

**KOMBINASI TEKNIK ELEKTROLISIS DAN TEKNIK ADSORPSI
MENGUNAKAN KARBON AKTIF UNTUK MENURUNKAN
KONSENTRASI SENYAWA FENOL DALAM AIR**

RATNA KHAIRUNISA

0304030448



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN KIMIA
DEPOK
2008**

**KOMBINASI TEKNIK ELEKTROLISIS DAN TEKNIK ADSORPSI
MENGUNAKAN KARBON AKTIF UNTUK MENURUNKAN
KONSENTRASI SENYAWA FENOL DALAM AIR**

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

Oleh:

RATNA KHAIRUNISA

0304030448



DEPOK

2008

SKRIPSI : KOMBINASI TEKNIK ELEKTROLISIS DAN TEKNIK
ADSORPSI MENGGUNAKAN KARBON AKTIF UNTUK
MENURUNKAN KONSENTRASI SENYAWA FENOL DALAM
AIR

NAMA : RATNA KHAIRUNISA

NPM : 0304030448

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2008

Ir. Widyastuti Samadi M.Si

PEMBIMBING I

Dr. Ivandini Tribidasari A

PEMBIMBING II

Tanggal lulus Ujian Sidang Sarjana :

Penguji I :

Penguji II :

Penguji III :

Ya Allah Ya Tuhanku ...

Pasrahkanlah aku dengan TakdirMu

Sesungguhnya apa yang telah Engkau takdirkan

adalah yang terbaik buatku

Karena Engkau Maha Mengetahui

Segala yang terbaik buat hambaMu ini

Ya Allah ...

Cukuplah Engkau saja yang menjadi Pemeliharaaku

Di Dunia dan Di Akhirat

Tuk Yang Selalu dihati

Kedua Orang Tuaku, Keluargaku, dan

Semua Orang Yang Selalu Mendukungku

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis persembahkan pada Allah SWT, Tuhan semesta alam yang dengan seluruh kekuasaan, kehendak, kasih sayang, dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya dan kepada Rasulullah SAW yang telah menjadi suri tauladan yang benar-benar sempurna selama ini.

Terima kasih yang teramat besar penulis ucapkan kepada orang-orang istimewa bagi penulis, kedua orang tuaku tersayang (terutama mama) yang telah berkorban begitu besar bagi penulis dalam hal apapun, yang mengajarkan kesabaran, arti hidup, dan semangat yang sangat berarti bagi penulis. Kepada Bang Azis, A'Aroel, Heni, Awah, Ipin, dan Ade serta kakak ipar dan keponakanku Sinta, Nadia, Aulia, Audrey, dan Nayla yang selalu memberikan semangat baru dan bantuan bagi penulis.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ir. Widyastuti Samadi M.Si selaku pembimbing I dan selaku koordinator bidang pendidikan atas bantuannya selama penelitian dan penyusunan skripsi yang sangat berarti bagi penulis. Kepada Dr. Ivandini TA selaku pembimbing II yang juga telah banyak membantu penulis selama ini. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih kepada Dr. Ridla Bakri M.Phil selaku Ketua Departemen Kimia FMIPA UI, Dra. Tresye Utari M.Si selaku koordinator bidang penelitian, Drs.Sunardi selaku pembimbing akademis, dan seluruh dosen-dosen yang selama ini telah mengajarkan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Pada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam pengukuran hasil penelitian, Pak Eko (TGP UI) untuk bantuannya dalam pengukuran COD dan orang-orang afiliasi (Kak Puji, Kak Roy, Rasyid, dan yang lain) untuk bantuannya dalam penggunaan spektrofotometer UV-Vis.

