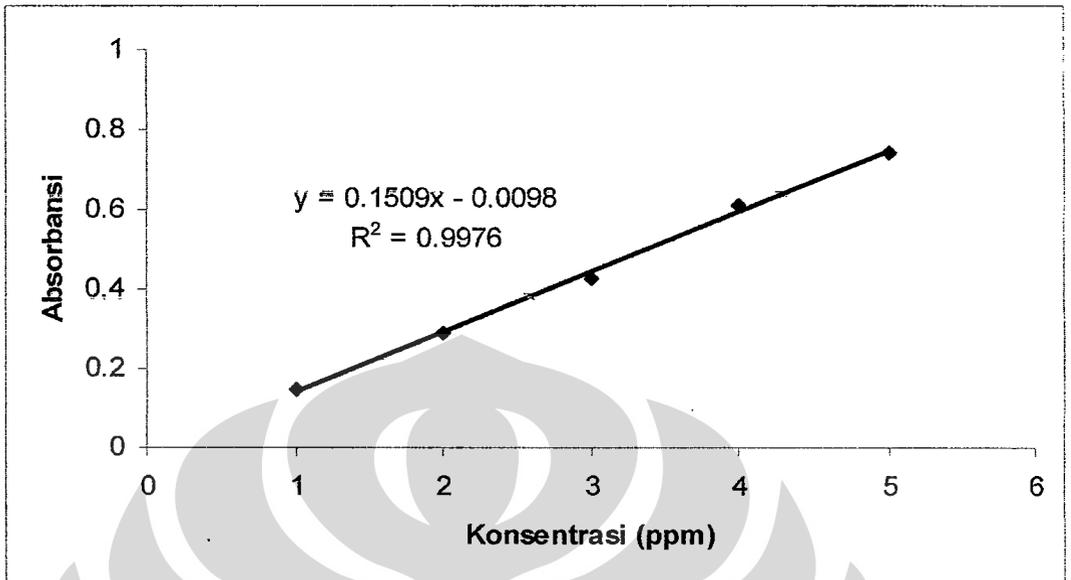
Gambar 4.24 Kurva standar penentuan waktu optimum oksidasi larutan fenol dalam NaCl



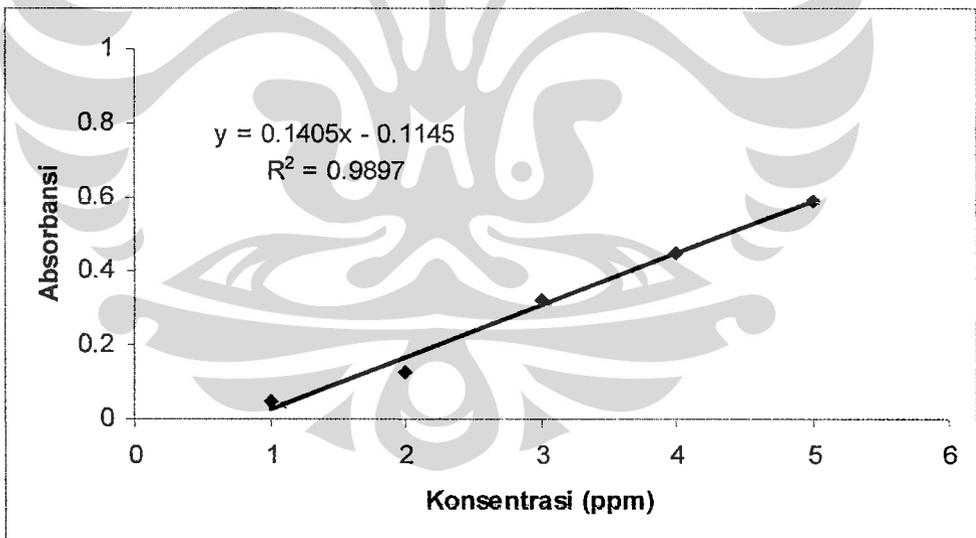
Gambar 4.25 Kurva standar penurunan konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi



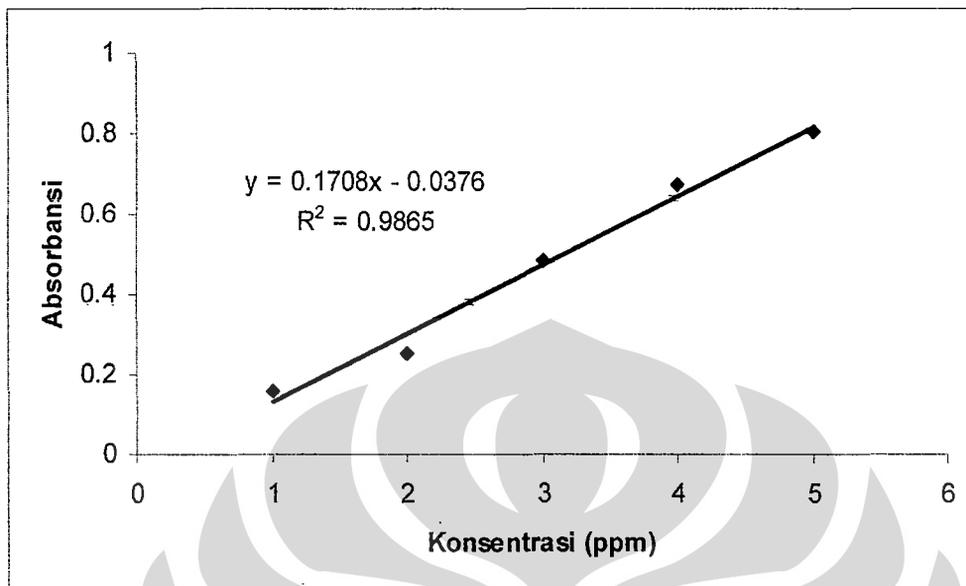
Gambar 4.26 Kurva standar teknik kombinasi pada kondisi optimum



