

**PENGGUNAAN SISTEM ALIRAN KONTINYU UNTUK
MENINGKATKAN KEMAMPUAN TEKNIK KOMBINASI
ELEKTROKIMIA DAN ADSORPSI MENGGUNAKAN ARANG
UNTUK DEGRADASI SENYAWA FENOL**

MUTIA ARDHANESWARI

0305030433



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

**PENGGUNAAN SISTEM ALIRAN KONTINYU UNTUK
MENINGKATKAN KEMAMPUAN TEKNIK KOMBINASI
ELEKTROKIMIA DAN ADSORPSI MENGGUNAKAN ARANG
UNTUK DEGRADASI SENYAWA FENOL**

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

Oleh :

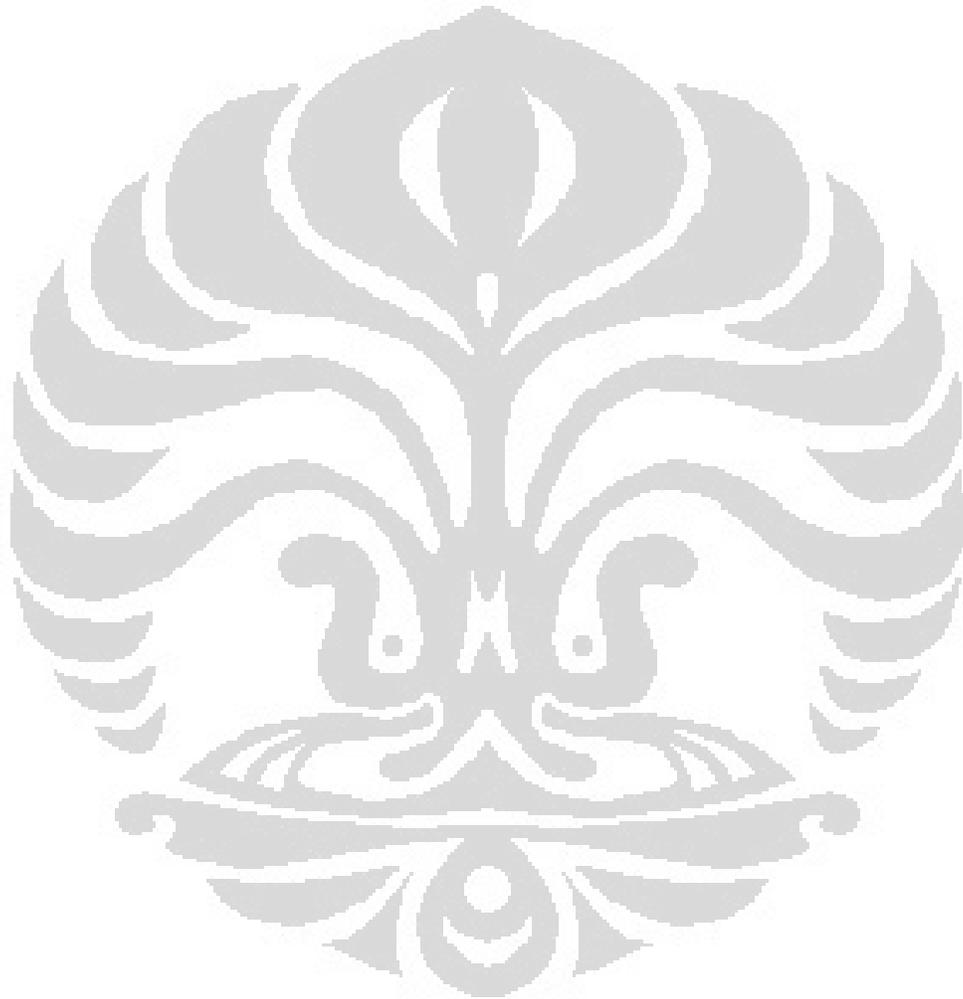
MUTIA ARDHANESWARI

0305030433



DEPOK

2009



**SKRIPSI : PENGGUNAAN SISTEM ALIRAN KONTINYU
UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN TEKNIK
KOMBINASI ELEKTROKIMIA DAN ADSORPSI
MENGUNAKAN ARANG UNTUK DEGRADASI
SENYAWA FENOL**

NAMA : MUTIA ARDHANESWARI

NPM : 0305030433

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2009

Dr. Ivandini T.A

Ir. Widyastuti Samadi, M.Si

PEMBIMBING I

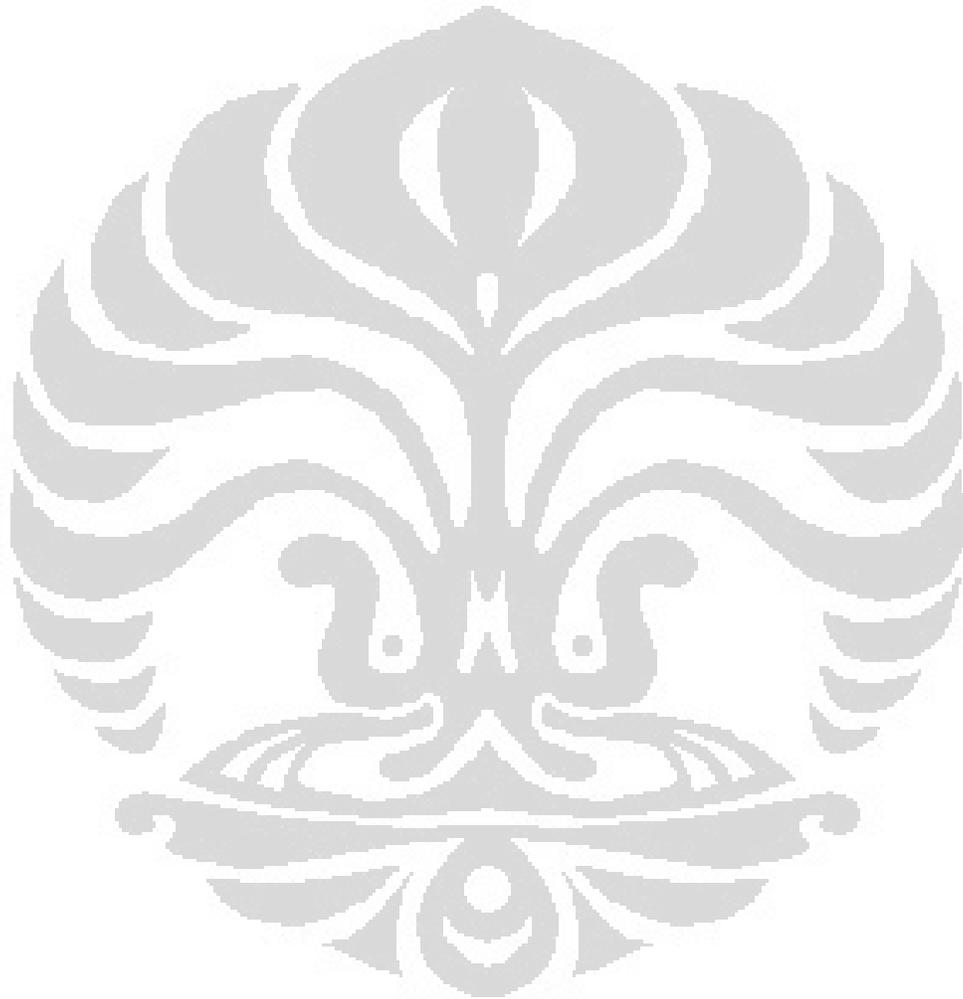
PEMBIMBING II

Tanggal Lulus Ujian Sidang Sarjan :

Penguji I :

Penguji II :

Penguji III :





Teruntuk :

Bapak dan Ibu tercinta

Kakak-kakakku, Mas Wida dan Mbak Niken

*Buat semua kasih sayang, pengertian, dukungan yang tulus yang tidak
akan pernah tergantikan oleh siapapun dan apapun.....*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian serta penyusunan skripsi yang berjudul "***Penggunaan Sistem Aliran Kontinyu untuk Meningkatkan Kemampuan Teknik Kombinasi Elektrokimia dan Adsorpsi Menggunakan Arang untuk Degradasi Senyawa Fenol***". Karya ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Dari awal penelitian hingga penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan 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 dan Ibu dosen pengajar Kimia FMIPA UI yang telah banyak memberikan ilmu dan nasehat pada penulis.
6. Seluruh staff Laboratorium Afiliasi Kimia UI, Laboratorium Kimia Analitik yang telah menyediakan fasilitas dan pelayanan selama penulis melakukan penelitian.
7. Teman-teman satu bimbingan penelitian, Alti yang selalu menemani penelitian, Lusi, Angel terima kasih atas kerjasama dan dukungannya
8. Sahabat-sahabatku tercinta, norma, susi, santi, simas, sabri terima kasih atas persahabatan kalian yang selalu memberi semangat, dukungan dan motivasi.
9. Teman-teman sepenelitian, purnama, farouq, lila, melina, ana, papi, lumita, dian, lulu, yusni, destya, ronggo, danang, ramdhan, samir, kak muris, nuhi, cecil, ria terima kasih atas dukungannya dan semangatnya selama penelitian ini.
10. Untuk widya 05 yang telah mengajarkan sesuatu yang berguna, teman-teman angkatan 05 lainnya.

11. Untuk kak irwan yang telah bersedia meluangkan waktu, kak dila, kak vefi, kak ratna, kak lenta, kak ana, kak ratih, kak lina terima kasih atas bantuannya selama ini.

12. Keluargaku tercinta, kakakku, mas wida, mbak niken dan mas army atas terima kasih buat dukungan moril dan materi dalam perjalanan hidup saya sampai waktu yang tidak terbatas.

Hanya Allah SWT yang mampu membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini. Berbagai kritik dan saran penulis harapkan demi lebih sempurnanya skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini sedikit banyak dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Depok, Juli 2009

Penulis,

ABSTRAK

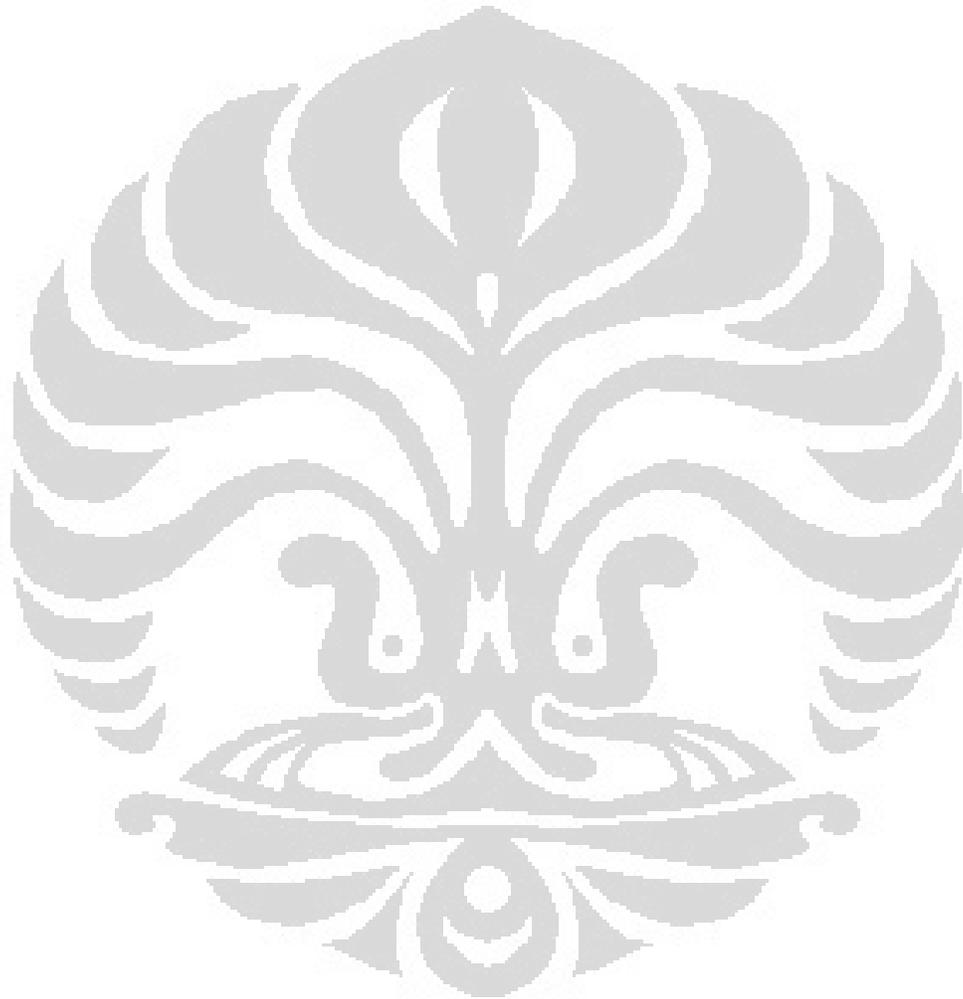
Salah satu senyawa organik yang banyak dihasilkan oleh limbah industri adalah senyawa fenol. Fenol dan senyawanya menjadi perhatian besar karena banyak digunakan dalam proses industri dan banyak juga dihasilkan dalam bentuk limbah. Salah satu cara mengolah limbah adalah melalui proses adsorpsi. Sementara itu teknik elektrokimia bertujuan mengubah fenol menjadi senyawa yang tidak berbahaya terutama menjadi air dan karbondioksida. Penelitian ini bertujuan untuk mendegradasi senyawa fenol dengan teknik adsorpsi dan elektrokimia menggunakan sistem aliran kontinyu. Kondisi optimum yang akan digunakan telah diperoleh sebelumnya dengan sistem batch. Berat arang yang digunakan 1 gram dengan konsentrasi elektrolit NaCl 1% serta potensial optimum 6 Volt.

Teknik adsorpsi dan elektrokimia dengan menggunakan sistem batch menghasilkan % konversi sebesar 98,7% dengan volume fenol sebesar 250 mL dan waktu degradasi 75 menit sedangkan dengan sistem aliran kontinyu menghasilkan % konversi sebesar 97,34% dengan volume fenol sebesar 1,3 L dan waktu degradasi selama 5 jam. Penurunan konsentrasi larutan fenol diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Kata Kunci : Adsorpsi, Arang, Elektrolit, Fenol, Oksidasi Elektrokimia

xiii + 71 hlm.;gbr.;tab.;lamp

Bibliografi : 26 (1983-2009)



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Penelitian sebelumnya	3
1.3 Tujuan penelitian	4
1.4 Perumusan masalah	4
1.5 Hipotesis	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fenol	6
2.1.1 Toksisitas senyawa fenol	8
2.1.2 Kegunaan fenol	8
2.1.3 Beberapa senyawa turunan fenol	8
2.1.4 Limbah fenol	9
2.2 Adsorpsi	9