Kepada Pak Hedi, Mbak Ina, Mbak Cucu, Mba Emma, Mba Tri, Pak Kiri, Pak Amin, Pak Trisno, Pak Marji, Pak Soleh, dan seluruh staf departemen Kimia yang telah banyak membantu. Untuk sahabat-sahabatku : Ami, Atri, Ari, Atul, Nur, Farida, Nathgun, Opik, Berni, Hamim, Lanny, Mba Isti, Kak Dina, Kak Santi, Kak Novena, Imah, QQ, Fitri, Tya, Lindi, Kurnia, Wakhid, Eka, Vero, Irwan, Uthe, Danar, Niezha, Isal, Tina, kak Ricky, Kak Vera, Kak dewi, Mba Laili, Kak Upi, Kak Yuni, dan anak-anak K'04 lainnya yang telah berbagi suka dan duka selama 4 tahun ini. Untuk Kak Irwan, Kak Kresnu, dan Iman terima kasih atas bantuannya memberikan solusi terhadap masalah hasil penelitian yang diperoleh penulis.

Kepada guru-guru dan sahabatku di MI Miftahul Falah, SMPN 48, dan SMUN 47 Jakarta yang telah memberikan warna berbeda bagi hidup penulis.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang membutuhkannya dan besar harapan penulis agar penelitian ini dapat bermanfaat serta terus berkembang untuk masa yang akan datang.

Depok, Juli 2008

Penulis

ABSTRAK

Usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan karbon aktif pada penurunan konsentrasi fenol dalam air dilakukan dengan memberikan perlakuan elektrokimia. Perbandingan antara teknik adsorpsi dengan karbon aktif, teknik oksidasi elektrokimia pada elektrode Pt, dan kombinasi keduanya dilakukan untuk mengamati perbedaan diantara ketiganya pada kondisi optimum. Optimasi yang diperoleh dengan teknik adsorpsi berupa waktu kontak adsorben (karbon aktif) dengan adsorbat larutan fenol dalam air selama 60 menit dan larutan fenol dalam NaCl 0,1 M selama 45 menit, serta jumlah karbon aktif untuk mengadsorpsi larutan fenol sebesar 1 gram. Pada teknik oksidasi optimasi yang diperoleh berupa potensial 5 V yang diberikan pada sel elektrokimia. Hasil optimasi yang didapat pada teknik adsorpsi dan oksidasi digunakan juga pada teknik kombinasi. Dengan menggunakan kondisi optimum, konsentrasi fenol pada teknik adsorpsi dapat diturunkan hingga 29,72%; pada teknik oksidasi 36,02%; dan pada teknik kombinasi 50,58%. Hasil yang sama juga diperoleh untuk nilai COD fenol yang mengalami penurunan hingga 19,73% (adsorpsi); 12,21% (oksidasi); dan 11,37% (kombinasi). Penurunan konsentrasi fenol dan COD diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Kata kunci : Adsorpsi; karbon aktif; fenol; oksidasi elektrokimia; teknik kombinasi.

xiv + 78 hlm. ; gbr.; tab; lamp.

Bibliografi : 30 (1984-2008)

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karbon aktif	4
2.1.1 Proses pembuatan Karbon Aktif	4
2.1.2 Karbon aktif sebagai adsorben	5
2.2 Adsorpsi	7
2.3 Isoterm adsorpsi	8
2.4 Elektrokimia	10
2.4.1 Pengertian elektrokimia	10
2.4.2 Distribusi muatan pada antar muka	10
2.4.3. Sel elektrolisis	11
2.4.4 Elektroda	12