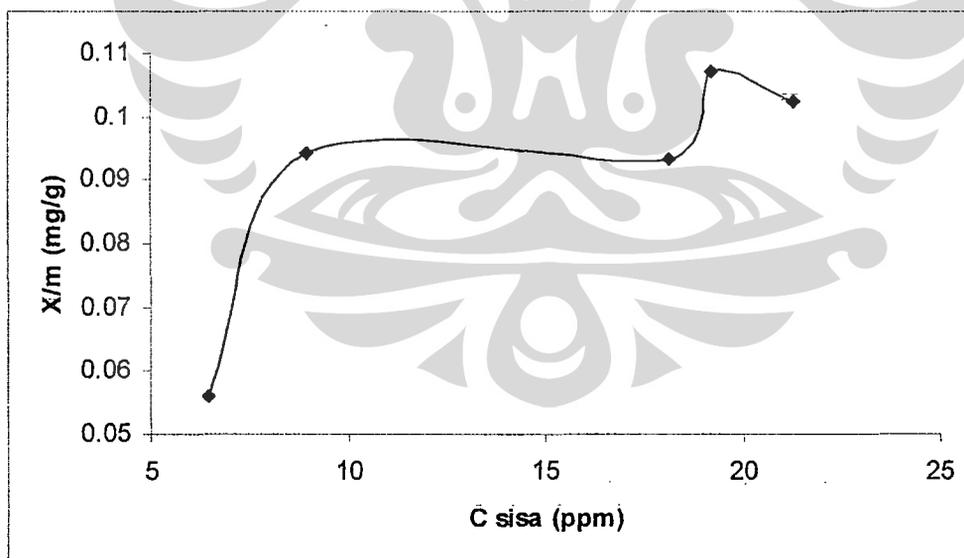
Gambar 4.27 Kurva standar penentuan % konversi teknik adsorpsi, teknik oksidasi dan teknik kombinasi



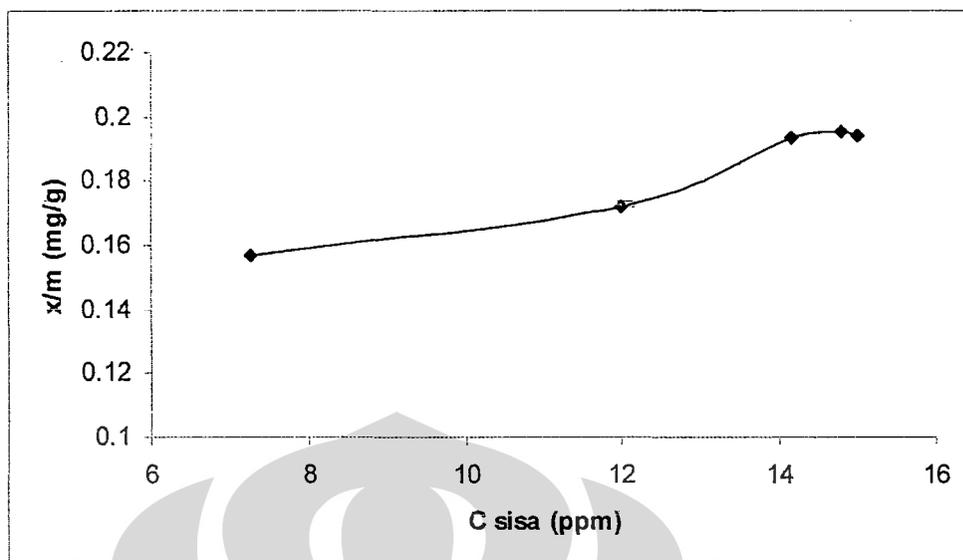
Gambar 4.28 Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol



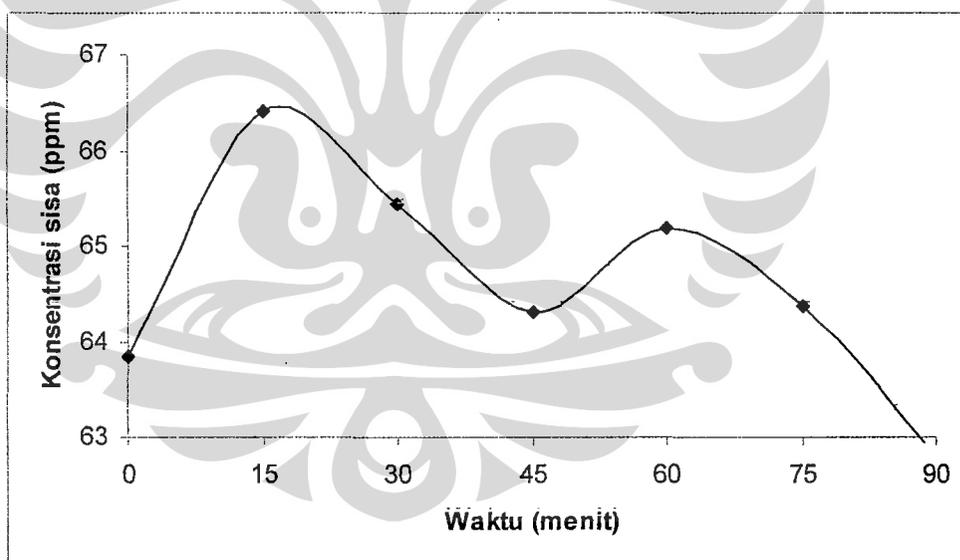
Gambar 4.29 Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 5%



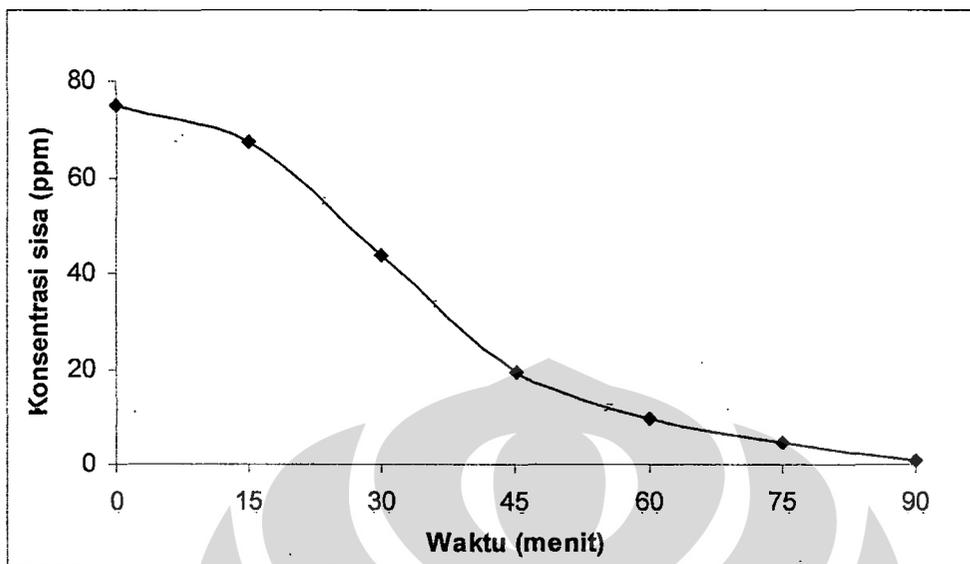
Gambar 4.30 Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol



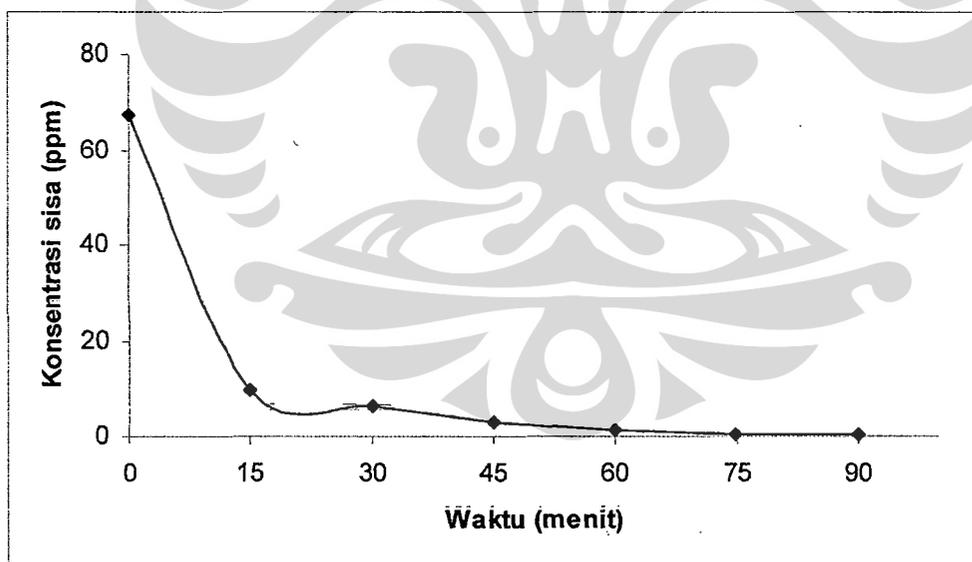
Gambar 4.31 Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 5 %



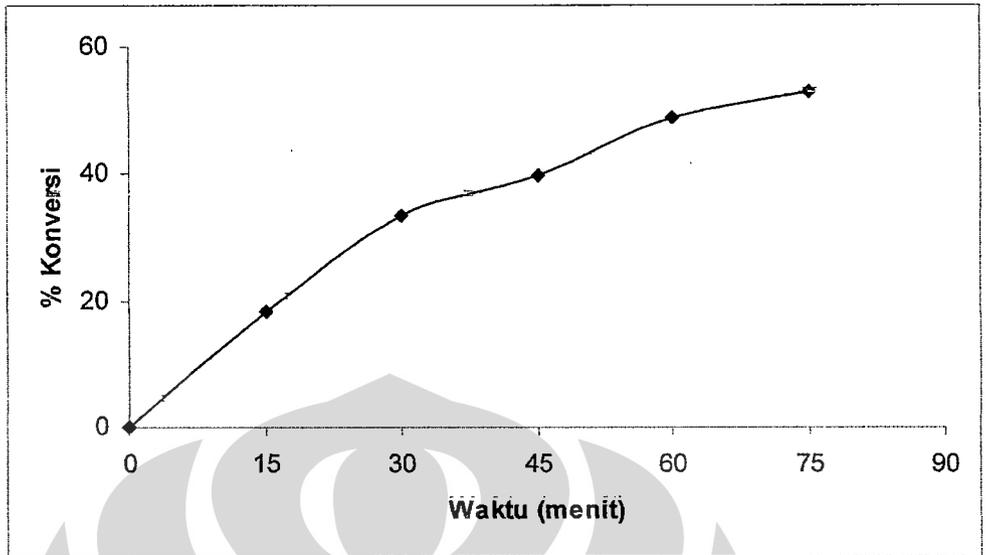
Gambar 4.32 Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 3 V



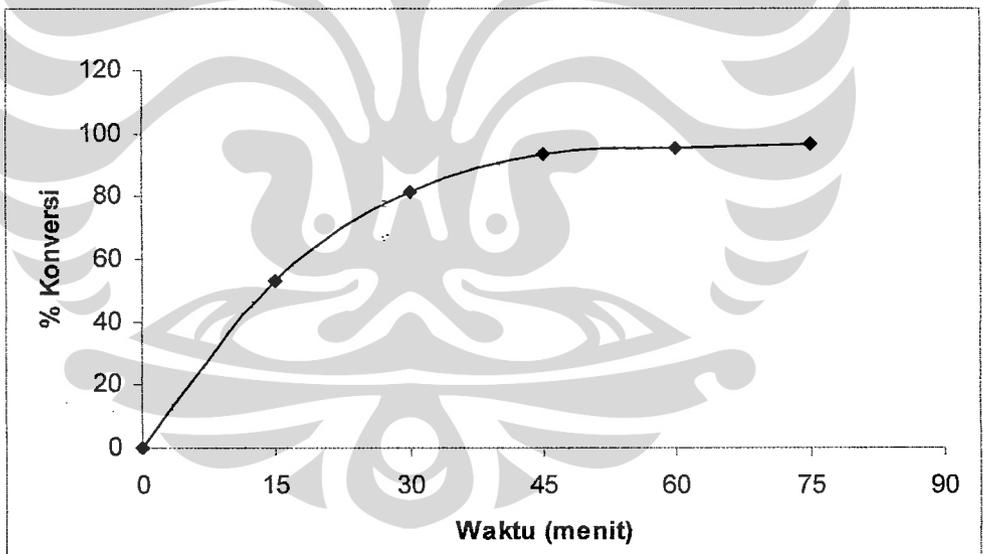
Gambar 4.33 Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 5 V