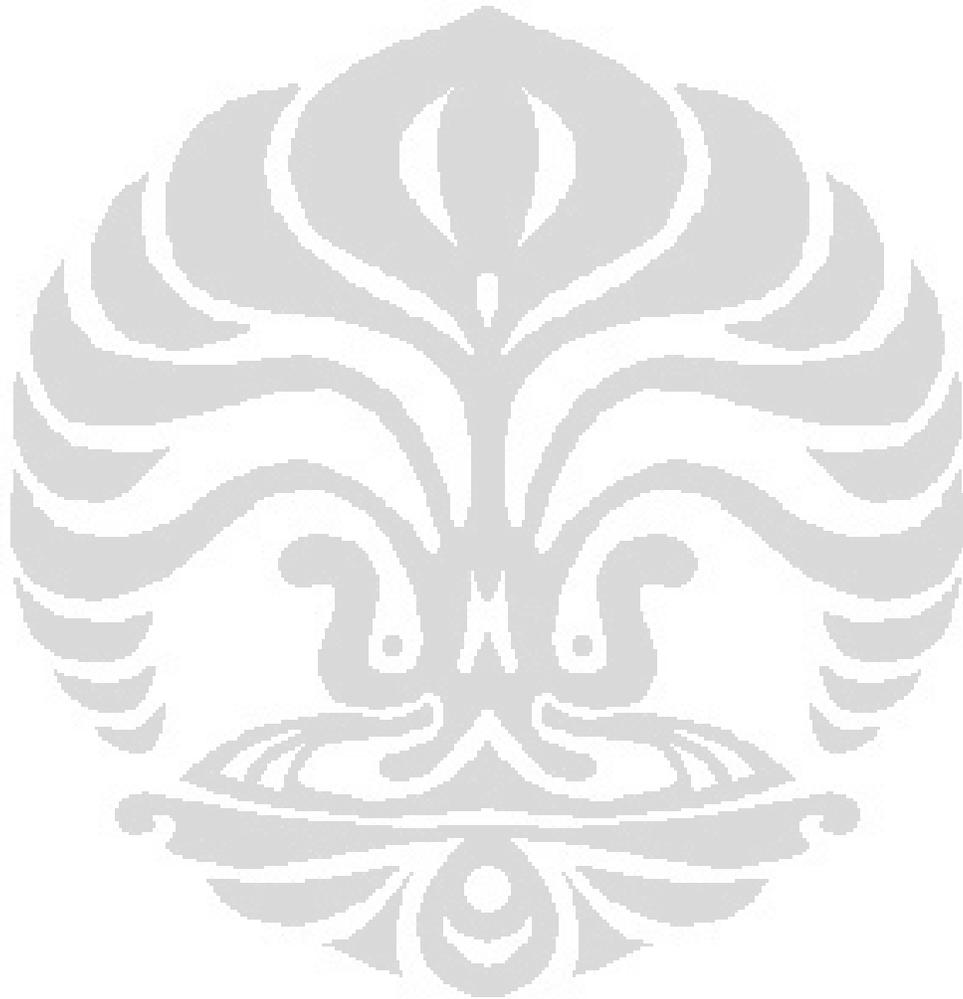
2.2.1 Adsorpsi fisika	10
2.2.2 Adsorpsi kimia	11
2.2.3 Faktor yang mempengaruhi adsorpsi	11
2.2.4 Kesetimbangan adsorpsi	13
2.3 Arang	15
2.3.1 Arang aktif	16
2.3.2 Kegunaan arang aktif	17
2.4 Elektrolisis	18
2.5 Elektrolit	18
2.6 Elektroda	19
2.6.1 Jenis elektroda	19
2.7 Oksidasi fenol secara elektrokimia	20
2.8 Spektrofotometri Ultraviolet dan Visible	21
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Alat	24
3.2 Bahan	24
3.3 Cara kerja	25
3.3.1 Persiapan arang	25
3.3.2 Persiapan sampel	25
3.3.3 Pembuatan larutan pereaksi	26
3.3.4 Penentuan panjang gelombang serapan maksimum fenol	27
3.3.5 Teknik oksidasi elektrokimia	27
3.3.5.1 Penentuan optimum konsentrasi	

elektrolit	27
3.3.5.2 Penentuan potensial oksidasi optimum	27
3.3.6 Teknik adsorpsi	28
3.3.6.1 Adsorpsi larutan fenol	
dalam aquades	28
3.3.6.2 Adsorpsi larutan fenol dalam	
NaCl 1%	28
3.3.7 Teknik kombinasi oksidasi dan adsorpsi	28
3.3.8 Teknik kombinasi dengan sistem	
aliran kontinyu	29
3.3.8.1 Persiapan alat	29
3.3.8.2 Tahapan cara kerja	29
3.3.9 Pengambilan data	30
3.3.10 Analisis senyawa fenol	30
3.3.10.1 Pembuatan larutan standar	
untuk fenol	30
3.3.10.2 Analisis sampel fenol	30
3.3.11 Isoterm adsorpsi	31

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Persiapan adsorben	32
4.2 Voltametri siklik	33
4.3 Penentuan panjang gelombang	
serapan maksimum fenol	34



4.4 Teknik oksidasi elektrokimia	36
4.4.1 Penentuan konsentrasi optimum elektrolit	37
4.4.2 Penentuan potensial optimum	39
4.5 Teknik Adsorpsi	41
4.6 Teknik kombinasi (oksidasi-adsorpsi)	44
4.7 Teknik kombinasi dengan sistem aliran kontinyu	45
4.8 Perbandingan teknik kombinasi dengan sistem batch dan aliran kontinyu	48
4.9 Analisis senyawa fenol	48
4.10 Penentuan isotherm adsorpsi	49
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	57



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.8 Spektrofotometri UV shimadzu 2450	23
Gambar 4.1 Ayakan mesh	32
Gambar 4.2 Arang setelah diayak	33
Gambar 4.3 Voltamogram larutan fenol	34
Gambar 4.4 Degradasi warna larutan senyawa fenol setelah ditambahkan pereaksi	35
Gambar 4.5 Kurva panjang gelombang serapan maksimum fenol	35
Gambar 4.6 Kurva perbandingan optimasi elektrolit	38
Gambar 4.7 Kurva perbandingan % konversi fenol dengan variasi NaCl	38
Gambar 4.8 Kurva perbandingan optimasi potensial	40
Gambar 4.9 Kurva perbandingan % konversi fenol dengan variasi potensial	41
Gambar 4.10 Kurva penurunan konsentrasri fenol	

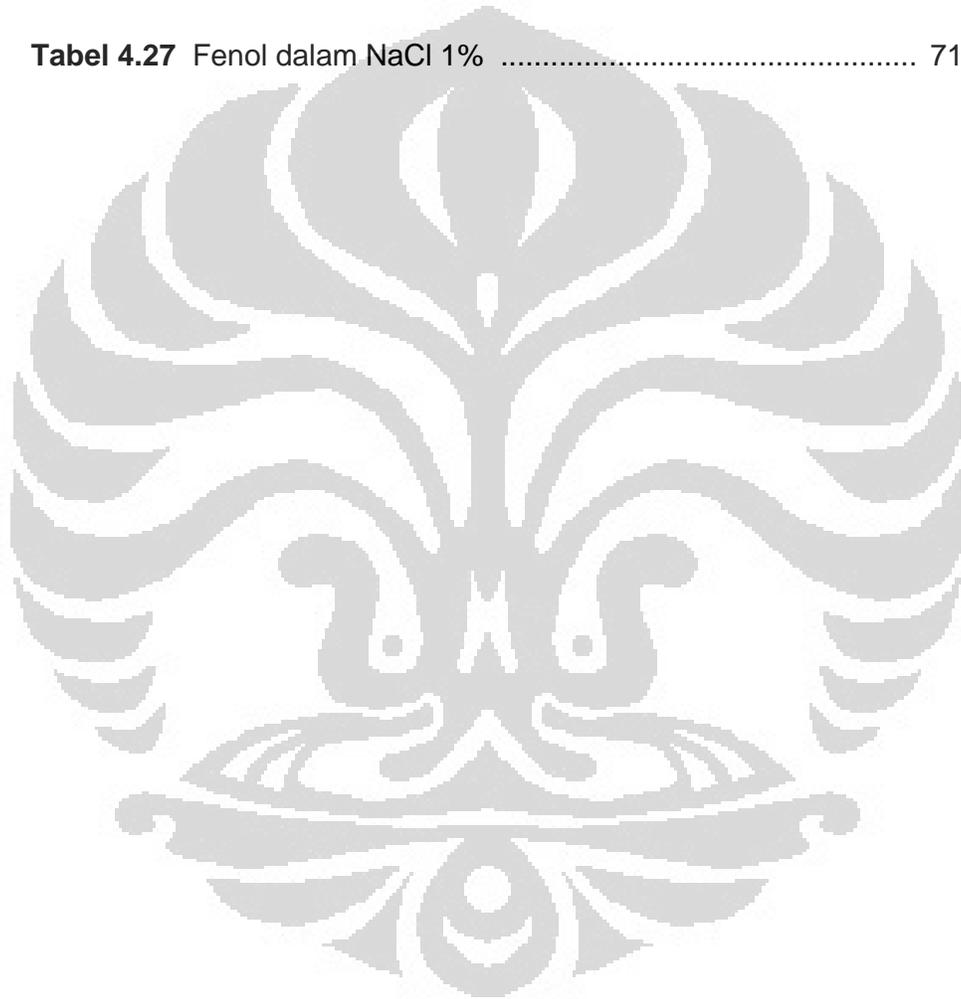
dengan adsorpsi	42
Gambar 4.11 Perbandingan % konversi adsorpsi fenol	43
Gambar 4.12 Perbandingan % konversi dari degradasi fenol dengan adsorpsi, oksidasi dan kombinasi	45
Gambar 4.13 Perbandingan % konversi dari degradasi fenol dengan sistem aliran kontinyu	46
Gambar 4.14 Reaktor yang digunakan	47
Gambar 4.15 Rancangan alat sistem aliran kontinyu	47
Gambar 4.16 Isoterm adsorpsi fenol dalam aquades	49
Gambar 4.17 Isoterm adsorpsi fenol dalam NaCl1%	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat fisik dan kimia fenol.....	7
Tabel 2.2 Kegunaan arang aktif.....	17
Tabel 4.1 Perbandingan % konversi fenol dengan variasi NaCl	39
Tabel 4.2 Perbandingan % konversi fenol dengan variasi potensial.....	41
Tabel 4.3 Perbandingan % konversi adsorpsi fenol	43
Tabel 4.4 Data % konversi dengan teknik adsorpsi, oksidasi dan kombinasi	45
Tabel 4.5 Serapan maksimum senyawa fenol.....	64
Tabel 4.6 Standar penentuan konsentrasi optimum elektrolit	64
Tabel 4.7 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% dengan potensial 6V	64
Tabel 4.8 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 3% dengan potensial 6V	65
Tabel 4.9 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5%	

dengan potensial 6V	65
Tabel 4.10 Standar penentuan potensial optimum	65
Tabel 4.11 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1%	
dengan potensial 3V.....	66
Tabel 4.12 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1%	
dengan potensial 4V	66
Tabel 4.13 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1%	
dengan potensial 6V	66
Tabel 4.14 Standar teknik adsorpsi	67
Tabel 4.15 Adsorpsi fenol dalam aquades	67
Tabel 4.16 Adsorpsi fenol dengan NaCl 1%	67
Tabel 4.17 Standar teknik kombinasi (oksidasi dan adsorpsi)	67
Tabel 4.18 Teknik kombinasi (oksidasi-adsorpsi)	68
Tabel 4.19 Standar sistem aliran kontinyu	
dengan waktu 75 menit	68
Tabel 4.20 Sistem aliran kontinyu dengan waktu 75 menit	68
Tabel 4.21 Standar metode alir dengan waktu 3 jam	69
Tabel 4.22 Sistem alir dengan waktu 3 jam	69

Tabel 4.23 Standar sistem alir dengan waktu 5 jam	69
Tabel 4.24 Sistem alir dengan waktu 5 jam	70
Tabel 4.25 Standar Isoterm adsorpsi	70
Tabel 4.26 Fenol dalam aquades	71
Tabel 4.27 Fenol dalam NaCl 1%	71



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dewasa ini selain membawa keuntungan, tetapi juga membawa efek samping yang dapat membahayakan kehidupan di muka bumi. Tanpa banyak disadari dengan pengolahan limbah yang tidak dan atau kurang memperhatikan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh pemerintah telah semakin memperparah pencemaran lingkungan. Terutama pencemaran air yang terjadi hampir di seluruh wilayah Indonesia memerlukan penanganan yang lebih serius.

Sebagian pencemar yang terdapat dalam air adalah zat-zat organik baik yang tersuspensi maupun yang larut dalam air, sampai sekarang belum dapat diolah dengan baik. Salah satu senyawa organik yang banyak dihasilkan oleh limbah industri adalah senyawa fenol. Bila limbah industri yang mengandung fenol dan senyawanya langsung dibuang tanpa diolah lebih dulu maka akan membahayakan manusia dan lingkungan.

Fenol dan senyawanya menjadi perhatian besar karena banyak digunakan dalam proses industri dan banyak juga dihasilkan dalam bentuk limbah. Fenol dan senyawanya merupakan polutan yang mempunyai toksisitas tinggi. Senyawa fenol seperti klorofenol sangat berbahaya karena dapat terakumulasi ke dalam jaringan lemak, karena itu fenol dan

senyawanya dinyatakan oleh U.S. Environmental Protection Agency (EPA) sebagai prioritas pencemar. Limbah fenol banyak ditemukan dalam limbah industri di Indonesia, antara lain industri migas, fiber-glass, perekat, kayu lapis, farmasi, cat, tekstil, keramik, plastik dan sebagainya. Dari hasil penelitian Liu dkk, (1994) menunjukkan bahwa kandungan air limbah industri secara umum terdiri dari fenol, 2-klorofenol, 4-nitrofenol, 2,4-dinitrofenol, 2,4-diklorofenol, dan sisanya adalah senyawa-senyawa fenol yang lain.

Fenol merupakan senyawa berbau khas dan beracun serta korosif terhadap kulit (dapat menimbulkan iritasi). Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap dan pada konsentrasi nilai tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan suatu usaha untuk menurunkan konsentrasi fenol. Penelitian tentang pengolahan senyawa fenol dalam air limbah telah banyak dilakukan. Beberapa kelompok peneliti mengemukakan bahwa senyawa fenol dalam limbah cair dapat dihilangkan atau dikurangi konsentrasinya dengan proses adsorpsi. Berbagai macam jenis adsorben dapat digunakan, antara lain karbon aktif, pasir, tanah liat dan alumina. Namun pada penelitian kali ini, adsorben yang akan digunakan adalah arang yang berasal dari kayu gelam.

Selain itu, telah banyak dilakukan penelitian untuk mengubah fenol menjadi senyawa yang tidak berbahaya terutama menjadi air dan karbondioksida. Penelitian tentang oksidasi fenol juga telah dilakukan,

oksidan yang digunakan seperti ozon, kalium permanganat, hidrogen peroksida dan gas klor yang sangat efektif untuk pemecahan cincin aromatis. Hasil penelitian yang berhubungan dengan oksidasi fenol secara elektrokimia telah dilakukan oleh Comninellis dan Pulgarin (1991) dan (1993) yaitu oksidasi fenol dalam limbah air secara elektrokimia dengan menggunakan anoda SnO_2 .

Penelitian ini mencoba menggunakan teknik elektrokimia dan adsorpsi pada arang untuk senyawa fenol. Penelitian yang dilakukan ini masih berskala laboratorium menggunakan sistem aliran kontinu dengan teknik elektrokimia dan adsorpsi. Diharapkan dengan menggunakan sistem ini, diperoleh hasil yang memuaskan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengatasi limbah fenol.

1.2 Penelitian sebelumnya

Sebelumnya, penelitian ini telah dilakukan oleh :

1. Arum Wahyuni (2007) : Studi pendahuluan regenerasi karbon aktif yang menjenuhkan senyawa fenol secara elektrolisis.
2. Ratna Khairunisa (2008) : Kombinasi teknik elektrolisis & teknik adsorpsi menggunakan karbon aktif untuk menurunkan konsentrasi senyawa fenol dalam air.
3. Lenta E Simanjuntak (2008) : Studi penurunan konsentrasi fenol menggunakan teknik adsorpsi karbon aktif dan teknik elektrokimia menghasilkan % konversi penurunan konsentrasi fenol dengan

teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi adalah 52,91%, 96,80% dan 98,59%.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Mengetahui kemampuan adsorpsi arang dari kayu gelam untuk limbah fenol buatan.
2. Mempelajari teknik adsorpsi dan elektrokimia dengan sistem aliran kontinyu serta membandingkannya dengan sistem batch.
3. Menghasilkan metode atau cara mengatasi limbah fenol secara efektif dan efisien

1.4 Perumusan Masalah

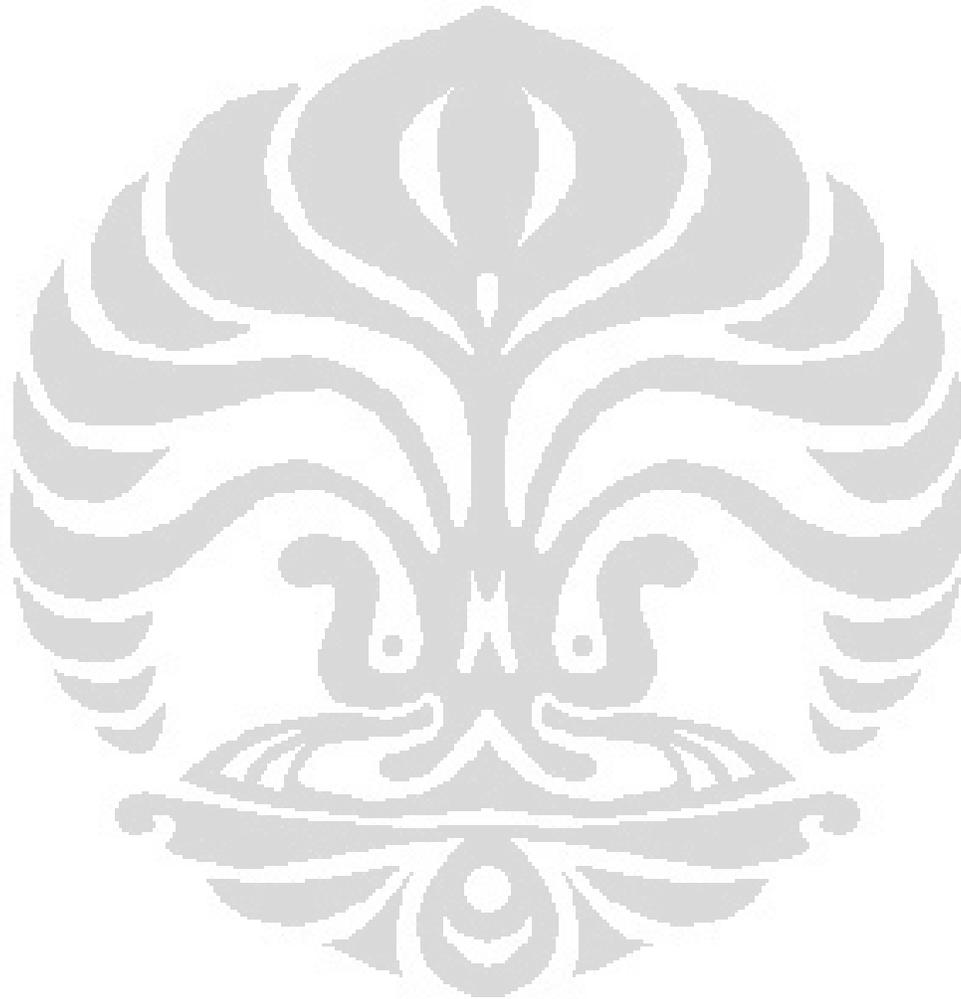
Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah kemampuan adsorpsi arang dari kayu gelam untuk senyawa fenol?
2. Manakah metode yang lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi fenol, apakah sistem batch atau sistem aliran kontinyu?