2.4.5	Elektrolit	14
2.6	Fenol	15
2.7	Spektrofotometer UV/Vis	16
2.8	Chemical Oxygen Demand (COD)	18
BAB III.	RANCANGAN PERCOBAAN	20
3.1	Alat	20
3.2	Bahan	20
3.3	Cara kerja	21
3.3.1	Pembuatan larutan pereaksi	21
3.3.1.1	Pembuatan larutan stok fenol 1000 ppm	21
3.3.1.2	Pembuatan pereaksi fenol dengan metode 4-amino antipirin	21
	➤ Larutan NH_4OH 0,5 N	21
	➤ Buffer fosfat pH 6,8	22
	➤ Larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 8% (b/v)	22
	➤ Larutan 4-amino antipirin 2% (b/v)	22
3.3.2	Teknik adsorpsi	22
3.3.2.1	Penentuan waktu adsorpsi	22
	➤ Larutan fenol	22
	➤ Larutan fenol + NaCl 0,1 M	23
3.3.2.2	Penentuan jumlah karbon aktif optimum	23
	➤ Larutan fenol	23

➤ Larutan fenol + NaCl 0,1 M	24
3.3.3 Teknik oksidasi elektrokimia	24
3.3.3.1 Penentuan voltase optimum	25
3.3.4 Teknik kombinasi adsorpsi karbon dan oksidasi elektrokimia	25
3.3.5 Penentuan senyawa fenol	26
3.3.5.1 Penentuan fenol dalam filtrat dengan metode 4-aminoantipirin	26
3.3.5.2 Penentuan COD fenol (metode <i>colormetri-close reflux</i>)	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Penentuan serapan maksimum fenol	28
4.2 Teknik adsorpsi	29
4.2.1 Penentuan waktu kontak optimum	29
4.2.2 Penentuan jumlah karbon optimum	32
4.2.3 Penentuan jenis isoterm adsorpsi	33
4.2.3.1 Uji isoterm Freundlich dan Langmuir untuk larutan fenol	35
4.2.3.2 Uji isoterm Freundlich dan Langmuir untuk larutan fenol dalam NaCl 0,1 M	37
4.3 Teknik oksidasi elektrokimia	38
4.4 Teknik kombinasi adsorpsi dan oksidasi	42

4.5	Perbandingan penurunan konsentrasi pada teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi	44
4.6	Pengukuran COD (Chemical Oxygen Demand)	46
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
	DAFTAR PUSTAKA	53