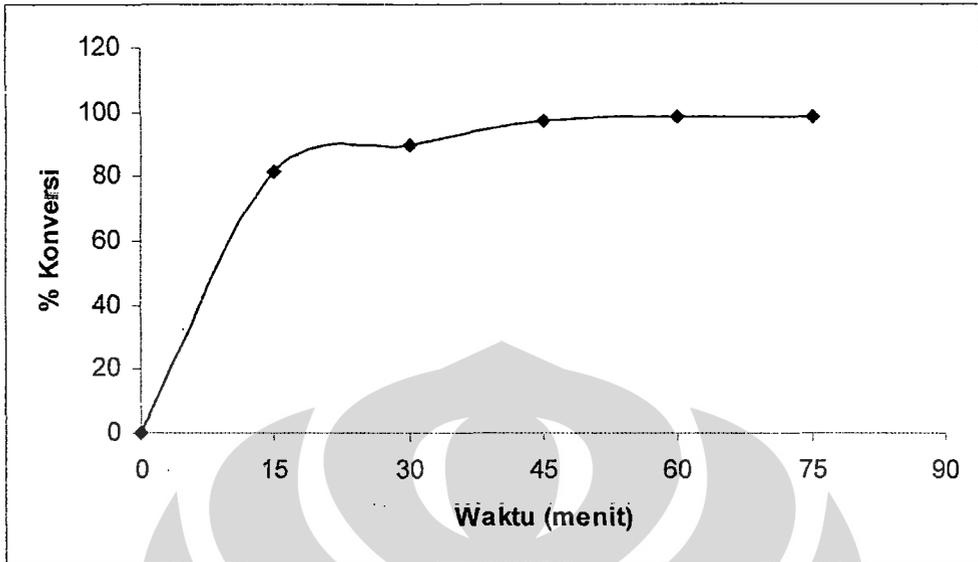
Gambar 4.34 Kurva oksidasi larutan fenol dalam NaCl → 7 V



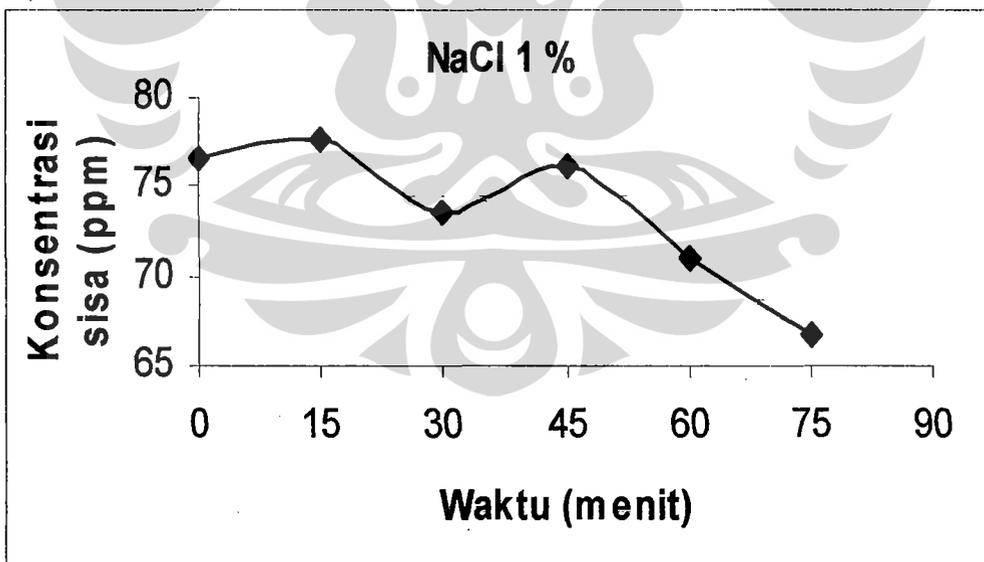
Gambar 4.35 Kurva kenaikan % konversi teknik adsorpsi dalam NaCl



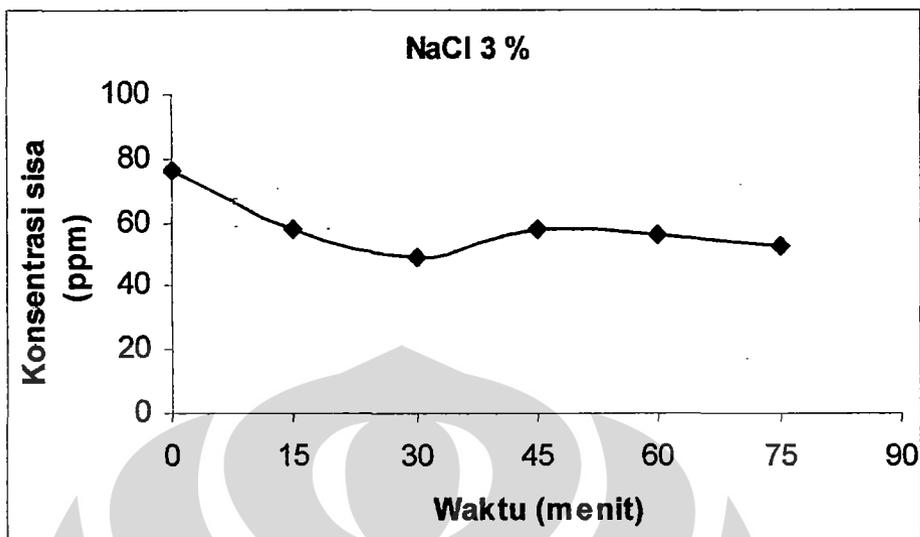
Gambar 4.36 Kurva kenaikan % konversi teknik oksidasi dalam NaCl



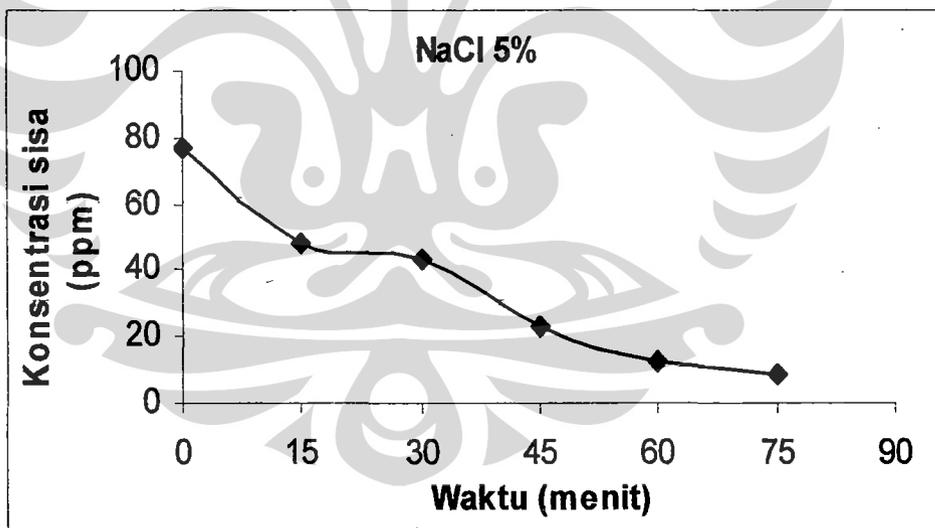
Gambar 4.37 Kurva kenaikan % konversi teknik kombinasi dalam NaCl