1.5 Hipotesis

1. Arang kayu gelam memiliki kemampuan yang baik untuk adsorpsi fenol.
2. Sistem aliran kontinyu merupakan cara yang efektif dan efisien

sehingga dapat digunakan untuk pengolahan limbah fenol dalam skala industri.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fenol

Fenol merupakan zat organik yang strukturnya memiliki gugus hidroksil yang tersubstitusi pada cincin aromatik. Karena memiliki gugus hidroksil ini, fenol mudah larut dalam air, dengan terjadinya ikatan hidrogen antara gugus $-OH$ dari air dengan $-H$ dari fenol. Keberadaan fenol dalam air perlu diketahui, karena adanya fenol dalam air menentukan kualitas dari air itu sendiri

Fenol yang terdapat dalam air dapat berasal dari alam dan dari limbah industri. Di alam fenol terdapat di dalam tumbuh-tumbuhan, seperti buah mengkudu, daun sumbang darah, daun urang-aring. Dalam tumbuhan, fenol biasanya berupa asam fenolat, fenil propanoid, flavonoid, pigmen kuinon, xanton dan stilben yang dikenal sebagai senyawa fenolik, secara umum mempunyai cincin aromatik dan mengandung satu atau lebih gugus hidroksil. Di dalam air limbah, fenol berasal dari industri, seperti industri plastik, industri minyak bumi, industri bahan-bahan organik, industri tekstil, industri kendaraan bermotor, industri besi baja,

industri kertas dan industri yang menggunakan fenol sebagai bahan dasar atau sebagai hasil samping.

Air limbah yang mengandung senyawa fenol atau turunannya sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena fenol dan senyawa turunannya bersifat toksik dan karsinogenik.^{1,2} Dalam jumlah kecil dapat menyebabkan rasa mual dan muntah-muntah bahkan dapat menyebabkan pingsan dan lumpuh. Bila terkena kulit dapat menyebabkan iritasi/luka bakar. Beberapa sifat fisik dan kimia fenol dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat fisik dan kimia fenol

Sifat	Keterangan
Wujud	Kristal tidak berwarna
Titik leleh	40-42°C
Titik didih	182°C
Kelarutan di air	8,3 gr/100 mL
Berat jenis	1,071 gr/mL

Senyawa fenol murni mempunyai rumus molekul C_6H_5OH dan memiliki nama lain seperti asam karbolat, asam fenilik, benzo fenol.

2.1.1 Toksisitas Senyawa fenol

Fenol dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian jika tertelan, terhisap atau terserap oleh kulit. Senyawa ini dapat merusak sistem saraf pusat dan menyebabkan kerusakan pada hati dan ginjal. Selain itu fenol dapat menyebabkan penyakit yang bersifat akut maupun kronis. Gejala akut ditandai dengan kulit terkelupas, gangguan pada kornea mata, gangguan sistem pencernaan, rasa mual, gangguan pernapasan, kerusakan ginjal dan liver. Gejala kronis ditandai dengan sakit kepala, nafsu makan berkurang, sulit tidur (insomnia) dan penurunan berat badan. Selain itu dapat menimbulkan iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan.

2.1.2 Kegunaan fenol

Fenol banyak digunakan dalam industri kimia organik, seperti bahan celup, plastik, tannin tiruan, sintesis asam pikrat, desinfektan dan obat-obatan.

2.1.3 Beberapa turunan dari fenol

Anisol, $C_6H_5-OCH_3$, fenil metil eter, cairan berbau harum, mendidih pada $153^\circ C$, meleleh pada $-37^\circ C$. Senyawa ini digunakan sebagai pelarut dan sebagai bahan dasar pembuatan p-metoksi-asetofenon, semacam parfum.

Difenil eter, $C_6H_5-O-C_6H_5$, dapat dibuat dari kaliumfenat, bromobenzen dan tepung halus tembaga, yang dipanaskan pada temperatur $210^{\circ}C$ digunakan untuk parfum.

Kresol adalah nama dari ketiga isomerik : orto, para, meta hidroksi toluen. Kresol banyak digunakan sebagai desinfektan. "Lysol" adalah larutan kresol di dalam sabun (sabun kalium dari minyak biji rami). Kresol juga digunakan sebagai pengawet kayu bantalan rel kereta api, bahan cat, parfum dan bahan peledak.

2.1.4 Limbah fenol

Fenol dalam air limbah biasanya terdiri dari berbagai jenis hidroksi-benzen dan substitusi hidroksi-benzen. Bahan kimia ini merupakan jenis yang paling banyak dijumpai sebagai polutan dalam industri, terutama industri kimia. Kegiatan atau aktivitas rumah tangga, industri dan aktivitas alamiah dapat menghasilkan limbah cair yang mengandung fenol.¹

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses terserapnya atau terikatnya suatu senyawa pada permukaan yang dapat menyerap. Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorben, dimana adsorbat adalah senyawa yang terjerap atau senyawa yang akan dipisahkan dari

pelarutnya, sedangkan adsorben adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam penelitian ini berupa arang.

Adsorpsi terjadi karena molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair yang memiliki gaya tarik dalam keadaan tidak setimbang yang cenderung tertarik ke arah dalam. Ketidakseimbangan gaya tarik tersebut mengakibatkan zat padat yang digunakan sebagai adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya.³

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua bagian, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

2.2.1 Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya Van der Waals sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben.

Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolekular adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri. Adsorpsi ini berlangsung

cepat, dapat membentuk lapisan jamak (*multilayer*), dan dapat bereaksi balik (*reversible*), karena energi yang dibutuhkan relatif rendah.

2.2.2 Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben dimana terbentuk ikatan. Gaya ikat adsorpsi ini bervariasi tergantung pada zat yang bereaksi. Adsorpsi jenis ini bersifat tidak *reversible* dan hanya dapat membentuk lapisan tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi, yaitu sekitar 10-100 kkal/gr-mol. Untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben.

2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Banyaknya adsorbat yang dapat terserap pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Jenis adsorbat, dapat dilihat dari :

- Ukuran molekul adsorbat

Molekul-molekul yang dapat teradsorpsi adalah molekul-molekul yang memiliki diameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.

➤ Polaritas molekul adsorbat

Apabila molekul memiliki diameter yang sama, maka molekul-molekul polar akan lebih kuat teradsorpsi dibandingkan molekul kurang polar.

2. Sifat adsorben, dapat dilihat dari :

➤ Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik

➤ Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben maka jumlah adsorbat yang terserap akan semakin banyak

3. Waktu kontak

Bila adsorben ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan ditentukan oleh jumlah adsorben dan pengadukan. Tujuan dari pengadukan adalah untuk memberi kesempatan pada adsorben bersinggungan dengan adsorbat.

4. Temperatur

Jumlah adsorbat akan bertambah dengan berkurangnya temperatur adsorbat karena adsorpsi merupakan proses eksotermis.⁴

2.2.4 Kestimbangan Adsorpsi

Kestimbangan adsorpsi terjadi bila larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di larutan dan padatan dalam keadaan setimbang. Data kestimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan disebut adsorpsi isotermis. Untuk mengukur kestimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat di larutan pada awal dan kestimbangan.

Banyak persamaan empiris yang telah dikembangkan untuk menerangkan adsorpsi isothermal, seperti persamaan Freundlich, dan persamaan Langmuir.^{3,5}

Secara umum persamaan langmuir dapat ditulis sebagai berikut :

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

dimana :

x = Jumlah adsorbat pada permukaan (mg, g)

m = Jumlah adsorben (mg, g)

k_1, k_2 = Konstanta

C = Konsentrasi adsorbat dalam larutan pada keadaan setimbang

Isoterm langmuir dibatasi dengan pengandaian berikut :

1. Adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya
2. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap.
3. Semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama.
4. Hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

Namun, biasanya asumsi-asumsi sulit diterapkan karena selalu ada ketidaksempurnaan pada permukaan, molekul teradsorpsi tidak inert dan mekanisme adsorpsi pada molekul pertama sangat berbeda dengan mekanisme pada molekul terakhir yang teradsorpsi

Sedangkan isoterm Freundlich berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda.

Untuk persamaan Freundlich :

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

Dengan :

x = banyaknya zat terlarut yang teradsorpsi (mg)

m = massa dari adsorben (gr)

C = konsentrasi dari adsorbat yang tersisa dalam kesetimbangan

k, n = konstanta adsorben

2.3 Arang

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon dan dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Selain dapat digunakan sebagai bahan bakar, arang juga dapat digunakan sebagai adsorben. Daya serap merupakan sifat yang paling penting dari arang sebagai adsorben. Daya serap dipengaruhi oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini akan menjadi lebih tinggi bila arang tersebut dilakukan proses aktivasi. Dengan

proses aktivasi, arang akan mengalami perubahan sifat fisika dan kimia. Arang ini disebut arang aktif.⁶

2.3.1 Arang aktif

Arang aktif merupakan senyawa karbon amorf yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian mempunyai daya serap yang besar.

Arang aktif dapat menghilangkan zat-zat organik yang mencemari air dengan proses adsorpsi pada permukaannya. Luas permukaan yang tinggi dan struktur pori dari arang aktif merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses adsorpsi ini. Biasanya arang aktif mempunyai luas permukaan berkisar antara 300-3500 m²/gram. Luas permukaan ini menentukan kualitas dari arang aktif, makin luas makin baik karena kontak dengan adsorbat makin besar.

Arang aktif dapat dibuat dari bermacam-macam bahan organik, seperti: karbohidrat, tempurung kelapa, tulang, batubara, ampas tebu, kulit kacang, sekam padi, serbuk gergaji, biji-bijian, dan residu minyak bumi. Kualitas dari arang aktif yang dihasilkan sangat bergantung kepada bahan dasarnya.

Arang aktif mempunyai warna hitam, tidak berasa dan tidak berbau, berbentuk bubuk dan granular, mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arang yang belum mengalami proses aktivasi, mempunyai bentuk amorf yang terdiri dari plat-plat dasar dan disusun oleh atom-atom karbon C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang heksagon. Plat-plat ini bertumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa-sisa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaan. Dengan menghilangkan hidrokarbon tersebut melalui proses aktivasi, akan didapatkan suatu arang atau karbon yang membentuk struktur jaringan yang sangat halus atau porous sehingga permukaan adsorpsi atau penyerapan yang besar.⁷

2.3.2 Kegunaan Arang Aktif

Berikut beberapa manfaat dan kegunaan arang aktif dalam dunia industri :

Tabel 2. 2 Kegunaan arang aktif

Tujuan	Kegunaan
Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan bau dan rasa
Industri minuman	Menghilangkan warna, bau, rasa

	pada minuman
Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah
Pemurnian air	Menghilangkan bau, warna dan zat pencemar dalam air
Tambak udang	Pemurnian air, menghilangkan bau dan warna
Pemurnian gas	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun
Pengolahan pupuk	Pemurnian

2.4 Elektrolisis

Elektrolisis adalah suatu proses di mana reaksi kimia terjadi pada elektroda tercelup dalam larutan elektrolit ketika tegangan diterapkan terhadap elektroda tersebut. Elektroda yang mengalami proses oksidasi disebut anoda dan elektroda yang mengalami proses reduksi disebut katoda.^{8,9}

2.5 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang apabila dilarutkan dalam pelarut air akan terdisosiasi menghasilkan bagian zat bermuatan listrik yang disebut

ion sehingga larutan yang terjadi mempunyai sifat sebagai penghantar. Elektrolit terbagi menjadi dua yaitu elektrolit kuat dan lemah. Elektrolit kuat merupakan senyawa atau molekul yang dilarutkan dalam air akan terionisasi sempurna sehingga dapat menghantarkan listrik dengan baik. Sedangkan elektrolit lemah, apabila dilarutkan dalam air hanya terdisosiasi sebagian sehingga kurang baik untuk menghantarkan arus listrik.¹⁰

2.6 Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non logam dari sebuah sirkuit (misal: semikonduktor, sebuah elektrolit) (Faraday, M., 1834).

Sebuah elektroda dalam sebuah sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan terjadi oksidasi. Sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel dan terjadi reduksi.

2.6.1 Jenis Elektroda

1. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati sehingga elektroda kerja harus menghasilkan transfer elektron yang cepat. Elektroda ini terbuat dari bahan

logam (platina, timbal, emas, perak), bahan semikonduktor (Si dan Ga) dan karbon.

2. Elektroda pembanding

Elektroda pembanding harus menghasilkan potensial yang konstan selama reaksi berlangsung dan mematuhi persamaan Nernst dan bersifat reversible. Syarat suatu elektroda dapat digunakan sebagai elektroda pembanding stabil terhadap waktu dan temperatur, dapat digunakan berulang kali, tidak terpolarisasi dan pembuatannya mudah. Contoh elektroda pembanding yang sering digunakan adalah elektroda Ag/AgCl, *standar calomel electrode* (SCE), *standar hydrogen electrode* (SHE) atau *pseudo-reference* (kawat Pt, Ag).

3. 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.

2.7 Oksidasi Fenol Secara Elektrokimia

Reaksi oksidasi adalah peristiwa pelepasan elektron sedangkan reaksi reduksi adalah peristiwa penangkapan elektron.¹¹ Fenol adalah

senyawa dengan gugus OH yang terikat pada cincin aromatik, karena itu fenol termasuk dalam senyawa alkohol. Gugus fungsi seperti Cl, Br, I dapat disubstitusi ke dalam cincin aromatik fenol sehingga secara alami maupun sintesis banyak dijumpai senyawa-senyawa turunan dari fenol. Fenol sendiri tahan terhadap oksidasi karena pembentukan suatu gugus karbonil akan mengakibatkan penstabilan aromatik.

Oksidasi fenol secara elektrokimia dapat memecahkan cincin aromatik. Hal ini memungkinkan produk oksidasi fenol adalah senyawa organik lain seperti metana atau golongan alkana lainnya. Terbentuknya produk tersebut didasarkan pada pendapat Suidan (1981) bahwa elektrokimia merupakan cara yang efektif untuk memecah cincin aromatik pada fenol. Bila cincin aromatik pecah maka akan mudah terbentuk senyawa lain. Senyawa-senyawa organik seperti fenol dapat mengalami reaksi melalui mekanisme transfer muatan dipermukaan elektroda.

2.8 Spektrofotometri Ultraviolet dan Visible

Spektrofotometri ultraviolet dan visible didasarkan pada absorpsi gelombang elektromagnetik (cahaya) oleh suatu molekul.¹³ Pada spektrofotometri ultraviolet, yang diserap adalah cahaya ultra ungu. Metode spektrofotometri sinar tampak (visibel) didasarkan pada penyerapan sinar tampak oleh suatu larutan berwarna. Hanya larutan senyawa berwarna yang dapat ditentukan dengan metode ini. Senyawa-

senyawa tidak berwarna dapat dibuat berwarna dengan mereaksikannya dengan pereaksi yang menghasilkan senyawa berwarna (Hendayana S., 1994).