DAFTAR GAMBAR

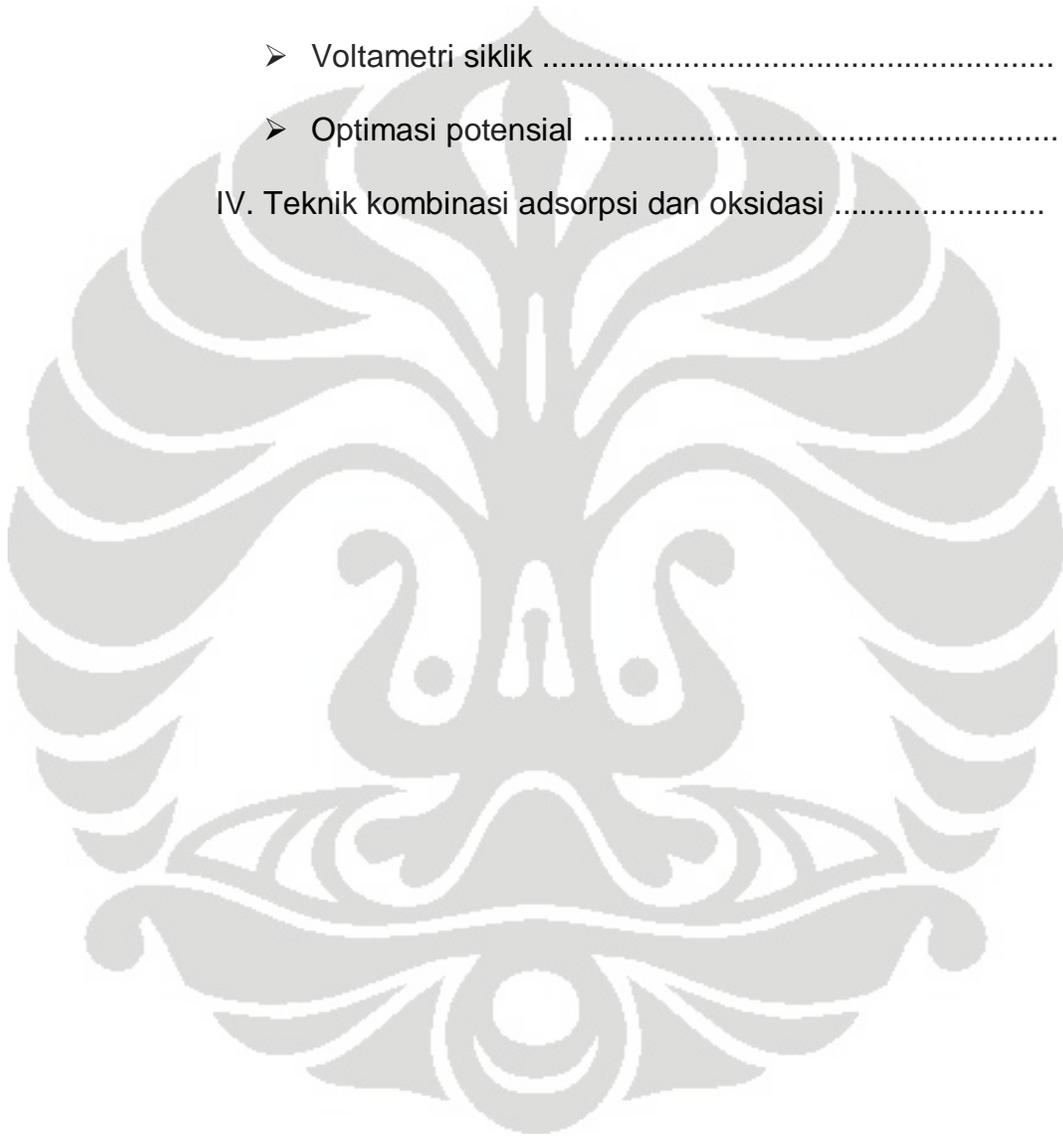
	Halaman
Gambar 2.1	Pori-pori karbon aktif 5
Gambar 2.2	Adsorpsi pada Karbon Aktif 8
Gambar 2.3	Lapisan ganda listrik 11
Gambar 2.4	Struktur fenol 15
Gambar 2.5	Struktur ion fenolat 16
Gambar 2.6	Rangkaian spektrofotometer UV-Vis 18
Gambar 3.1	Sistem teknik adsorpsi 24
Gambar 3.2	Sistem teknik elektrolisis 25
Gambar 3.3	Sistem teknik kombinasi 26
Gambar 4.1	Degradasi warna larutan standar fenol 28
Gambar 4.2	Kurva serapan maksimum fenol 29
Gambar 4.3	Kurva waktu optimum adsorpsi larutan fenol 30
Gambar 4.4	Kurva waktu optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M 31
Gambar 4.5	Kurva variasi jumlah karbon aktif adsorpsi larutan fenol 33
Gambar 4.6	Kurva variasi jumlah karbon aktif pada adsorpsi larutan fenol + larutan fenol 0,1 M 33
Gambar 4.7	Kurva perbandingan isoterm adsorpsi 34
Gambar 4.8	Kurva isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir larutan fenol 36

Gambar 4.9	Kurva isotherm adsorpsi Freundlich dan Langmuir larutan fenol + NaCl 0,1 M	37
Gambar 4.10	Bentuk adsorpsi molekul pada karbon aktif	38
Gambar 4.11	Kurva voltametri siklik larutan fenol	39
Gambar 4.12	Reaksi degradasi fenol	39
Gambar 4.13	Kurva penentuan potensial optimum larutan fenol	42
Gambar 4.14	Kurva teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi) pada kondisi optimum	43
Gambar 4.15	Kurva teknik adsorpsi dan oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	44
Gambar 4.16	Kurva perbandingan % konversi adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	45
Gambar 4.17	Kurva COD standar	47
Gambar 4.18	Kurva COD larutan fenol + NaCl 0,1 M teknik adsorpsi, elektrolisis, dan teknik kombinasi	48
Gambar 4.19	Kurva perbandingan % konversi COD teknik adsorpsi, oksidasi, dan teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	49
Gambar 4.20	Reaksi elektropolimerisasi fenol	57
Gambar 4.21	Reaksi pembentukan ion fenolat	58
Gambar 4.22	Kurva standar penentuan waktu optimum adsorpsi larutan fenol	58