Gambar 4.38 Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 1 %



Gambar 4.39 Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 3 %



Gambar 4.40 Kurva penurunan konsentrasi fenol dalam NaCl 5 %

Tabel 4.1 Serapan maksimum larutan fenol

Konsentrasi (ppm)	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
1	505	0.191
2	506	0.287
3	506	0.520
4	506	0.705
5	505	0.854

Tabel 4.2 Kurva standar adsorpsi larutan fenol

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0.13578
2	0.25759
3	0.39578
4	0.60088
5	0.75285

Tabel 4.3 Teknik adsorpsi larutan fenol dalam aquades → Fp 21x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	0.60979	4.61794	96.97674	0	0
15	0.53694	4.15455	87.24555	9.73119	10.0345
30	0.44249	3.55372	74.67012	22.30662	23.0020
45	0.38242	3.17158	66.60318	30.37356	31.3204
60	0.31584	2.74808	57.70968	39.26706	40.4912
75	0.28336	2.54143	49.66017	43.60671	44.9661

Tabel 4.4 Teknik adsorpsi larutan fenol dalam NaCl 5% → Fp 10x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	0.60979	4.61794	96.97674	0	0
15	0.47768	3.7755	79.32855	17.64819	18.1983
30	0.36739	3.07597	64.59537	32.38137	33.3908
45	0.32051	2.77778	58.33338	38.64336	39.8480
60	0.25467	2.35895	49.53795	47.43879	48.9176
75	0.22569	2.17462	45.66702	51.30972	52.9093

Tabel 4.5 Standar penentuan optimum potensial oksidasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0.14780
2	0.26775
3	0.37115
4	0.48619
5	0.59688

Tabel 4.6 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 3 Volt → Fp 30x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	0.44936	3.32075	99.62250	0	0
15	0.46706	3.27169	98.15070	1.47180	1.47000
30	0.46031	3.19201	95.76030	3.86220	3.87683
45	0.44209	3.13919	94.17670	5.44580	5.46643
60	0.45253	3.21510	96.45300	3.16950	3.18151
75	0.45865	3.25993	97.79790	1.82460	1.83151

Tabel 4.7 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 5 Volt →
Fp 10x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	1.39882	10.31464	103.1464	0	0
15	0.32727	2.76938	27.6938	75.4526	38.77900
30	0.32123	2.72683	27.2683	75.8781	55.93900
45	0.05971	0.88535	8.8535	94.2929	67.08400
60	0.02953	0.67282	6.7282	96.4182	78.72200
75	0.75835	0.75835	7.5835	95.5629	85.57500

Tabel 4.8 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% pada potensial 7 Volt →
Fp 3x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	4.10637	26.86059	80.58177	0	0
15	1.85980	12.56961	37.70883	42.87294	53.2042
30	0.66345	4.95932	14.87796	65.70381	81.5368
45	0.16890	1.81335	5.44005	75.14172	93.2490
60	0.08902	1.30521	3.91563	76.66614	95.1407
75	0.01886	0.85991	2.57673	78.00504	96.8023

Tabel 4.9 Standar teknik kombinasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0.14958
2	0.21640
3	0.51012
4	0.75436
5	0.90045

Tabel 4.10 Teknik kombinasi pada larutan fenol dengan potensial 7 Volt → Fp 5x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	4.10637	21.92937	109.64685	0	0
15	0.29565	4.01000	20.05000	89.59685	81.7140
30	0.14256	2.31757	11.58785	98.05900	89.4316
45	0.05653	0.55464	2.77320	106.87365	97.4707
60	0.00850	0.30112	1.50560	108.1412	98.6268
75	0.00998	0.30893	1.54465	108.1022	98.5912

Tabel 4.11 Teknik oksidasi larutan fenol dalam aquades pada potensial 7 Volt → Fp 10x

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	% Konversi
0	1.42795	11.03684	110.3684	0	0
15	1.42599	11.02254	110.2254	0.14300	0.01000
30	1.41594	10.94894	109.4894	0.87900	0.79000
45	1.38591	10.72913	107.2913	3.07710	2.78800
60	1.37285	10.63352	106.3352	4.03320	3.65000
75	1.34518	10.43103	104.3103	6.05810	5.48800

Tabel 4.12 Penentuan waktu optimum oksidasi pada potensial optimum

Waktu (menit)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)
0	3.57632	47.08092	94.1618	0
15	2.57901	33.97492	67.9498	28.212
30	1.25571	16.58501	33.17002	60.991
45	0.11493	1.59372	3.18744	90.974
60	0.01926	0.33645	0.6729	93.488
75	0.01447	0.27349	0.54698	93.614

Tabel 4.13 Perbandingan % konversi pada tehnik adsorpsi, oksidasi dan kombinasi

Waktu (menit)	Adsorpsi		Oksidasi		Kombinasi	
	A	% Konversi	A	% Konversi	A	% Konversi
0	0.60979	0	4.10637	0	4.10637	0
15	0.47768	18.1983	1.85980	53.2042	0.29565	81.7140
30	0.36739	33.3908	0.66345	81.5368	0.14256	89.4316
45	0.32051	39.8480	0.16890	93.2490	0.05653	97.4707
60	0.25467	48.9176	0.08902	95.1407	0.00850	98.6268
75	0.22569	52.9093	0.01886	96.8023	0.00998	98.5912

Tabel 4.14 Standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0.04789
2	0.12889
3	0.31898
4	0.44943
5	0.59035

Tabel 4.15 Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol

m (gram)	C (ppm)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	log C ₂	log X/m
1.0063	10	0.1098	1.2928	6.4643	3.5357	0.0564	0.0560	0.8105	-1.2514
1.0090	20	0.1819	1.7919	8.9598	11.0402	0.0951	0.0943	0.9522	-1.0257
1.0021	30	0.4471	3.6273	18.1365	11.8635	0.0932	0.0932	1.2588	-1.0305
1.0029	40	0.5279	3.8404	19.2024	20.7975	0.1071	0.1071	1.2833	-0.9698
1.0062	50	0.5918	4.2619	21.3099	28.6900	0.1025	0.1025	1.3285	-0.9890