Panjang gelombang cahaya UV lebih pendek bila dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya tampak. Spektrum sinar tampak mempunyai rentangan panjang gelombang sekitar 400 nm hingga 750 nm sedangkan spektrum UV mempunyai rentangan panjang gelombang dari 100 hingga 400 nm (Fessenden R.J., Joan S.F.,1990). Keuntungan dari metode spektrofotometri UV-Vis adalah mempunyai sensitivitas yang tinggi, selektivitas yang tinggi, akurasi yang baik, dan penggunaan alat yang mudah (Skoog et al, 1991).

Instrumentasi dari spektrofotometri UV-Vis dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Suatu sumber energi cahaya yang berkesinambungan dan meliputi daerah spektrum
2. Suatu monokromator
3. Suatu wadah untuk sampel (kuvet)
4. Detektor, yang dapat merubah energi cahaya menjadi suatu isyarat listrik
5. Amplifier (pengganda)

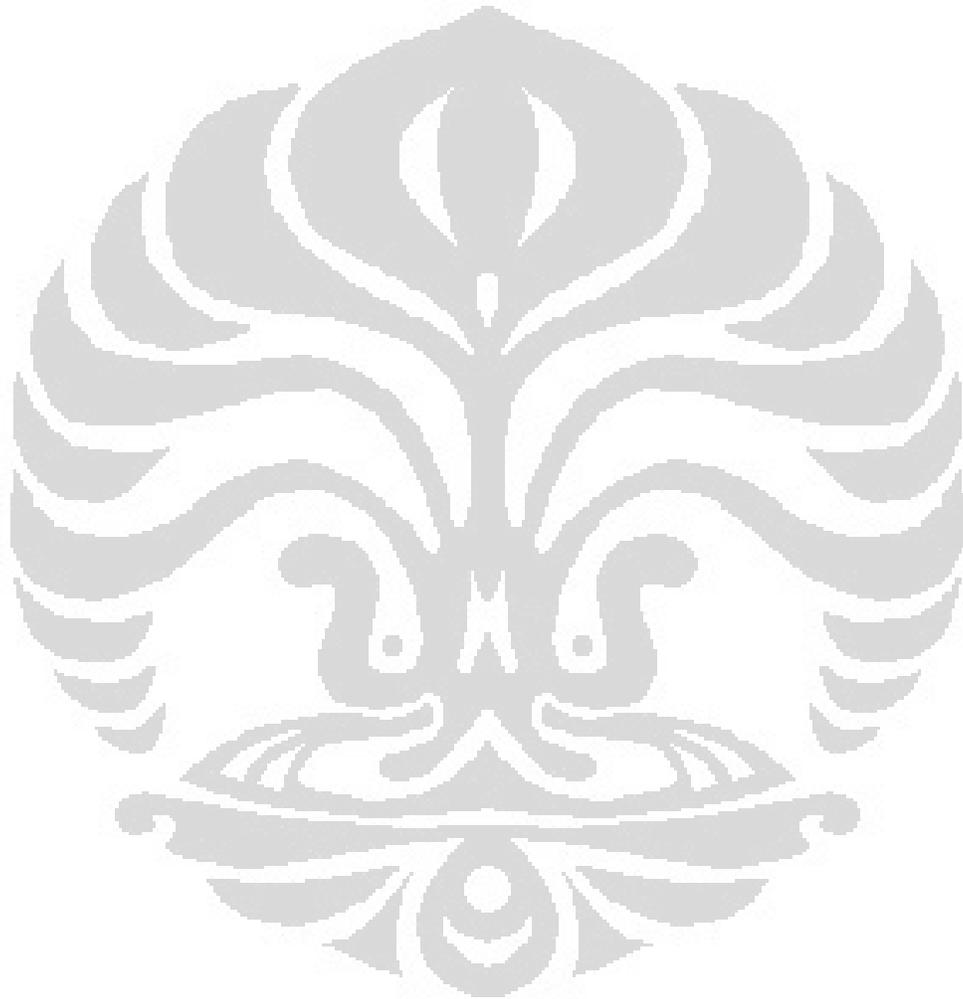
Spektrofotometri UV-Vis digunakan terutama untuk analisa kuantitatif, tetapi dapat juga untuk analisa kualitatif. Panjang gelombang

yang digunakan untuk melakukan analisa kuantitatif suatu senyawa biasanya merupakan panjang gelombang dimana senyawa yang bersangkutan memberikan serapan yang maksimum (λ maks), sebab keakuratan pengukurannya akan lebih besar.

Untuk sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fenol. Sedangkan instrumen yang digunakan adalah UV shimadzu 2450, seperti gambar berikut



Gambar 2.8 Gambar spektrofotometer UV shimadzu 2450



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 Pt
10. Ayakan mesh
11. Pompa

3.2 Bahan

1. Arang dari kayu gelam ukuran 10-16 mesh
2. Fenol, C_6H_5OH

Penelitian ini menggunakan limbah buatan dari senyawa fenol dengan konsentrasi awal 100 ppm.

3. Larutan amonia, NH_4OH 25 %
4. Kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4
5. Hidrat dikalium hidrogen fosfat, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
6. Natrium klorida, NaCl
7. 4-aminoantipirin
8. Kalium heksasianoferat (III), $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
9. Aqua demin

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Persiapan arang

Arang granular dihaluskan dengan menggunakan mortal dan kemudian disaring dan diayak secara otomatis dengan ayakan mesh. Setelah arang berukuran sama, arang dioven dengan suhu 140°C selama 45 menit.

3.3.2 Persiapan Sampel

Prosedur ini bertujuan mempersiapkan sampel yang akan diadsorpsi. 1 gram fenol ditimbang dan dilarutkan dengan aqua demin 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.

3.3.3 Pembuatan Larutan pereaksi

➤ 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 aqua demin, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL secara kuantitatif dan diencerkan hingga volume 100 mL.

➤ Larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 8% (b/v)

Ditimbang 0,8 gram $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ dan dilarutkan dengan aqua demin kemudian dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 10 mL dan diencerkan hingga volume 10 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 aqua demin, 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.

3.3.4 Penentuan Panjang Gelombang Serapan maksimum Fenol

Sebanyak 25 mL larutan fenol dengan deret konsentrasi mulai dari 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin. Setelah dibiarkan selama 25 menit, serapan larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-600 nm.

❖ Penelitian dengan sistem Batch

Penelitian ini dilakukan pada beaker glass dengan konsentrasi awal fenol sebesar 100 ppm.

3.3.5 Teknik Oksidasi Elektrokimia

3.3.5.1 Penentuan Optimum Konsentrasi Elektrolit

Larutan fenol dengan konsentrasi 100 ppm dalam larutan NaCl dengan variasi 1%, 3%, dan 5%, kemudian dielektrolisis dengan potensial 6 volt selama 75 menit, setiap 15 menit larutan dicuplik dan ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum.

3.3.5.2 Penentuan Potensial Oksidasi Optimum

Larutan fenol dengan konsentrasi 100 ppm dalam NaCl 1%, kemudian dielektrolisis dengan variasi potensial 3 Volt, 4 Volt dan 6 Volt.

Setiap 15 menit larutan dicuplik untuk diukur absorbansinya yang sebelumnya sudah ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin.

3.3.6 Teknik Adsorpsi

Pada tahap ini sebanyak 250 ml larutan fenol 100 ppm akan diadsorpsi menggunakan arang sebanyak 1 gram.

3.3.6.1 Adsorpsi Larutan Fenol

Larutan stok fenol diencerkan dengan aqua demin dalam labu 250 ml sehingga di peroleh larutan fenol 100 ppm. Larutan fenol 100 ppm di adsorpsi menggunakan arang 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.

3.3.6.2 Adsorpsi Larutan Fenol dalam NaCl 1%

Larutan stok fenol dilarutkan dalam NaCl 1% dan diencerkan hingga volum 250 ml sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 1%. Larutan fenol 100 ppm di adsorpsi menggunakan arang 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.

3.3.7 Teknik Kombinasi (Adsorpsi-Oksidasi)

Larutan fenol 100 ppm dalam NaCl 1% diadsorpsi dengan 1 gram arang sekaligus dioksidasi dengan menggunakan potensial optimum yaitu 6 volt. Setiap 15 menit larutan dicuplik sampai menit ke-75. Kemudian direaksikan dengan pereaksi 4-aminoantipirin untuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum.

3.3.8 Penelitian dengan Sistem Aliran Kontinyu

Kondisi optimum yang telah diperoleh dari metode batch diterapkan dalam reaktor yang dioperasikan secara kontinyu.

3.3.8.1 Persiapan alat

Reaktor yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor berbahan kaca dengan diameter 7 cm dan tinggi 12 cm. Reaktor dipasang padaudukan dan dilengkapi selang saluran untuk mengalirkan larutan fenol dari dan ke reaktor. Untuk membantu proses pengaliran digunakan satu buah pompa.

3.3.8.2 Tahapan Cara kerja

1. Tahapan pengoperasian alat dimulai dengan pemeriksaan bahwa semua rangkaian telah tersusun dengan benar.
2. Memasukkan larutan fenol ke dalam bak penampung
3. Mengalirkan secara kontinyu larutan fenol ke dalam reaktor.

4. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menampung aliran keluar pada gelas ukur disertai menghidupkan stopwatch
5. Percobaan tersebut dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi waktu 75 menit, 3 dan 5 jam dengan laju alir sebesar 200 mL/menit.

3.3.9 Pengambilan Data

Data yang diambil adalah sampel larutan fenol pada tiap-tiap waktu tertentu. Konsentrasi fenol pada tiap-tiap waktu diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV. Frekuensi pengambilan data dilakukan setiap interval 15 menit.

3.3.10 Analisis Senyawa Fenol

Analisa konsentrasi fenol dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis. Sampel dimasukkan ke dalam kuvet, kemudian dimasukkan ke dalam ruang sampel untuk dibaca absorbansinya.

3.3.10.1 Pembuatan larutan standar untuk fenol

Dari larutan fenol 100 ppm diambil 0,5;1;1,5;2;2,5 mL yang masing-masing dimasukkan ke dalam labu 25 mL. Setelah itu semua larutan diencerkan dengan menambahkan aqua demin sampai volume akhir 25 mL. Kelima larutan tersebut mempunyai konsentrasi 1,2,3,4,5 ppm. Masing-masing larutan ditambahkan 0,5 mL larutan amoniak dan di set pH sekitar $7,9 \pm 0,1$. Dilanjutkan dengan penambahan 0,5 mL larutan $K_3Fe(CN)_6$ dan 4 aminoantipirin sampai terbentuk warna kemerahan.

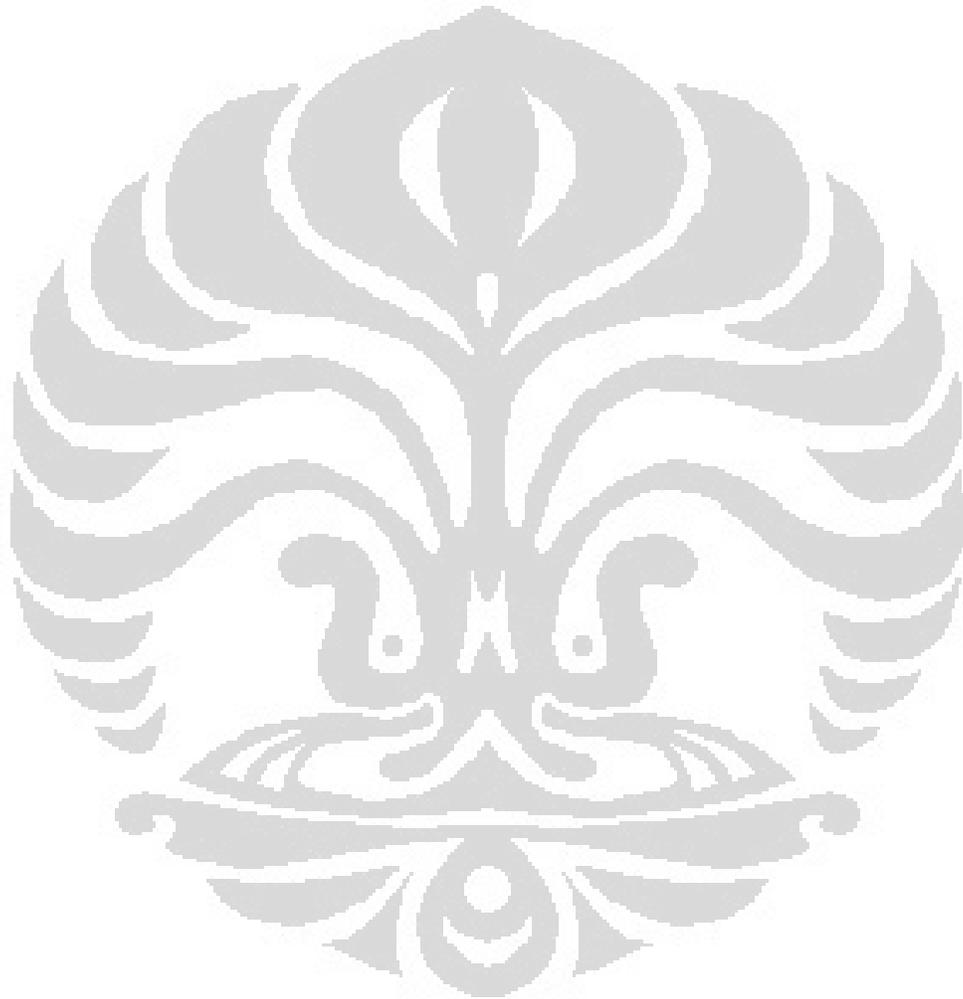
Setelah itu dimasukkan ke dalam spektrofotometer untuk dianalisis.

3.3.10.2 Analisis sampel fenol

Sebanyak 2,5 mL sampel yang diambil mendapat perlakuan yang sama seperti pada pembuatan larutan standar.

3.3.11 Isoterm Adsorpsi

Menyiapkan larutan fenol dengan variasi konsentrasi 10,20,30,40,50 ppm. Masing-masing larutan tersebut di adsorpsi dengan 1 gram arang dan dibiarkan selama 75 menit. Adsorpsi disertai dengan pengadukan dengan magnetik stirer. Larutan diambil dan disaring. Filtrat yang diperoleh diencerkan dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal yang sama juga dilakukan untuk fenol dalam NaCl 1%.



BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Adsorben

Penelitian ini akan menggunakan arang dari kayu gelam sebagai adsorben . Arang yang masih berbentuk granular dihaluskan dengan mortal. Untuk mendapatkan ukuran arang yang sesuai diperlukan pengayakan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan ayakan mesh dengan ukuran 16 mesh sehingga diperoleh arang dengan diameter partikel $\pm 1,18$ mm. Pengayakan dilakukan selama 15 menit dengan kecepatan 30 rpm.



Gambar 4.1 Ayakan mesh

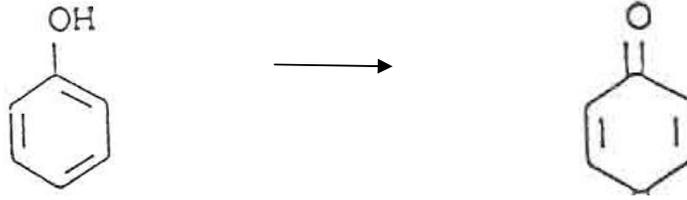
Setelah mendapatkan ukuran yang sesuai, arang dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 140°C selama 45 menit. Arang ini akan digunakan sebagai adsorben dalam sistem batch dan alir.



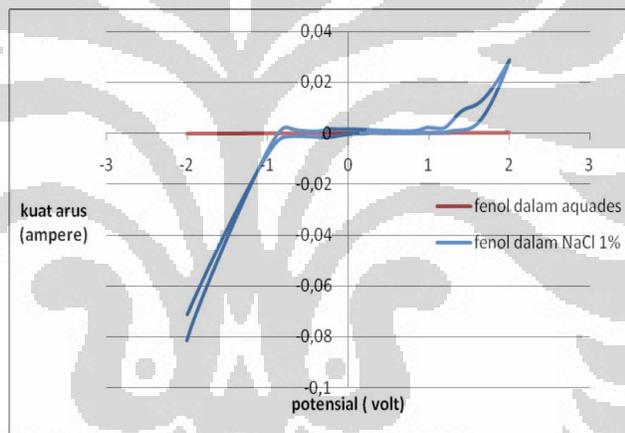
Gambar 4.2 Arang setelah diayak

4.2 Voltametri Siklik

Pengukuran voltametri siklik dilakukan untuk menentukan potensial optimum reaksi oksidasi fenol. Voltametri merupakan salah satu metode elektrokimia yang berdasar atas pengukuran arus listrik sebagai fungsi dari potensial yang diberikan.¹⁴ Pengukuran voltametri siklik dikerjakan dalam beaker glass dengan volume larutan 20 mL. Elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda pendukung masing-masing berupa kawat platina (Pt) spiral, elektroda pembanding Ag/AgCl dan kawat platina (Pt) batang. Pengukuran voltamogram dilakukan dengan potensiostat edaq e-corder 401. Voltamogram siklik dari larutan fenol dalam NaCl 1% diperlihatkan pada Gambar 4.3. Pada voltamogram terlihat puncak oksidasi pada 1,0026 V dan tidak terlihat adanya puncak reduksi. Namun potensial ini tidak dapat digunakan untuk reaksi degradasi fenol karena dalam potensial ini reaksi yang terjadi hanya reaksi oksidasi gugus fungsi pada fenol.