Gambar 4.23	Kurva standar penentuan waktu optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	58
Gambar 4.24	Kurva standar penentuan jumlah karbon optimum adsorpsi larutan fenol	59
Gambar 4.25	Kurva standar penentuan jumlah karbon optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	59
Gambar 4.26	Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol ...	59
Gambar 4.27	Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	60
Gambar 4.28	Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol	60
Gambar 4.29	Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	60
Gambar 4.30	Kurva standar penentuan voltase optimum pada elektrolisis 4V larutan fenol + NaCl 0,1	61
Gambar 4.31	Kurva oksidasi 4V larutan fenol + NaCl 0,1 M	61
Gambar 4.32	Kurva standar penentuan voltase optimum pada elektrolisis 5V larutan fenol + NaCl 0,1 M	61
Gambar 4.33	Kurva oksidasi 5V larutan fenol + NaCl 0,1 M	62
Gambar 4.34	Kurva standar teknik kombinasi adsorpsi dan oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada kondisi optimum	62
Gambar 4.35	Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	62

Gambar 4.36	Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	63
Gambar 4.37	Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	63
Gambar 4.38	Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	63
Gambar 4.39	Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	64
Gambar 4.40	Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	64
Gambar 4.41	Jenis elektroda platina yang digunakan	64
Gambar 4.42	Rangkaian sel elektrokimia yang digunakan	65
Gambar 4.43	Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu pengukuran konsentrasi dan COD fenol	65
Gambar 4.44	Contoh warna larutan fenol + metode 4-amino antipirin untuk pengukuran fenol dengan spektrofotometer UV-Vis pada ketiga teknik	65
Gambar 4.45	Jenis reagen COD Hanna instrument (<i>LR reagent = Low Range Reagent</i> 0-150 ppm)	66
Gambar 4.46	Alat COD digester block	66
Skema kerja		75
	I. Penentuan serapan maksimum fenol	75
	II. Teknik adsorpsi	75

➤ Optimasi waktu kontak	75
➤ Optimasi jumlah karbon aktif	76
➤ Isoterm adsorpsi	76
III. Teknik oksidasi	77
➤ Voltametri siklik	77
➤ Optimasi potensial	77
IV. Teknik kombinasi adsorpsi dan oksidasi	78



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1	Serapan maksimum larutan fenol	67
Tabel 4.2.	Standar penentuan kondisi optimum : waktu dan jumlah karbon larutan fenol waktu dan jumlah karbon larutan fenol + NaCl 0,1 M	67
Tabel 4.3.	Penurunan konsentrasi larutan fenol pada penentuan waktu optimum	67
Tabel 4.4	Penurunan konsentrasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada penentuan waktu optimum	68
Tabel 4.5	Penurunan konsentrasi larutan fenol pada penentuan jumlah karbon optimum	68
Tabel 4.6	Penurunan konsentrasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada penentuan jumlah karbon optimum	68
Tabel 4.7	Standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol dan larutan fenol + NaCl 0,1 M	69
Tabel 4.8	Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol	69
Tabel 4.9	Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol + NaCl 0,1 M	69
Tabel 4.10	Isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol (a) dan larutan fenol + NaCl 0,1 M (b)	70
Tabel 4.11	Standar penentuan voltase optimum 4V (a), 5V (b) larutan fenol + NaCl 0,1 M	70
	Keterangan tabel	70