Keterangan tabel :

C_1 dan C = konsentrasi terukur pada UV-Vis F_p = faktor pengenceran

$C_2 = C_1 \times \text{faktor pengenceran } (F_p) = C \text{ sisa}$ $v \text{ stirer} = 360 \text{ rpm}$

C_3 = konsentrasi yang teradsorpsi = massa karbon aktif (gram)

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

A = absorbansi t = waktu perlakuan larutan tiap teknik

Tabel 4.16 Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol dalam NaCl

m (gram)	C (ppm)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	log C ₂	log X/m
1.0060	10	0.0645	1.4558	7.2779	2.7221	0.1577	0.1567	0.8620	-0.804
1.0093	20	0.1480	2.3786	11.9833	8.0168	0.1735	0.1719	1.07857	-0.764
1.0021	30	0.1889	2.8307	14.1535	15.8464	0.1941	0.1936	1.15086	-0.713
1.0063	40	0.3498	2.9593	14.7697	25.2302	0.1968	0.1956	1.16937	-0.708
1.0065	50	0.3560	2.9974	14.9873	35.0127	0.1950	0.1938	1.17572	-0.712

Tabel 4.17 Isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol

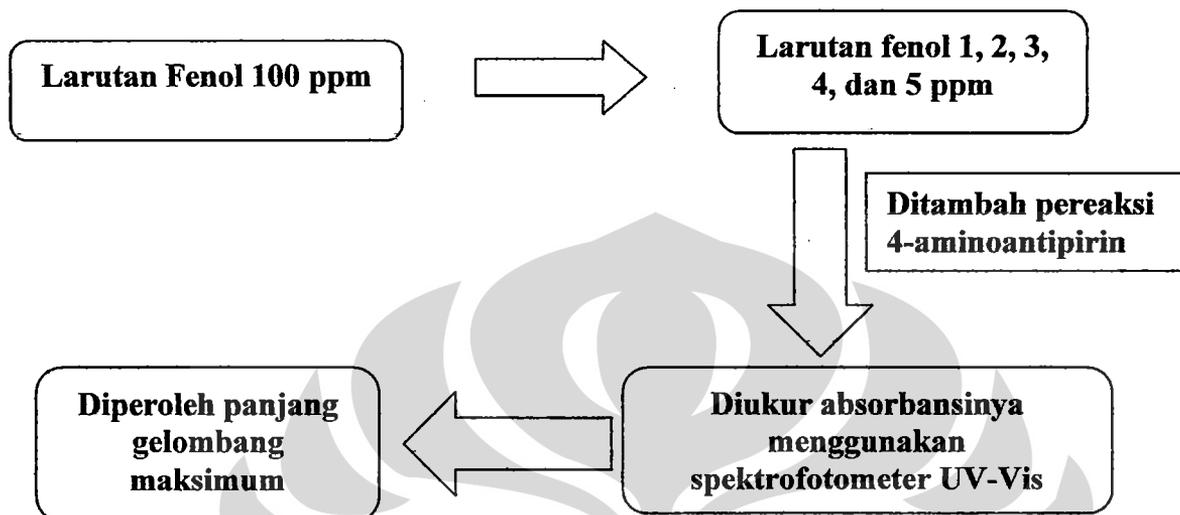
m (gram)	C (ppm)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	C ₂ /(x/m)
1.0063	10	0.1098	1.2928	6.4643	3.5357	0.0564	0.0560	115.4339
1.0090	20	0.1819	1.7919	8.9598	11.0402	0.0951	0.0943	151.0920
1.0021	30	0.4471	3.6273	18.1365	11.8635	0.0932	0.0932	194.5970
1.0029	40	0.5279	3.8404	19.2024	20.7975	0.1071	0.1071	203.5289
1.0062	50	0.5918	4.2619	21.3099	28.6900	0.1025	0.1025	207.9019

Tabel 4.18 Isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol dalam NaCl

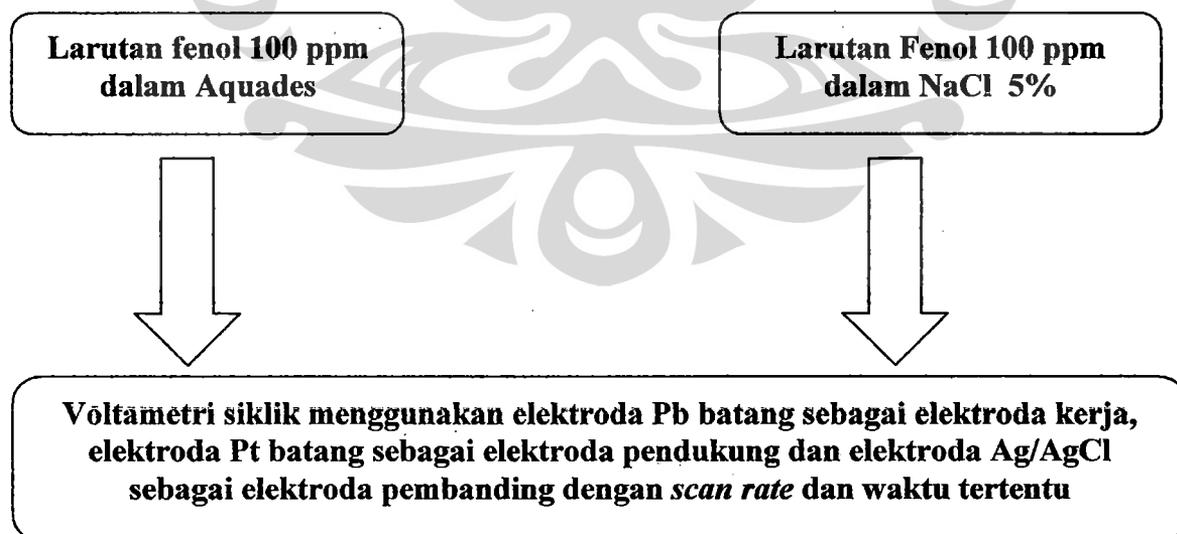
m (gram)	C (ppm)	A	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	C ₂ /(x/m)
1.0060	10	0.0645	1.4558	7.2779	2.7221	0.1577	0.1567	46.4447
1.0093	20	0.1480	2.3786	11.9833	8.0168	0.1735	0.1719	69.7100
1.0021	30	0.1889	2.8307	14.1535	15.8464	0.1941	0.1936	73.1070
1.0063	40	0.3498	2.9593	14.76975	25.2302	0.1968	0.1956	75.4930
1.0065	50	0.3560	2.9974	14.9873	35.0127	0.1950	0.1938	77.3231