Jika voltametri dilanjutkan ke potensial yang lebih tinggi, terlihat kuat arus meningkat pesat. Arus ini meningkat semakin tinggi jika potensial terus dinaikkan karena terjadinya reaksi elektrolisis air. Reaksi ini menghasilkan OH radikal yang merupakan oksidator kuat yang dapat mengoksidasi fenol menjadi senyawa yang lebih sederhana.

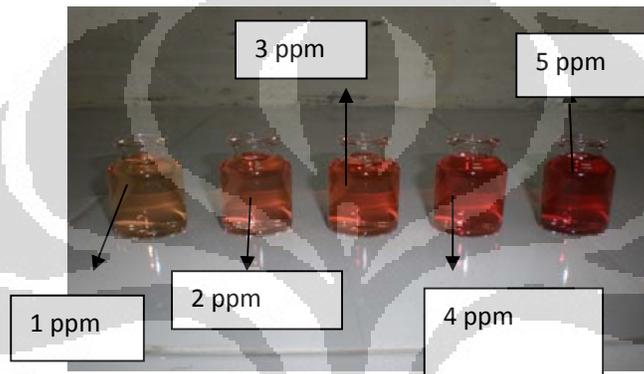


Gambar 4.3 Voltamogram larutan fenol dengan kisaran potensial +2 V dan -2 V. Scan rate 25 mVs^{-1} .

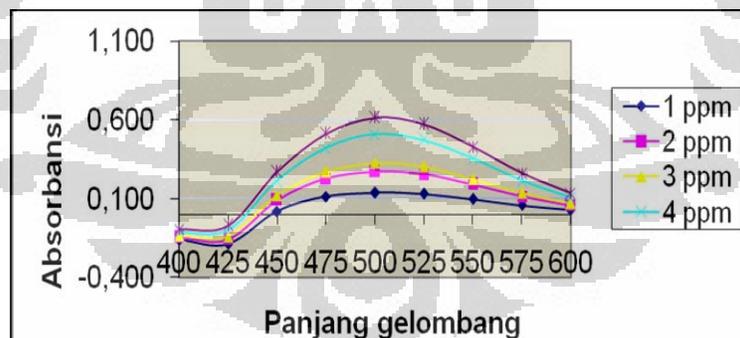
4.3 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Fenol

Pada penentuan panjang gelombang serapan maksimum fenol dengan berbagai konsentrasi digunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 400-600 nm. Panjang gelombang maksimum perlu dicari, karena akan digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol.

Sebanyak 25 ml larutan fenol dengan variasi konsentrasi ditambah dengan NH_4OH , kondisi pH diatur pada $7,9 \pm 0,1$ dengan menambahkan buffer fosfat. Senyawa fenol akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin pada kondisi pH yang sesuai akan membentuk warna merah. Larutan kalium feri sianida berfungsi sebagai pengoksidasi. Reaksi ini akan membentuk kompleks fenol antipirin yang berwarna merah.¹⁵



Gambar 4.4 Degradasi warna larutan senyawa fenol setelah ditambahkan pereaksi.



Gambar 4.5 Kurva panjang gelombang serapan maksimum fenol

Hasil pengukuran serapan maksimum larutan fenol berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang Panjang gelombang maksimum 506 nm selanjutnya digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol.

❖ Penelitian dengan Sistem Batch

4.4 Teknik Oksidasi Elektrokimia

Oksidasi fenol dengan elektrokimia merupakan cara yang efektif untuk memecah cincin aromatik. Hal ini memungkinkan produk oksidasi fenol adalah senyawa organik lain seperti metana dan golongan alkana lainnya. Bila cincin benzen pecah maka akan mudah terbentuk senyawa lain.

Radikal hidroksil diproduksi dari oksidasi air selama elektrolisis.¹⁶



Radikal hidroksil adalah oksidator yang dapat mengoksidasi berbagai senyawa organik.

Radikal OH ini akan menyerang cincin fenol terlebih dahulu dan selanjutnya akan mempermudah reaksi berikutnya. Fenol yang teroksidasi oleh hidroksil radikal akan berubah menjadi hidrokuinon, resorcinol, katekol dan kemudian teroksidasi kembali menjadi asam oksalat dan asam format.¹⁷ Sebagai hasil akhir dari proses oksidasi hanya akan didapatkan karbondioksida dan air.^{17,18}

Penelitian ini menggunakan elektroda yang terdiri dari sebuah anoda dan katoda yang berasal dari bahan platina. Ukuran elektroda yang digunakan yaitu untuk anoda digunakan elektroda spiral dengan panjang 2 cm, diameter spiral 1,7 cm dan diameter kawat 1 mm. Sedangkan untuk katoda digunakan elektroda batang dengan panjang 100 mm dan diameter kawat 0,8 mm.

4.4.1 Penentuan Konsentrasi Optimum Elektrolit

Elektrolit dalam teknik oksidasi berfungsi sebagai konduktor elektrik yang dapat menghantarkan listrik. Elektrolisis dengan NaCl sebagai elektrolit akan menghasilkan gas klor yang selanjutnya akan bereaksi dengan H₂O menghasilkan asam hipoklorit/hipoklorit (HOCl/OCl⁻).^{19,20}

Reaksi yang terjadi :

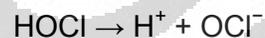
Anoda :



Katoda :

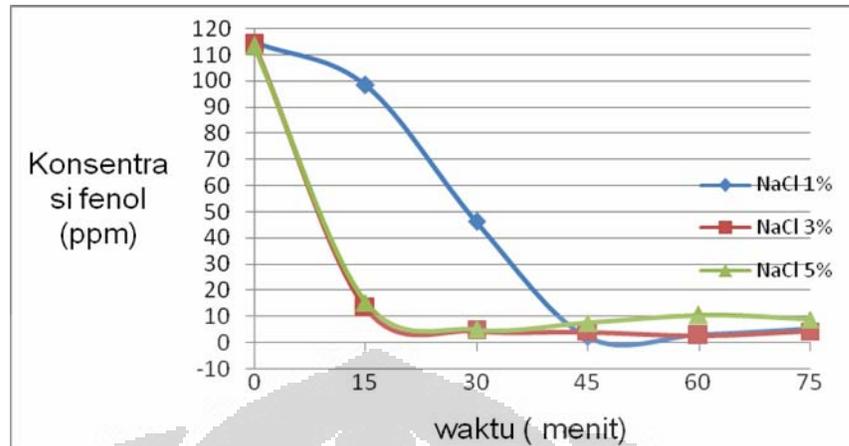


Larutan bulk :

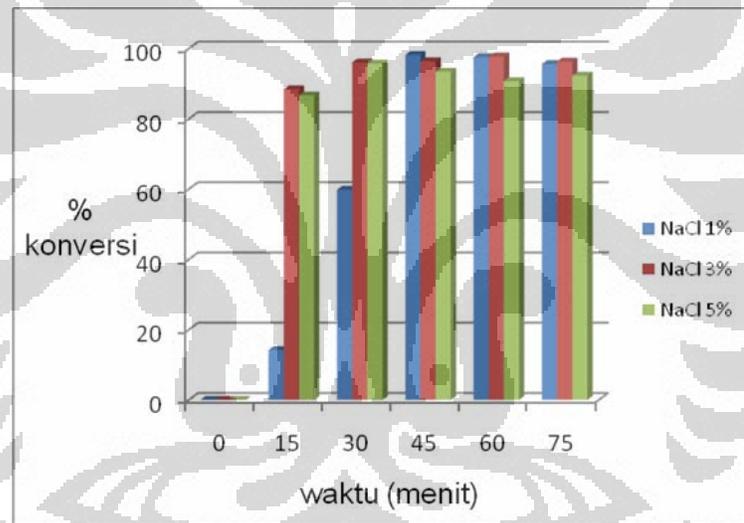


Optimasi larutan elektrolit bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi optimum elektrolit yang akan digunakan untuk percobaan selanjutnya.

Gambar 4.6 memperlihatkan kurva penurunan konsentrasi fenol yang tersisa dalam larutan sedangkan Gambar 4.7 memperlihatkan % konversi degradasi fenol.



Gambar 4.6 Kurva perbandingan optimasi elektrolit



Gambar 4.7 Kurva perbandingan % konversi fenol dengan variasi NaCl.

Kondisi operasi : potensial 6 V, konsentrasi fenol 100 ppm.

Tabel 4.1 Perbandingan % konversi fenol dengan variasi NaCl

waktu (menit)	% konversi		
	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
0	0	0	0
15	14,169	88,423	86,613
30	59,779	96,037	95,678
45	98,158	96,365	93,356
60	97,516	97,688	90,752
75	95,550	96,298	92,247

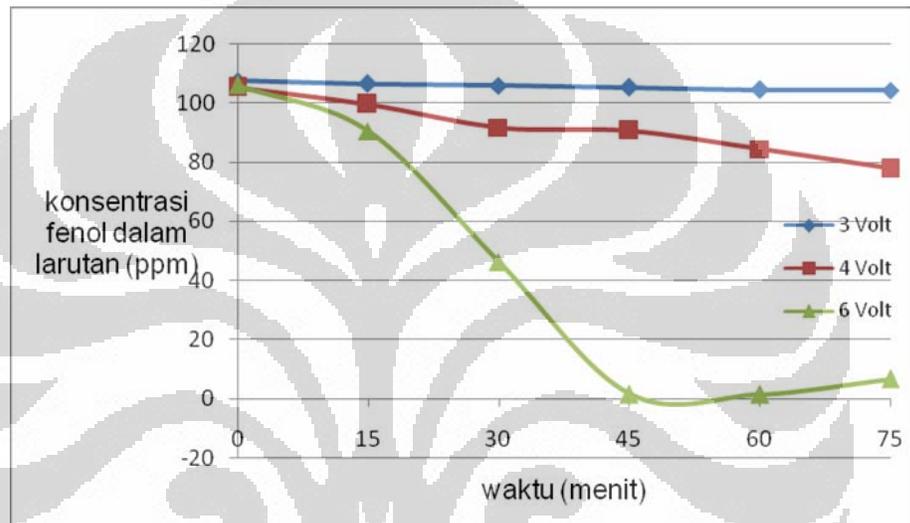
Terlihat bahwa konsentrasi optimum NaCl adalah sebesar 1 %. Dengan NaCl 1% dapat diperoleh % konversi sebesar 98,158% sedangkan dengan NaCl 5% hanya diperoleh % konversi sebesar 95,678%.

Penggunaan konsentrasi NaCl yang terlalu besar akan menghambat proses oksidasi fenol. Konsentrasi NaCl yang tinggi akan menghambat reaksi pembentukan radikal hidroksil pada permukaan anoda.²¹ Hal ini akan berpengaruh terhadap degradasi fenol. Dimana radikal hidroksil yang berperan sebagai pengoksidasi fenol.

4.4.2 Penentuan Potensial Optimum

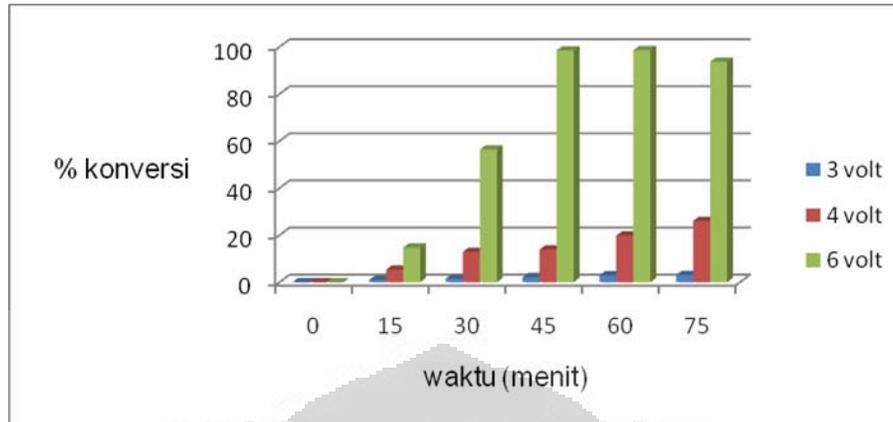
Kondisi optimum potensial divariasikan mulai dari 3 Volt, 4 volt dan 6 volt. Optimum potensial yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada potensial 6 Volt. Pada dasarnya semakin besar potensial yang diberikan pada oksidasi maka penurunan konsentrasi fenol akan semakin cepat. Hal ini sesuai dengan Hukum Faraday yang menyatakan bahwa semakin besar rapat arus (potensial) yang mengalir maka semakin besar

jumlah perubahan kimia yang terjadi dalam sel elektrolisis. Oksidasi dengan potensial sebesar 3 volt tidak menunjukkan penurunan konsentrasi fenol yang signifikan. Namun penggunaan potensial sebesar 6 volt memberikan penurunan konsentrasi fenol yang signifikan. Hal ini terlihat pada waktu 45 menit, konsentrasi fenol dalam larutan hanya tersisa 6,72 ppm. Berikut adalah gambar perbandingan ketiga potensial.



Gambar 4.8 Kurva perbandingan optimasi potensial . Kondisi operasi : NaCl 1%, konsentrasi fenol 100 ppm

Dengan potensial 6 volt diperoleh % konversi sebesar 98,585%. Potensial yang lebih besar akan meningkatkan reaksi transfer elektron. Sehingga proses oksidasi dan reduksi akan berjalan lebih cepat



Gambar 4.9 Kurva perbandingan % konversi fenol dengan variasi potensial

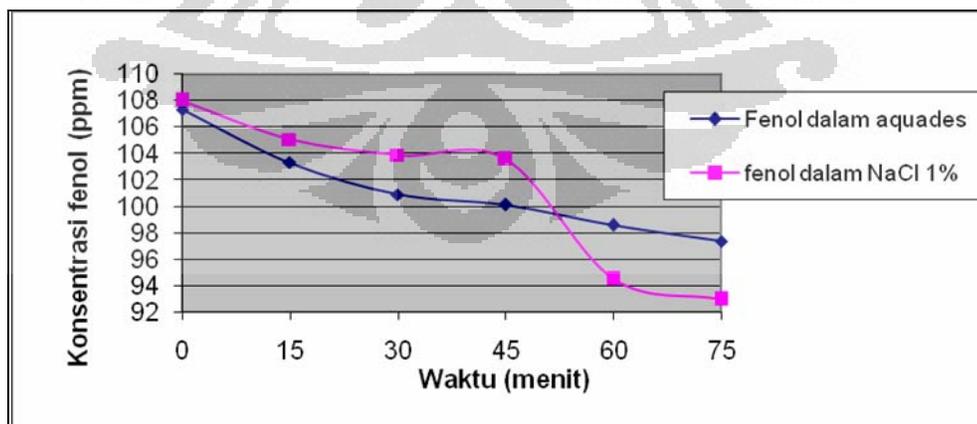
Tabel 4.2 Perbandingan % konversi fenol dengan variasi potensial

waktu (menit)	% konversi		
	3 volt	4 volt	6 volt
0	0	0	0
15	0,947	5,324	14,759
30	1,537	12,898	56,402
45	2,144	13,881	98,524
60	2,926	19,838	98,585
75	3,070	26,044	93,668

4.5 Teknik Adsorpsi

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan NaCl terhadap proses adsorpsi fenol pada arang. Konsentrasi awal fenol yang digunakan yaitu sebesar 100 ppm dengan volume kerja 250 mL. Teknik ini menggunakan arang kayu gelam sebagai adsorben. Adsorpsi fenol tanpa dan dengan adanya NaCl memberikan penurunan konsentrasi

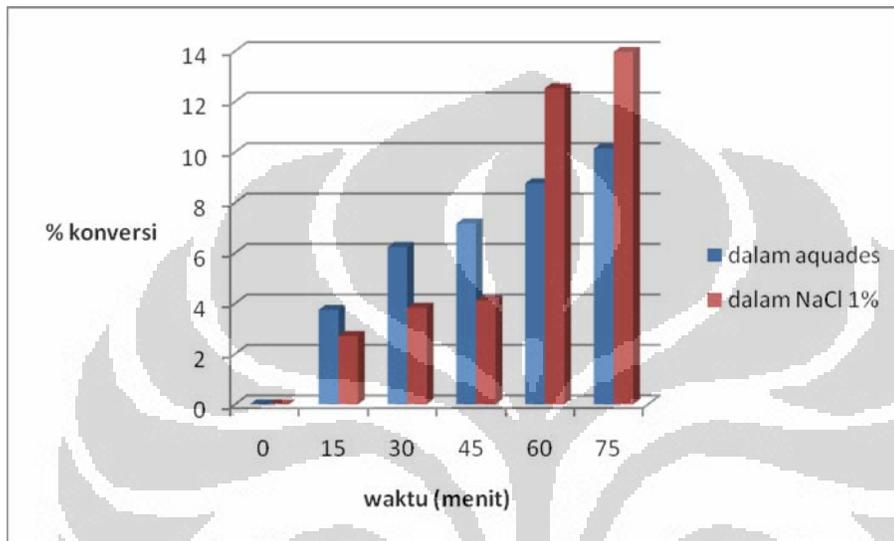
yang berbeda. Gambar 4.10 memperlihatkan penurunan konsentrasi fenol dengan dan tanpa adanya NaCl. Penggunaan NaCl dapat mempercepat proses adsorpsi fenol pada arang. Hal ini terlihat pada waktu kontak setelah 45 menit, konsentrasi fenol menurun. Penambahan NaCl pada larutan fenol menyebabkan berkurangnya kepolaran fenol dalam air sehingga interaksi antara fenol dengan air akan lemah. Akibatnya semakin banyak molekul fenol yang dapat teradsorpsi pada arang. Dari penelitian sebelumnya (Lenta S.) diperoleh % konversi sebesar 52,91 % dengan menggunakan karbon aktif sedangkan dalam penelitian ini hanya menghasilkan % konversi sebesar 13,96%. Karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan arang. Pada permukaan karbon aktif terdapat gugus aktif yang mampu mengikat fenol, sehingga menghasilkan penurunan konsentrasi fenol yang lebih baik.