Tabel 4.12 Perbandingan teknik elektrolisis/oksidasi variasi voltase larutan fenol + NaCl 0,1 M dengan potensial 4V dan 5V	71
Tabel 4.13 Standar teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi)	71
Tabel 4.14 Teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	71
Tabel 4.15 Teknik elektrolisis/oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	72
Tabel 4.16 Teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	72
Tabel 4.17 Kalibrasi standar untuk penentuan nilai COD sampel	72
Tabel 4.18 Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M	73
Tabel 4.19 Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik elektrolisis/oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	73
Tabel 4.20 Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M	73
Keterangan tabel	74

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenaikan pencemaran air saat ini sangat mempengaruhi kehidupan manusia dan lingkungan terutama dalam penggunaan air bersih dan sehat yang semakin lama semakin menurun kuantitasnya. Pencegahan pencemaran air dapat dilakukan dengan mengurangi konsentrasi limbah atau air yang tercemar dengan mengolah air limbah tersebut menjadi air yang dapat digunakan kembali oleh makhluk hidup dan lingkungan. Limbah yang terdapat di perairan dapat berupa limbah organik maupun anorganik. Tanpa adanya penanganan limbah yang memadai, pencemaran lingkungan dapat mengancam kelangsungan hidup manusia.

Fenol dan turunannya merupakan salah satu limbah organik yang keberadaannya didalam air perlu dipantau, karena senyawa ini termasuk dalam kategori limbah B-3 (Bahan Beracun Berbahaya). Limbah ini dihasilkan oleh industri kokas, kayu, bahan-bahan logam, dan petroleum. Kandungan fenol dalam limbah industri dapat menjadi sumber pencemar yang serius bila masuk ke dalam suatu lingkungan perairan. Standar maksimal kadar fenol dalam limbah industri yaitu sebesar 1 ppm. ¹

Indikator pencemaran air dapat berupa COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Dalam pengujian BOD maupun COD dilakukan pengukuran efek kontaminasi limbah terhadap

pelepasan oksigen relatif. Keduanya telah begitu luas digunakan sebagai pengukur efek polusi, terutama polusi air. Pada uji BOD dilakukan pengukuran kebutuhan oksigen polutan *biodegradable*. Sedangkan uji COD meliputi pengukuran kebutuhan oksigen polutan *biodegradable* dan *non-biodegradable*.²

Salah satu cara pengelolaan limbah organik yaitu dengan 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 pengadsorpsi (adsorben) karena memiliki energi adsorpsi rendah, luas permukaan spesifik tinggi, dan distribusi pori-pori yang merata. Karbon aktif tersedia dalam berbagai ukuran pori dan mempunyai bentuk mikropori, mesopori, dan makropori. Karbon aktif mempunyai kemampuan mengadsorpsi sampai dengan 50 % dari massa karbon.

Teknik elektrokimia dengan cara elektrolisis untuk penanganan limbah senyawa organik dapat menghasilkan dekomposisi sempurna senyawa organik, menghasilkan produk akhir CO₂ dan H₂O yang dinilai lebih aman karena bebas dari polusi produk sampingan. Selanjutnya kombinasi teknik elektrokimia dan adsorpsi konvensional dengan karbon aktif telah dicoba secara simultan dan dilaporkan dapat meningkatkan efisiensi penurunan jumlah limbah senyawa fenol.^{3,4,5} Pada penelitian ini akan dicoba untuk mengkombinasikan teknik adsorpsi karbon aktif dan teknik oksidasi secara elektrokimia dengan elektroda platina pada kondisi optimum kedua teknik.

Kondisi optimum yang akan diamati berupa banyaknya jumlah karbon yang digunakan, waktu, dan potensial. Untuk melihat efektifitas penurunan konsentrasi fenol dengan teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi keduanya maka dilakukan pengukuran nilai COD fenol. Nilai konsentrasi dan COD fenol diukur menggunakan spektrofotometer sinar tampak (UV-Vis).