SKEMA KERJA

I. Penentuan Serapan Maksimum Larutan Fenol

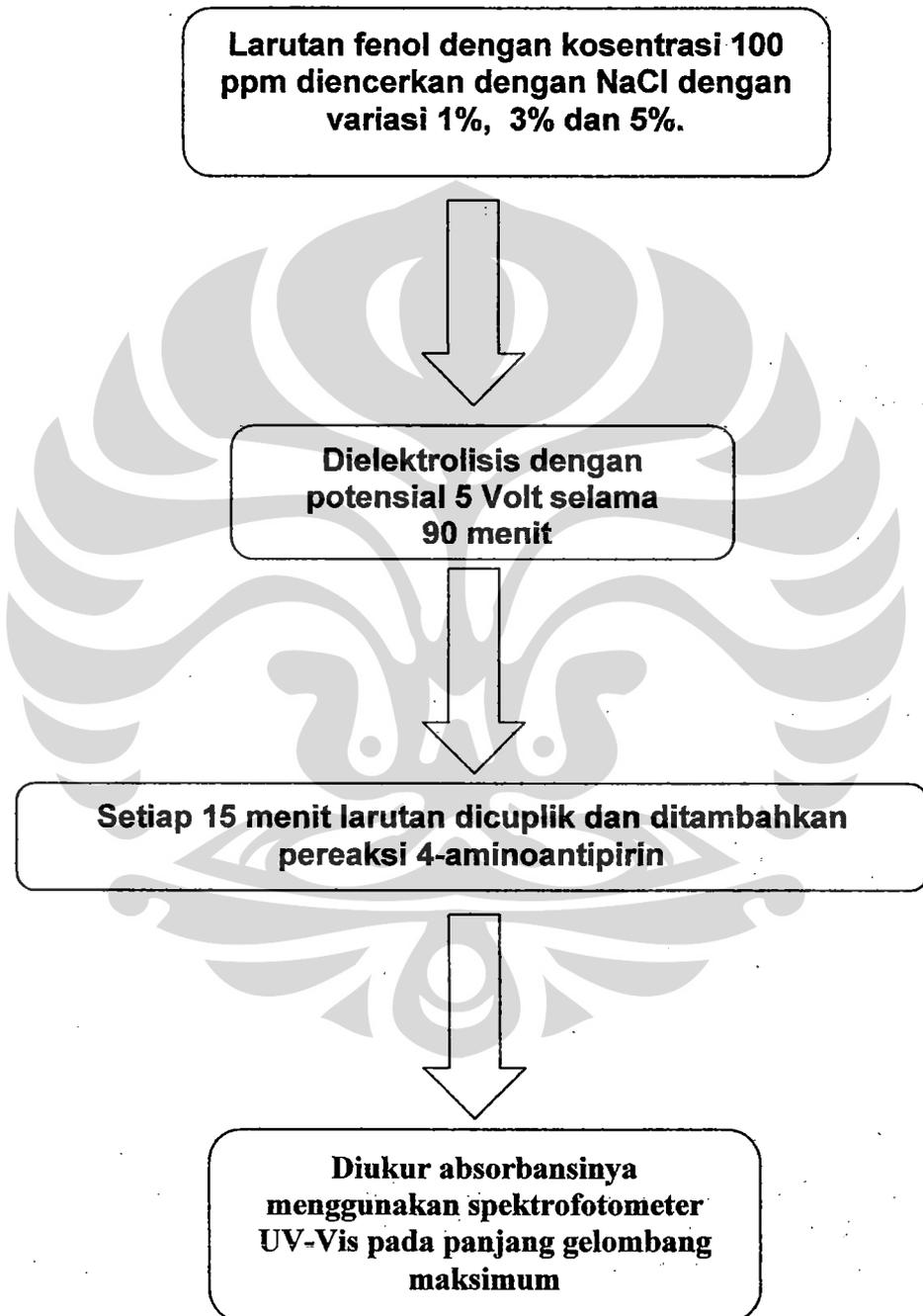


II. Uji Pendahuluan Menggunakan Voltametri Siklik



III. Teknik Oksidasi Elektrokimia

➤ Penentuan optimum konsentrasi elektrolit



➤ **Penentuan Potensial Oksidasi Optimum**

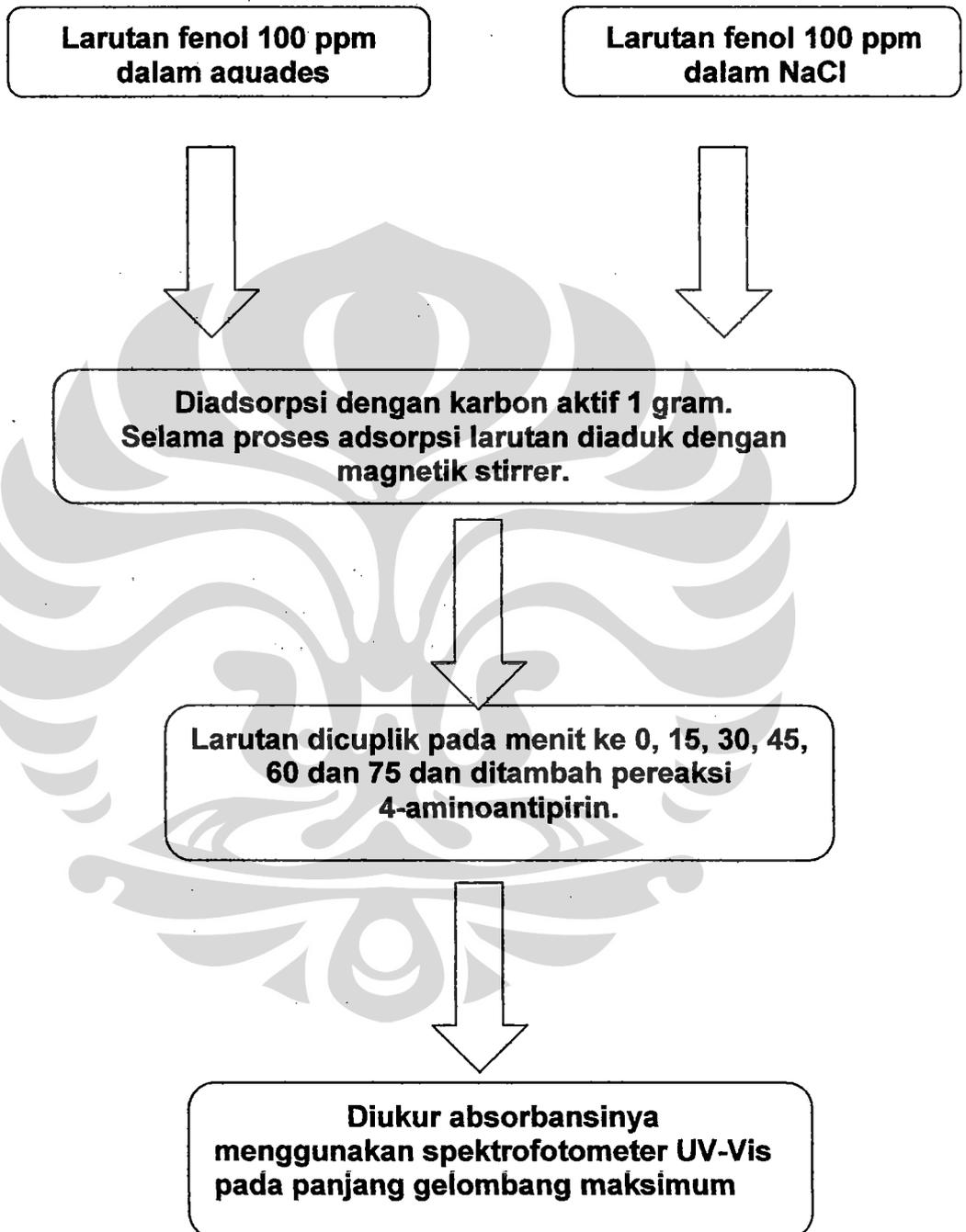