Gambar 4.10 Kurva penurunan konsentrasi fenol dengan adsorpsi

Kondisi operasi dalam adsorpsi :

konsentrasi fenol 100 ppm, jumlah arang yang digunakan 1 gram, disertai dengan pengadukan dengan magnetik stirer.



Gambar 4.11 Perbandingan % konversi adsorpsi fenol

Tabel 4.3 Perbandingan % konversi adsorpsi fenol

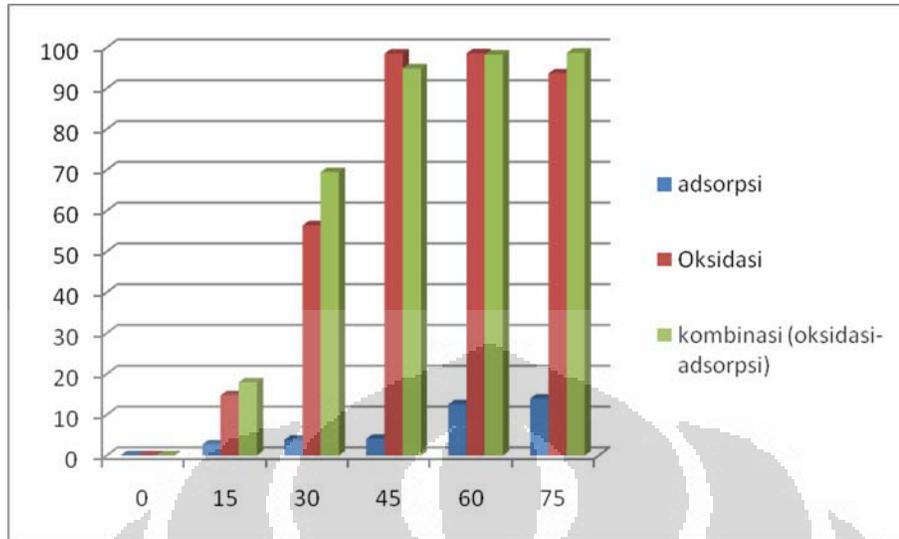
waktu (menit)	% konversi fenol	
	dalam aquades	dalam NaCl 1%
0	0	0
15	3,745	2,710
30	6,231	3,827
45	7,159	4,104
60	8,755	12,526
75	10,134	13,962

4.6 Teknik Kombinasi Oksidasi dan Adsorpsi

Teknik adsorpsi, oksidasi dan kombinasi akan dibandingkan dengan sistem batch untuk mengetahui apakah arang berperan untuk degradasi fenol dengan elektrokimia dimana arang berperan sebagai mikroelektroda. Teknik kombinasi merupakan teknik yang sedang dikembangkan dengan mengkombinasikan antara oksidasi secara elektrokimia dan adsorpsi arang.

Diharapkan dengan menggunakan teknik ini dapat meningkatkan % konversi fenol. Teknik ini dilakukan dengan menggunakan 1 gram arang, NaCl 1% dan potensial sebesar 6 V. Berdasarkan kurva dapat dilihat bahwa semakin lama waktu proses oksidasi dan adsorpsi akan menghasilkan % konversi yang lebih baik.

Penurunan konsentrasi fenol dengan adsorpsi membutuhkan waktu yang cukup lama, hal ini terlihat pada Gambar 4.12, dengan waktu kontak selama 75 menit hanya menghasilkan % konversi sebesar 13%. Dengan oksidasi secara elektrokimia, konsentrasi fenol menurun seiring dengan lamanya waktu degradasi. Namun penurunan hanya terjadi hingga waktu degradasi 45 menit. Dari hasil % konversi dari masing-masing teknik dapat disimpulkan bahwa teknik kombinasi memiliki efek sinergisme. Dengan teknik kombinasi, konsentrasi fenol menurun dengan cepat. Setelah waktu 30 menit, konversi fenol untuk teknik kombinasi mencapai 69,48%, lebih besar 10% dari penjumlahan konversi dari masing-masing teknik adsorpsi (3,8%) dan oksidasi (56,4%).



Gambar 4.12 Perbandingan % konversi dari degradasi fenol dengan adsorpsi, oksidasi dan kombinasi

Tabel 4.4 Data % konversi dengan teknik adsorpsi, oksidasi dan kombinasi

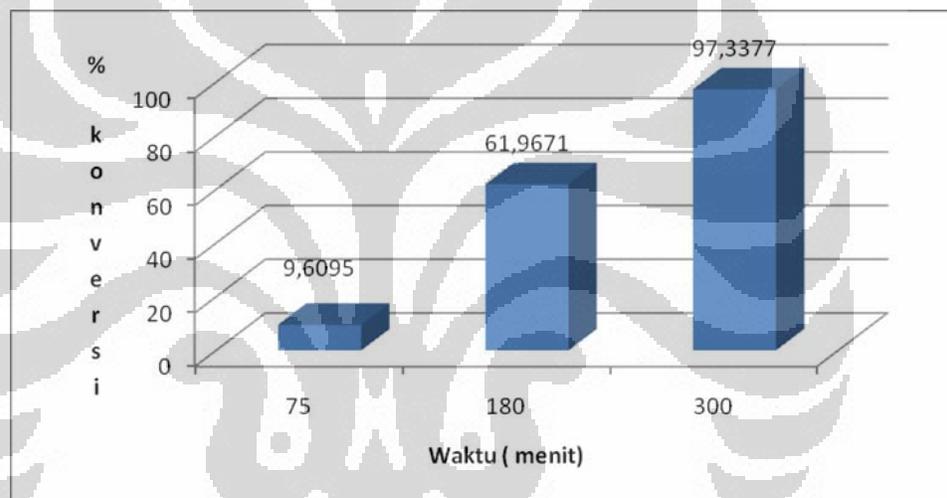
Waktu (menit)	%konversi		
	adsorpsi	oksidasi	kombinasi
0	0	0	0
15	2,710	14,759	17,934
30	3,827	56,402	69,489
45	4,104	98,524	94,892
60	12,526	98,585	98,261
75	13,962	93,668	98,691

❖ Penelitian dengan Sistem Aliran Kontinyu

4.7 Teknik Kombinasi dengan Sistem Aliran Kontinyu

Kondisi optimum sistem batch akan digunakan sebagai acuan untuk percobaan dengan sistem aliran kontinyu. Walaupun sistem batch telah memberikan hasil yang memuaskan namun diperlukan suatu sistem yang mudah dan efisien. Keunggulan dari sistem alir yaitu memiliki sistem operasi yang mudah, dapat diterapkan dalam skala industri.²²

Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa dengan sistem alir diperlukan waktu degradasi selama 5 jam dapat menghasilkan % konversi fenol sebesar 97,34%. Reaktor yang digunakan terlihat pada Gambar 4.14



Gambar 4.13 Perbandingan % konversi dari degradasi fenol dengan sistem aliran kontinyu. Kondisi operasi : 1 gram arang, 1%NaCl, potensial 6 v, konsentrasi fenol 100 ppm, volume fenol 1,3 L



Gambar 4.14 Reaktor yang digunakan dalam sistem aliran kontinyu.
Panjang reaktor 12 cm dan diameter 7 cm



Gambar 4.15 Rancangan alat sistem aliran kontinyu

Fenol dalam bak penampung dialirkan melalui selang ke bagian bawah reaktor dengan bantuan pompa. Dalam reaktor ini terjadi proses adsorpsi dan oksidasi elektrokimia. Fenol yang keluar akan kembali ke dalam bak penampung dan selanjutnya akan dialirkan kembali ke reaktor.

4.8 Perbandingan Teknik Kombinasi dengan Sistem Batch dan Aliran Kontinyu

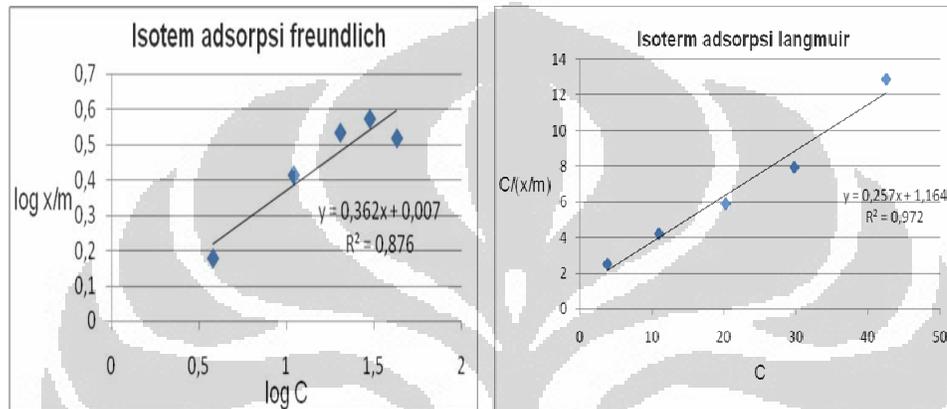
Persen konversi dalam sistem batch sebesar 98,7% yang diperoleh dalam waktu 75 menit dengan volume kerja 250 mL sedangkan dengan sistem aliran kontinyu, 1,3 L larutan fenol membutuhkan waktu 5 jam untuk mendapatkan % konversi sebesar 97,34 %. Dapat disimpulkan bahwa untuk sistem aliran kontinyu dengan volume fenol sebesar 250 mL hanya dibutuhkan waktu 1 jam untuk mendapatkan % konversi sebesar 97,34%. Dengan sistem aliran kontinyu dapat meningkatkan kemampuan teknik kombinasi oksidasi dan adsorpsi sehingga sistem ini dapat diterapkan dalam skala industri.

4.9 Analisis Senyawa Fenol

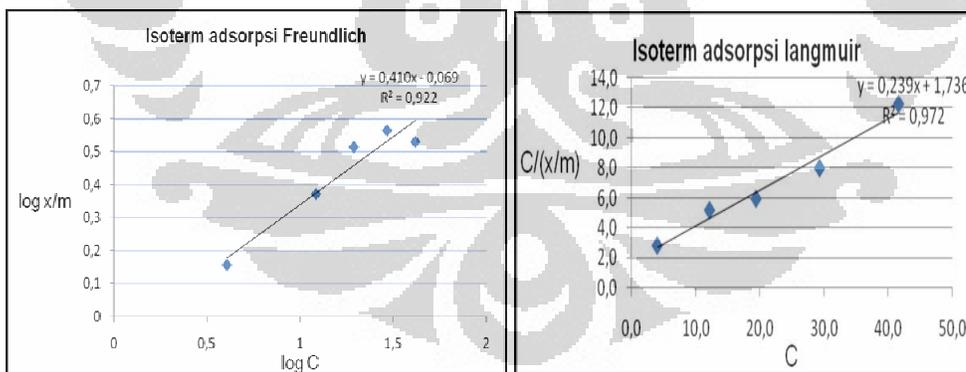
Analisis konsentrasi fenol dilakukan dengan menggunakan metode aminoantipirin dan diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran konsentrasi fenol dengan spektrofotometer UV-Vis menggunakan panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh pada percobaan sebelumnya yaitu pada panjang gelombang 506 nm. Konsentrasi fenol yang terukur diperoleh dengan membandingkan absorbansi yang didapat dengan kurva standar yang sebelumnya telah dibuat.

4.10 Penentuan Isoterm Adsorpsi Fenol pada Arang

Isoterm adsorpsi untuk fenol pada arang dengan adanya NaCl dan tanpa NaCl ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan 4.17. Untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi fenol oleh arang dilakukan uji terhadap pola isoterm Freundlich dan Langmuir.



Gambar 4.16 Isoterm adsorpsi fenol dalam aquades



Gambar 4.17 isoterm adsorpsi fenol dalam NaCl1%

Pada kurva diatas terlihat bahwa nilai regresi untuk larutan fenol dalam aquades dan dalam NaCl 1% yaitu sebesar 0,972 untuk persamaan langmuir. Sedangkan untuk isoterm adsorpsi freundlich diperoleh nilai

regresi sebesar 0,876 untuk fenol dalam aquades dan 0,922 untuk fenol dalam NaCl 1%. Dari nilai regresi tersebut, menunjukkan bahwa penelitian ini cenderung mengikuti persamaan isoterm adsorpsi langmuir yang mengasumsikan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia (*chemisorption*) yang membentuk lapisan monolayer. Namun dari nilai regresi tersebut dapat dikatakan tidak terlalu besar perbedaannya sehingga kemungkinan dalam adsorpsi fenol pada arang terjadi kedua jenis adsorpsi yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika tetapi adsorpsi yang cenderung terjadi adalah adsorpsi kimia.



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

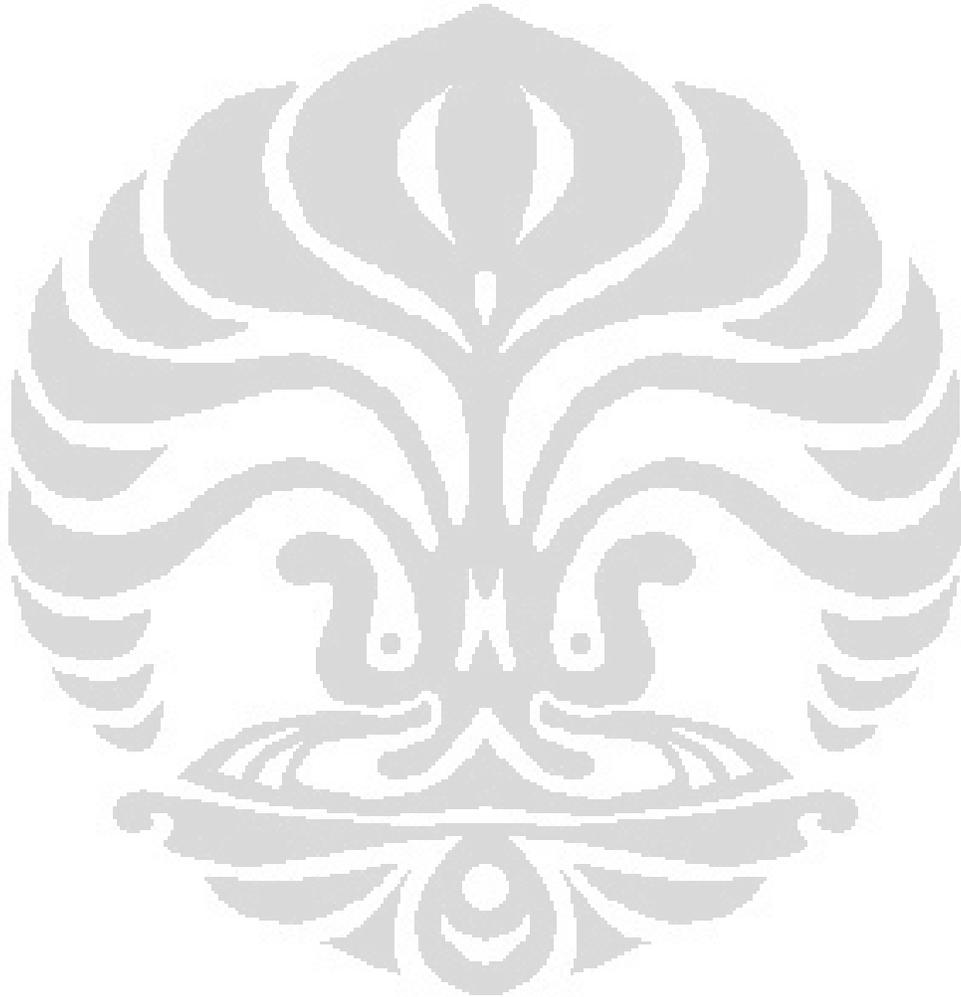
1. Arang kayu gelam mampu menurunkan konsentrasi fenol dengan % konversi sebesar 13%.
2. Penurunan konsentrasi fenol menggunakan teknik kombinasi dengan sistem aliran kontinyu memberikan hasil yang lebih baik

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan di atas, maka saran yang dapat diberikan guna kesempurnaan penelitian ini antara lain:

1. Diperlukan ketelitian dalam pengambilan sampel dimana hal tersebut dapat mempengaruhi hasil analisis.
2. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya melakukan percobaan dengan menggunakan karbon aktif . Hal tersebut untuk mendapatkan hasil penurunan konsentrasi fenol yang paling efektif.