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Menentukan kondisi optimum teknik adsorpsi karbon aktif dan teknik oksidasi secara elektrokimia senyawa fenol dalam air.
- Menggunakan hasil optimasi yang diperoleh untuk teknik kombinasi adsorpsi dan elektrolisis untuk menurunkan senyawa fenol dalam air.
- Membandingkan nilai % konversi penurunan konsentrasi fenol dalam air dengan menggunakan teknik adsorpsi, teknik oksidasi secara elektrokimia, dan gabungan kedua teknik.
- Membandingkan % konversi COD dengan % konversi penurunan konsentrasi senyawa fenol untuk melihat apakah ada produk intermediet yang terbentuk pada teknik kombinasi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

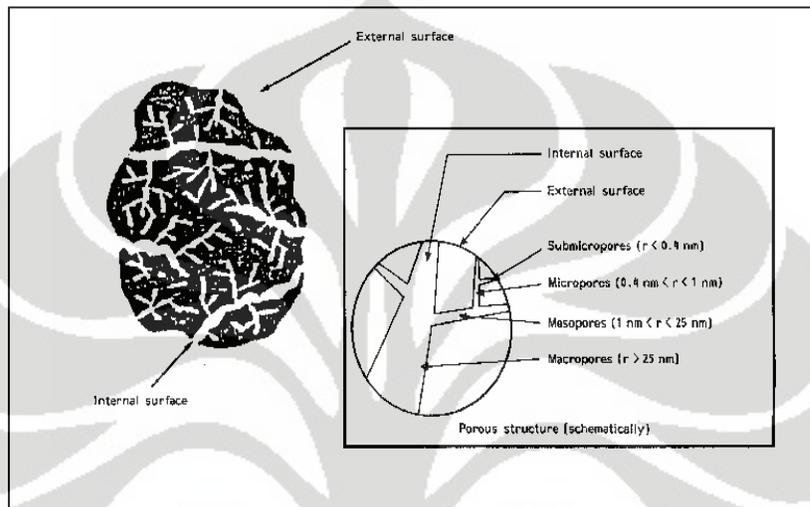
Karbon aktif adalah bahan padat berpori yang berwarna hitam sebagai hasil pembakaran tidak sempurna dalam bentuk granular atau bubuk dan mempunyai luas permukaan besar yaitu 500-1400 m²/g. Sedangkan menurut Gotz (1953) karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan sehingga pori-porinya lebih terbuka dan permukaannya menjadi lebih luas dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih besar.^{6,7}

Bahan baku yang berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, limbah, ataupun mineral yang mengandung karbon dapat dibuat menjadi karbon aktif, antara lain : tulang, kayu lunak, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras, dan batubara. Kualitas dari karbon aktif sangat dipengaruhi oleh bahan dasar yang digunakan, cara pembuatannya, dan pengaktif yang digunakan selama proses pembuatan.^{8,9}

2.1.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dibuat melalui proses pirolisis bahan dasar dengan penambahan zat pengaktif seperti ZnCl₂ atau H₃PO₄ yang diikuti dengan karbonisasi dan proses aktivasi. Pirolisis dilakukan dengan pemanasan secara perlahan-lahan dalam keadaan inert pada suhu 800°C -1000 °C.

Aktivasi adalah proses yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori karbon. Metode yang biasa digunakan untuk mengaktifkan material terkarbonisasi adalah dengan menambahkan uap air dan CO_2 .¹⁰ Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan pori-pori karbon aktif.⁸



Gambar 2.1 Pori-pori karbon aktif

2.1.2 Karbon Aktif sebagai Adsorben

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang efektif digunakan dalam proses adsorpsi. Kemampuan adsorpsi dari karbon aktif disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- Sifat fisika dari karbon aktif

Sifat ini berhubungan dengan jumlah dan ukuran pori-pori yang dapat diisi oleh adsorbat. Setiap molekul akan mengisi pori-pori sesuai dengan ukurannya.