Larutan fenol dengan konsentrasi 100 ppm dalam NaCl 5 %

Dielektrolisis dengan variasi potensial 3 Volt, 5 Volt dan 7 Volt.

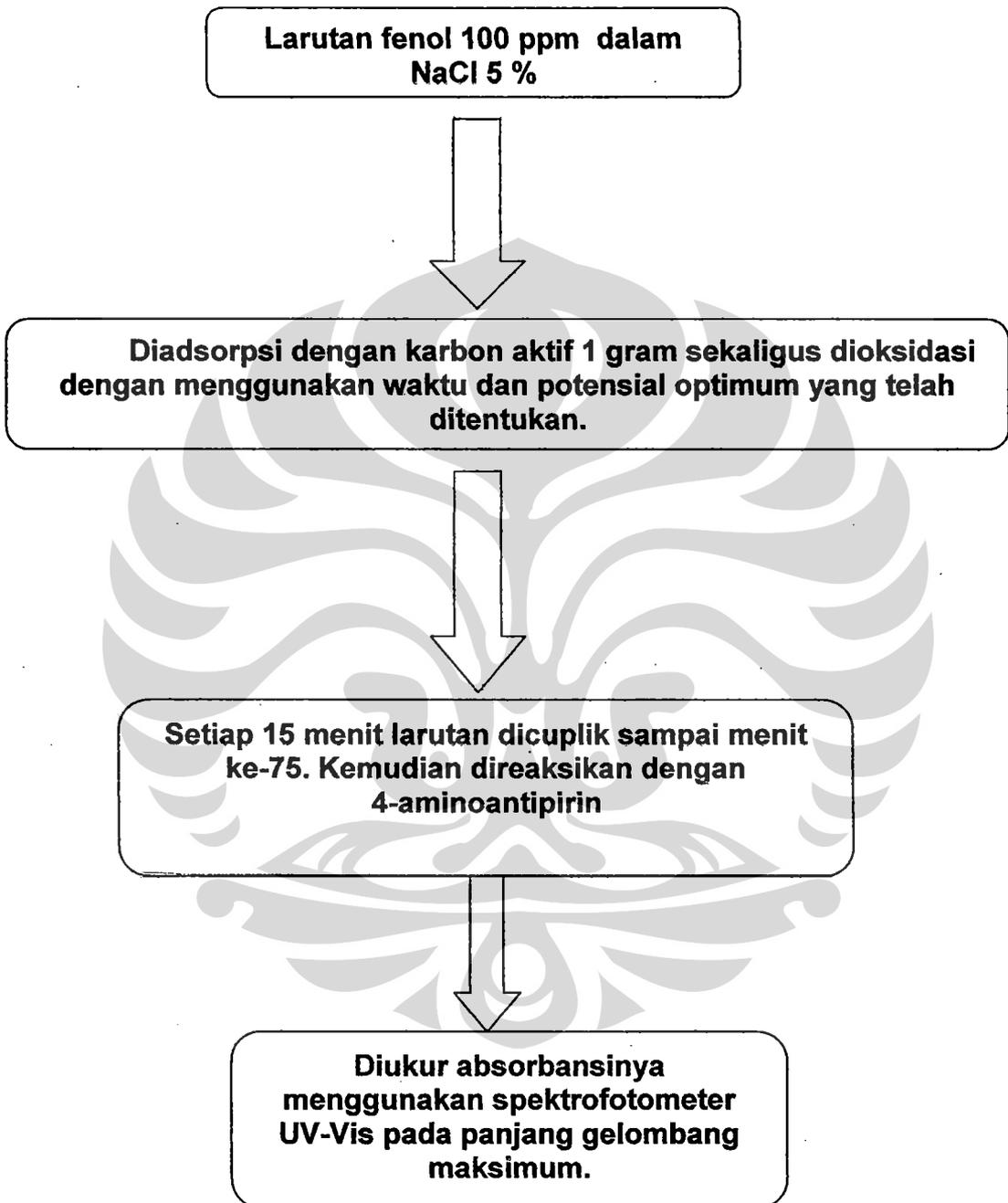
Setiap 15 menit larutan dicuplik, ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum

IV. Teknik adsorpsi



V. Teknik kombinasi



VI. Penentuan Isoterm Adsorpsi