3. Menggunakan pompa yang sesuai dan dapat diatur kecepatan alirnya.



DAFTAR PUSTAKA

1. Perbedaan adsorpsi phenol arang.
<http://keperawatan08.blogspot.com/2008/06/perbedaan-adsorpsi-phenol-arang.html> (5 Maret 2009, pkl. 16.05.WIB).
2. Reduction of Hydrocarbon Emissions from air through pressure swing regeneration of activated carbon.
<http://www.vaporrecovery.com/rheps.html>(13 April 2009, pkl 15.00 WIB).
3. Sudirjo,Emilius. 2005. Penentuan Distribusi Benzena-Toluena pada Kolom Adsorpsi Fixed Bed Karbon Aktif. Depok : Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
4. Meningkatkan nilai arang tempurung jadi karbon aktif
<http://aryafatta.wordpress.com/2008/06/04/meningkatkan-nilai-arang-tempurung-jadi-karbon-aktif/> (25 April 2009, pkl 10.00 WIB).
5. Isoterm Adsorpsi.
<http://smk3ae.wordpress.com/2008/12/03/isoterm-adsorpsi/>(20 Maret 2009, pkl 20.10 WIB)
6. Juliandini, Fithrianita dkk. 2008. Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol.Surabaya : ITS.

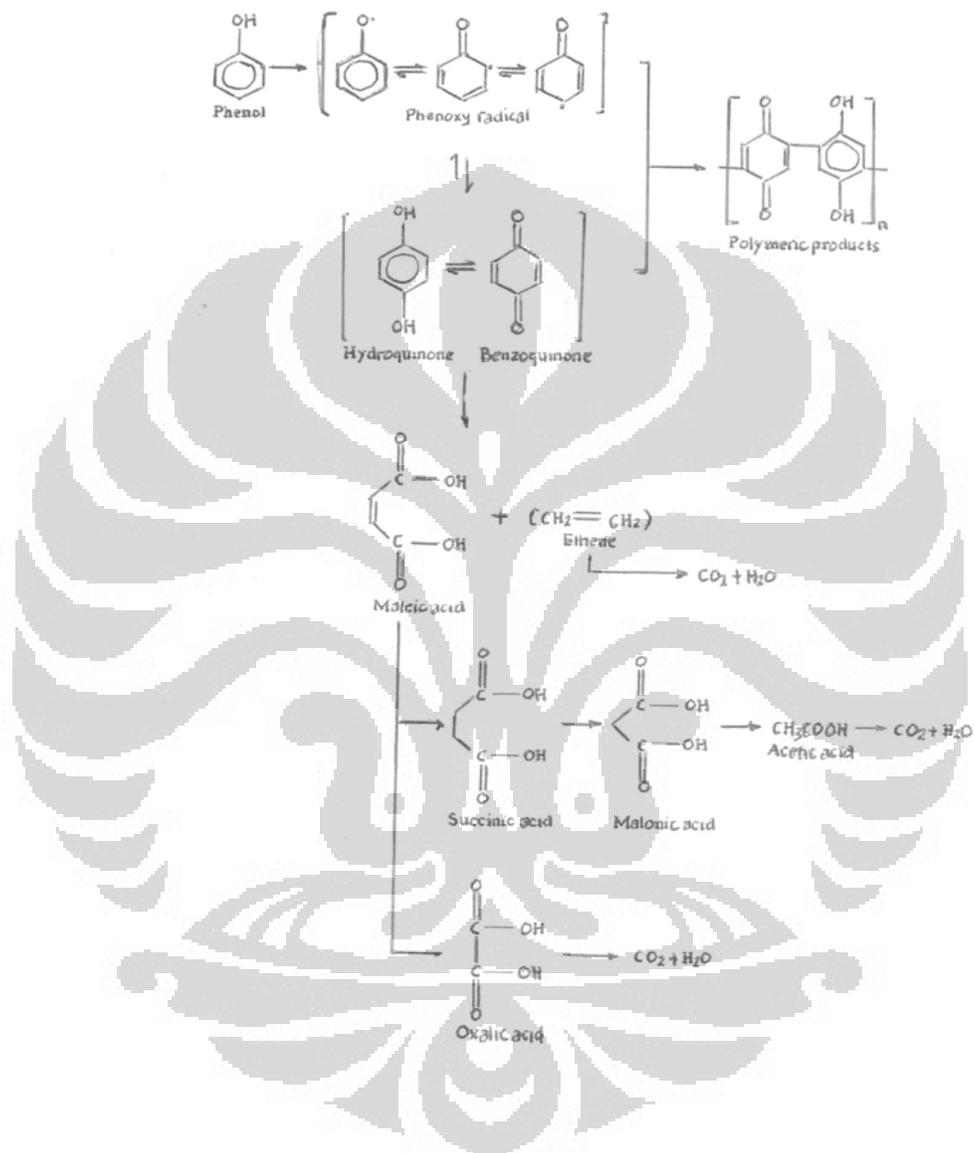
7. Sembiring, Meilita tryana dan Tuti Sarma Sinaga. 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Universitas Sumatera Utara: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri.
8. Elektrolisis. http://www.geocities.com/mydah_99/mweb2.htm.(22 Maret 2009, pkl.13.15 WIB).
9. Bard. J Allen & L.R Faulkner. 2001. Electrochemical Methods Fundamental and Application Second Edition. USA.
10. Larutan
<http://romdhoni.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/7576/Larutan.pdf> (3 April 2009, pkl 20.05 WIB)
11. Redoks dan elektrokimia
[http:// amaliasholehah.files.wordpress.com](http://amaliasholehah.files.wordpress.com)(3 April 2009, pkl 20.30 WIB)
12. Alkohol, fenol, aldehid dan keton.
<http://annisanfushie.wordpress.com/2008/12/07/alkohol-fenol-aldehid-dan-keton/>(13 April 2009, pkl 21.05 WIB).
13. Spektrofotometer.
<http://rgmaisayah.wordpress.com/2008/11/25/spektrofotometer/>.(22 April2009, pkl. 10.00WIB).
14. Wibowo, Rahmat. 2004. Analisis Elektrokimia (KSKA II). Depok: Departemen kimia UI.
15. F.Jones, Peter dkk. 1983. *Estimation of phenols by the 4-Aminoantipyrine Method: Identification of the Colored Reaction*

Products by Proton Magnetic Resonance Spectroscopy. University of Saskatchewan.

16. Wu, Zucheng.dkk. 2004. *p-Nitrophenol abatement by the combination of electrocatalysis and activated carbon*. China :Zhejiang University.
17. Xiao-yan li et al.2005. *Reaction pathways and mechanism of the electrochemical degradation of phenolon different electrodes*.China:University of Hongkong.
18. Teknologi pengolahan limbah.
<http://keslingmks.wordpress.com/2009/05/01/teknologi-pengolahan-limbah-medis-cair/> (1 mei 2009, pk11.00 WIB).
19. D. Rajkumar dkk.2005.*Combined electrochemical degradation and activated carbon adsorption treatments for wastewater containing mixed phenolic Compounds*.Canada.
20. Doğan and Haluk Turkdemir. 2005. *Electrochemical oxidation of textile dye indigo*. Turkey:Chemistry Department.
21. Zhou Ming-hua.2004. *Synergetic effects for p-nitrophenol abatement using a combined activated carbon adsorption-electrooxidation process*. China :Institute of Environmental Engineering, Zhejiang University.
22. Ming Hua Zhou, Zu Cheng Wu.2001. *A Novel Electrocatalysis Method for Organic Pollutants Degradation*. China : Department of Environmental Science and Engineering, Zhejiang University.

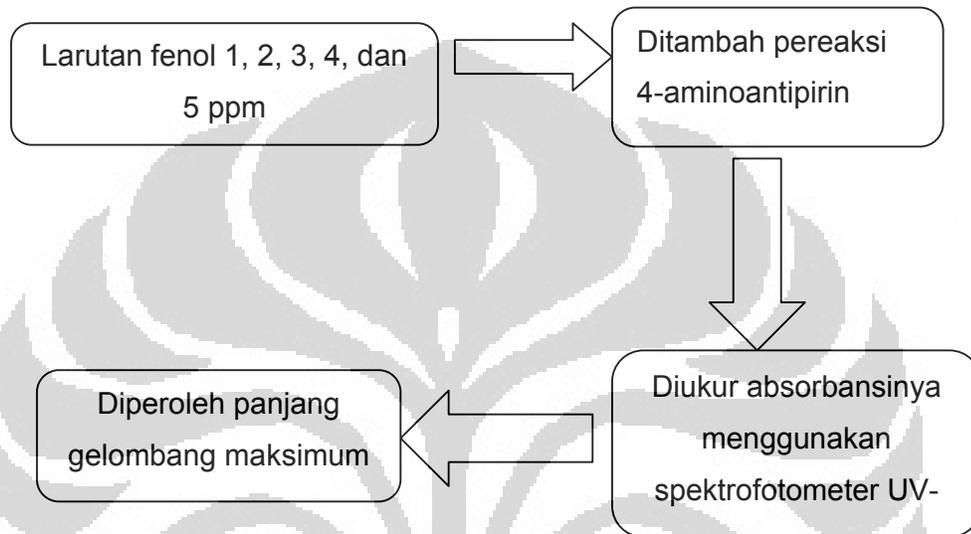
23. Dwiwahyuni, Arum. 2007. Studi Pendahuluan Regenerasi Karbon Aktif Yang Terjenuhkan Senyawa Fenol Dengan Metode Elektrolisis. Departemen Kimia FMIPA UI. Depok
24. Zhang, Huiping dkk. 2002. *Regeneration of phenol-saturated activated carbon in an electrochemical reactor*. China: Xiamen University.
25. Khairunisa, Ratna. 2008. Kombinasi Teknik Elektrolisis dan Teknik adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol Dalam Air. Depok: Departemen kimia FMIPA UI.
26. Simanjuntak, Lenta. 2008. Studi Penurunan Konsentrasi Fenol Menggunakan Teknik Adsorpsi Karbon aktif dan Teknik Elektrokimia. Departemen kimia FMIPA UI.

Reaksi Degradasi Fenol

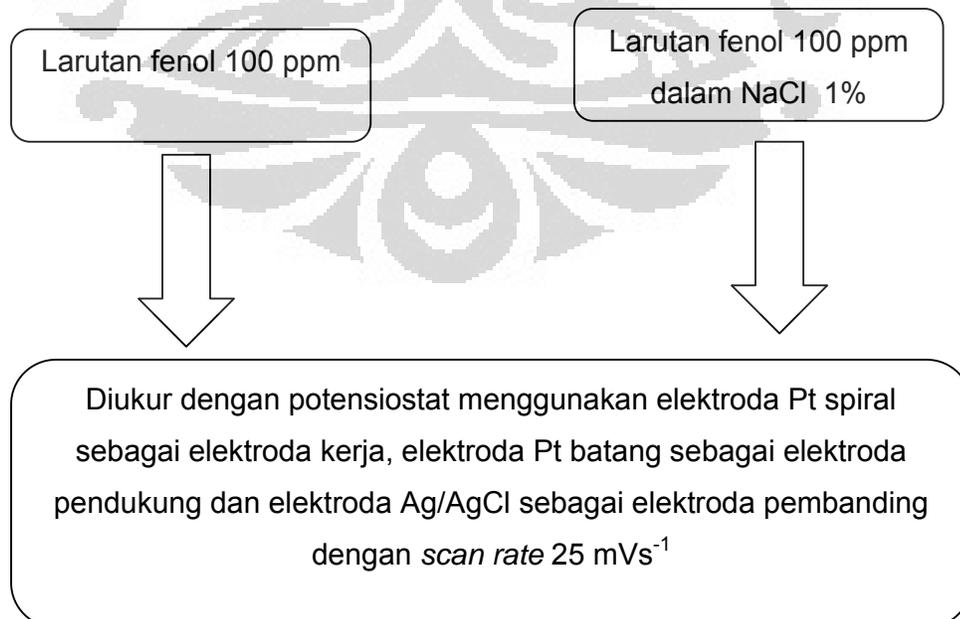


BAGAN KERJA

1. Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum fenol



2. Voltametri siklik



3. Sistem Batch

a. Teknik oksidasi elektrokimia

➤ Penentuan konsentrasi elektrolit optimum

Larutan fenol 100 ppm dalam NaCl dengan variasi konsentrasi 1%, 3%, dan 5%,

Dioksidasi dengan potensial 6 Volt selama 75 menit

Setiap 15 menit larutan dicuplik dan ditambahkan pereaksi 4-aminoantipirin

Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum

➤ Penentuan potensial oksidasi optimum

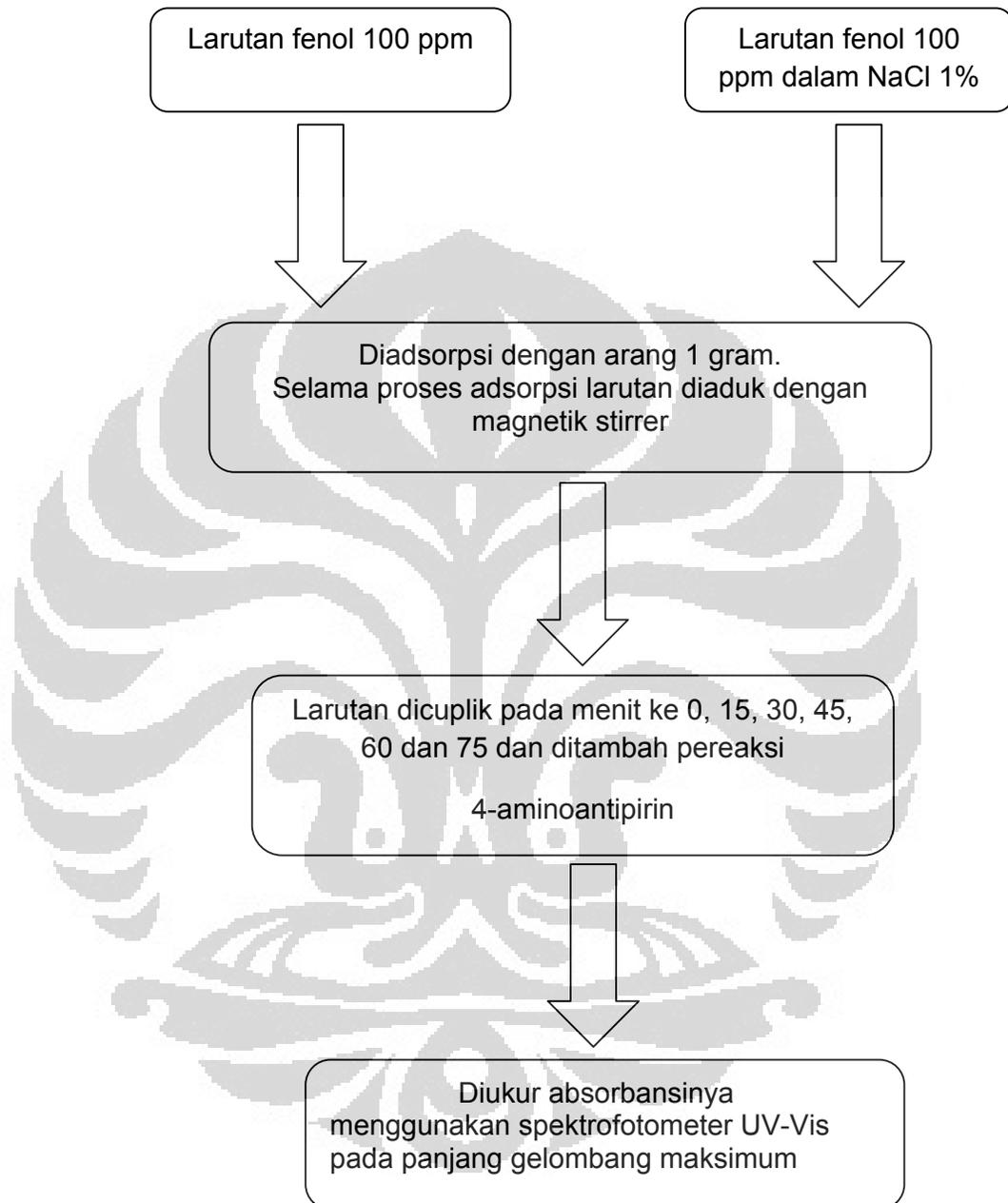
Larutan fenol 100 ppm dalam
NaCl 1 %

Dioksidasi dengan variasi potensial
3 Volt, 4 Volt dan 6 Volt selama 75
menit

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

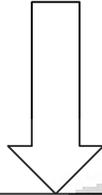
Diukur absorbansinya menggunakan
spektrofotometer pada panjang
gelombang maksimum

b. Teknik Adsorpsi

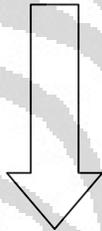


c. Teknik Kombinasi

Larutan fenol 100 ppm dalam
NaCl 1%



Diadsorpsi dengan karbon aktif 1
gram sekaligus dioksidasi dengan
menggunakan potensial optimum (6
Volt)

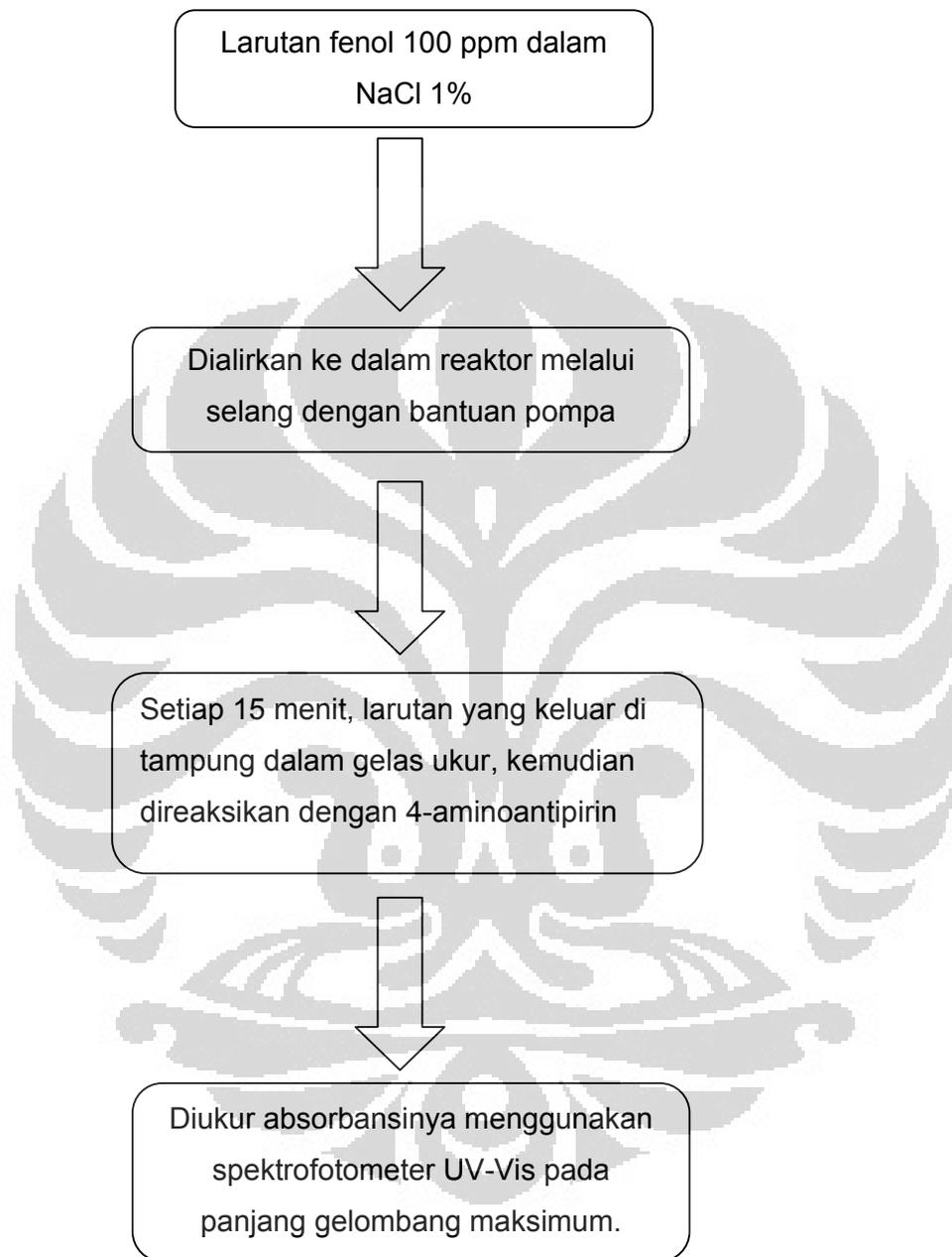


Setiap 15 menit larutan dicuplik sampai menit
ke-75. Kemudian direaksikan dengan
4-aminoantipirin



Diukur absorbansinya menggunakan
spektrofotometer UV-Vis pada
panjang gelombang maksimum.

4. Sistem Aliran Kontinyu



TABEL

Tabel 4.5 Serapan Maksimum senyawa fenol

konsentrasi (ppm)	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
1	507	0,142
2	507	0,275
3	506	0,330
4	507	0,513
5	507	0,619

Tabel 4.6 Standar penentuan konsentrasi optimum elektrolit

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1065
2	0,2361
3	0,3365
4	0,4784
5	0,6105

Tabel 4.7 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% dengan potensial

6V

Waktu (menit)	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6863	5,7383	114,7669	0	0
15	0,5880	4,9253	98,5058	16,2612	14,1689
30	0,2713	2,3080	46,1603	68,6066	59,7791
45	0,0048	0,1057	2,1140	112,6529	98,1580
60	0,0093	0,1426	2,8512	111,9157	97,5156
75	0,0229	0,2554	5,1074	109,6595	95,5497

Tabel 4.8 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 3% dengan potensial

6V

Waktu (menit)	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6824	5,7061	114,1223	0	0
15	0,0719	0,6606	13,2116	100,9107	88,4233
30	0,0194	0,2261	4,5223	109,6000	96,0373
45	0,0171	0,2074	4,1488	109,9736	96,3646
60	0,0080	0,1319	2,6387	111,4836	97,6879
75	0,0176	0,2112	4,2248	109,8975	96,2980

Tabel 4.9 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 5% dengan potensial

6V

Waktu (menit)	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6792	5,6794	113,5884	0	0
15	0,0840	0,7603	15,2066	98,3818	86,6125
30	0,0217	0,2455	4,9091	108,6793	95,6782
45	0,0377	0,3774	7,5471	106,0413	93,3557
60	0,0556	0,5252	10,5041	103,0843	90,7525
75	0,0453	0,4403	8,8066	104,7818	92,2469

Tabel 4.10 Standar penentuan potensial optimum

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1287
2	0,2521
3	0,3797
4	0,5144
5	0,6450

Tabel 4.11 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% dengan potensial

3V

waktu	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6874	5,3778	107,5563	0	0
15	0,6808	5,3269	106,5375	1,0188	0,9472
30	0,6768	5,2952	105,9031	1,6531	1,5370
45	0,6726	5,2625	105,2500	2,3063	2,1442
60	0,6672	5,2205	104,4094	3,1469	2,9258
75	0,6662	5,2127	104,2547	3,3016	3,0696

Tabel 4.12 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% dengan potensial

4V

Waktu (menit)	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6721	5,2589	105,1781	0	0
15	0,6363	4,9789	99,5781	5,6000	5,3243
30	0,5853	4,5806	91,6125	13,5656	12,8978
45	0,5787	4,5289	90,5781	14,6000	13,8812
60	0,5386	4,2156	84,3125	20,8656	19,8384
75	0,4968	3,8893	77,7859	27,3922	26,0436

Tabel 4.13 Teknik oksidasi larutan fenol dalam NaCl 1% dengan potensial

6V

Waktu (menit)	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6781	5,3051	106,1016	0	0
15	0,5778	4,5221	90,4422	15,6594	14,7589
30	0,2951	2,3129	46,2578	59,8438	56,4023
45	0,0090	0,0783	1,5656	104,5359	98,5244
60	0,0086	0,0751	1,5016	104,6000	98,5848
75	0,0420	0,3359	6,7188	99,3828	93,6676

Tabel 4.14 Standar teknik Adsorpsi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1316
2	0,2590
3	0,3847
4	0,5126
5	0,6337

Tabel 4.15 Adsorpsi fenol dalam aquades

waktu	A	C ₁	C ₂	C ₃	%konversi
0	0,6791	5,3657	107,3143	0	0
15	0,6538	5,1648	103,2952	4,0190	3,7451
30	0,6385	5,0439	100,8778	6,4365	6,2312
45	0,6336	5,0046	100,0921	7,2222	7,1594
60	0,6239	4,9275	98,5508	8,7635	8,7554
75	0,6162	4,8663	97,3270	9,9873	10,1342

Tabel 4.16 Adsorpsi fenol dengan NaCl 1%

waktu	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6833	5,3995	107,9905	0	0
15	0,6649	5,2532	105,0635	2,9270	2,7104
30	0,6573	5,1929	103,8571	4,1333	3,8275
45	0,6554	5,1779	103,5587	4,4317	4,1038
60	0,5981	4,7232	94,4635	13,5270	12,5261
75	0,5884	4,6456	92,9127	15,0778	13,9621

Tabel 4.17 Standar teknik kombinasi (oksidasi dan adsorpsi)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1197
2	0,2441
3	0,3599
4	0,4835
5	0,6056

Tabel 4.18 Teknik kombinasi (oksidasi-adsorpsi)

Waktu (menit)	Absorbansi	C ₁	C ₂	C ₃	%konversi
0	0,6760	5,5950	111,9008	0	0
15	0,5546	4,5917	91,8331	20,0678	17,9335
30	0,2056	1,7071	34,1421	77,7587	69,4889
45	0,0336	0,2858	5,7157	106,1851	94,8922
60	0,0108	0,0973	1,9463	109,9545	98,2607
75	0,0079	0,0732	1,4645	110,4364	98,6913

Tabel 4.19 Standar sistem aliran kontinyu dengan waktu 75 menit

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1270
2	0,2582
3	0,3944
4	0,5230
5	0,6505

Tabel 4.20 Sistem aliran kontinyu dengan waktu 75 menit

waktu (menit)	Absorbansi	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6837	5,2847	105,6930	0	0
15	0,6660	5,1470	102,9395	2,7535	2,6052
30	0,6513	5,0336	100,6729	5,0202	4,7498
45	0,6435	4,9726	99,4512	6,2419	5,9057
60	0,6357	4,9126	98,2527	7,4403	7,0395
75	0,6182	4,7768	95,5364	10,1566	9,6095

Tabel 4.21 Standar metode alir dengan waktu 3 jam

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1329
2	0,2573
3	0,3936
4	0,5221
5	0,6496

Tabel 4.22 Sistem alir dengan waktu 3 jam

waktu	A	C ₁	C ₂	C ₃	%konversi
0	0,6738	5,1908	103,8169	0	0
15	0,6364	4,9027	98,0538	5,7631	5,5512
30	0,6147	4,7362	94,7246	9,0923	8,7580
45	0,5881	4,5318	90,6354	13,1815	12,6969
60	0,5592	4,3088	86,1769	17,6400	16,9914
75	0,5307	4,0900	81,8000	22,0169	21,2075
90	0,5027	3,8745	77,4892	26,3277	25,3597
105	0,4574	3,5262	70,5246	33,2923	32,0683
120	0,4267	3,2902	65,8031	38,0138	36,6162
135	0,3799	2,9303	58,6062	45,2108	43,5486
150	0,3467	2,6747	53,4938	50,3231	48,4729
165	0,3035	2,3421	46,8415	56,9754	54,8806
180	0,2557	1,9742	39,4846	64,3323	61,9671

Tabel 4.23 Standar Sistem alir dengan waktu 5 jam

Standar (ppm)	Absorbansi
1	0,1319
2	0,2564
3	0,3926
4	0,5212
5	0,6487

Tabel 4.24 Sistem alir dengan waktu 5 jam

Waktu	A	C ₁	C ₂	C ₃	% konversi
0	0,6958	5,3417	106,8336	0	0
15	0,6842	5,2537	105,0733	1,7603	1,6477
30	0,6794	5,2164	104,3282	2,5053	2,3451
45	0,6615	5,0798	101,5954	5,2382	4,9031
60	0,6561	5,0392	100,7832	6,0504	5,6634
75	0,6363	4,8880	97,7603	9,0733	8,4929
90	0,6069	4,6634	93,2687	13,5649	12,6972
105	0,5733	4,4071	88,1420	18,6916	17,4960
120	0,5427	4,1731	83,4626	23,3710	21,8761
135	0,4990	3,8394	76,7878	30,0458	28,1239
150	0,4429	3,4115	68,2305	38,6031	36,1338
165	0,3815	2,9430	58,8595	47,9740	44,9054
180	0,3293	2,5440	50,8809	55,9527	52,3737
195	0,2738	2,1208	42,4168	64,4168	60,2964
210	0,2323	1,8036	36,0718	70,7618	66,2356
225	0,1904	1,4837	29,6748	77,1588	72,2233
240	0,1406	1,1035	22,0702	84,7634	79,3415
255	0,0976	0,7758	15,5160	91,3176	85,4764
270	0,0556	0,4549	9,0977	97,7359	91,4842
285	0,0292	0,2535	5,0702	101,7634	95,2541
300	0,0146	0,1422	2,8443	103,9893	97,3377

Tabel 4.25 Standar Isoterm adsorpsi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0,1210
2	0,2451
3	0,3685
4	0,4913
5	0,6135

Tabel 4.26 Fenol dalam aquades

m(gr)	C mula2 (ppm)	C setimbang (ppm)	C teradsorpsi	x (mg)	x/m (mg/gr)
1,0388	10,0049	4,0341	5,9707	1,4927	1,4369
1,0038	21,6260	12,1642	9,4618	2,3654	2,3565
1,0301	32,8797	19,4033	13,4764	3,3691	3,2707
1,0295	44,3935	29,2732	15,1203	3,7801	3,6718
1,0271	55,4862	41,5545	13,9317	3,4829	3,3910

Tabel 4.27 Fenol dalam NaCl 1%

m (gr)	C mula2(ppm)	C setimbang (ppm)	C teradsorpsi	x(mg)	x/m (mg/g)
1,0016	9,8423	3,7951	6,0472	1,5118	1,5094
1,0304	21,6569	10,9577	10,6992	2,6748	2,5959
1,0409	34,4878	20,2163	14,2715	3,5679	3,4277
1,0574	45,6488	29,7789	15,8699	3,9675	3,7521
1,0360	56,2293	42,5317	13,6976	3,4244	3,3054

Keterangan tabel :

A = Absorbansi

C_1 = konsentrasi terukur pada UV-Vis

C_2 = konsentrasi fenol dalam larutan $\rightarrow C_2 = C_1 \times f_p$

C_3 = konsentrasi fenol terdegradasi

f_p = faktor pengenceran (20x)

m = massa arang (gram)

x = jumlah larutan fenol yang teradsorpsi dalam arang (mg)

t = waktu perlakuan larutan tiap teknik

% konversi = $\frac{\text{konsentrasi fenol menit ke 0} - \text{konsentrasi fenol menit ke n}}{\text{Konsentrasi fenol menit ke 0}} \times 100\%$

Konsentrasi fenol menit ke 0