➤ Sifat kimia karbon aktif

Gugus pengaktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif dapat berinteraksi secara kimiawi dengan molekul organik. Adanya gaya van der Waals yang terdapat pada permukaan karbon aktif dan adsorbat memungkinkan terjadinya proses adsorpsi. Sifat kimia dari gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada karbon aktif dihasilkan pada saat dilakukan aktivasi.

➤ Jenis adsorbat

Adsorbat yang mudah berikatan dengan gugus-gugus pengaktif adalah adsorbat yang bersifat nonpolar. Oleh karena itu, molekul organik akan berikatan kuat dengan gugus-gugus pengaktif. Pada umumnya molekul organik yang mempunyai kelarutan kecil dalam air akan mudah untuk berikatan dengan gugus-gugus pengaktif.

➤ Suhu air

Proses adsorpsi akan bertambah besar apabila suhu air semakin rendah, sebab pada keadaan tersebut umumnya kelarutan suatu molekul akan berkurang sehingga akan semakin banyak yang molekul teradsorpsi. ¹⁰

➤ Waktu kontak

Waktu kontak antara karbon aktif dengan adsorbat sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak antara karbon aktif dengan adsorbat maka, semakin banyak adsorbat yang mengisi pori-pori karbon aktif. ¹¹

- Luas permukaan karbon aktif

Besar kecilnya permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka, semakin banyak adsorbat yang akan diadsorpsi.

- Konsentrasi adsorbat dan ukuran partikel dari karbon aktif

Semakin besar konsentrasi dan ukuran partikel adsorbat maka pori-pori karbon aktif akan lebih cepat terjenuhkan.¹⁰

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan gejala pengumpulan molekul-molekul dari suatu zat pada permukaan atau antarmuka dari zat yang melakukan kontak karena adanya gaya van der Waals. Zat yang menyerap disebut adsorben sedangkan zat yang diserap disebut adsorbat.¹⁰

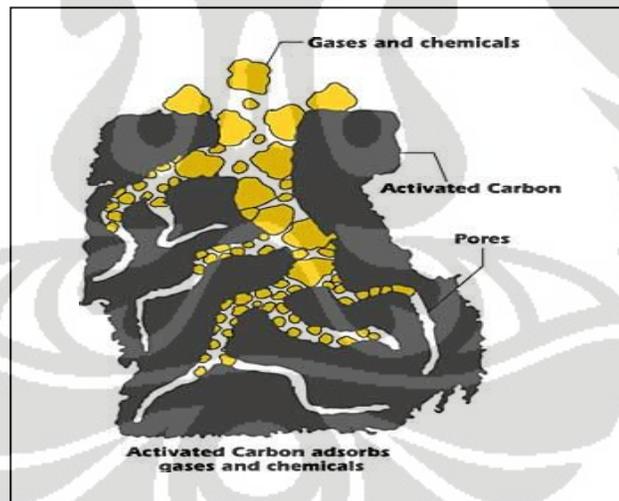
Adsorpsi terjadi karena setiap molekul pada permukaan mempunyai energi yang besar sehingga membentuk tegangan permukaan, akibatnya molekul pada permukaan mempunyai energi bebas yang lebih besar dibandingkan molekul dibawah permukaan. Molekul pada permukaan selalu berusaha mendapatkan energi bebas serendah mungkin maka, permukaan akan menyerap fasa yang tegangan permukaannya lebih rendah untuk menurunkan energi bebasnya.¹¹

Ukuran partikel biasanya berpengaruh pada kecepatan adsorpsi, tetapi bukan kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi berhubungan dengan luas permukaan dari karbon aktif.¹⁰

Adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika bersifat reversibel dengan interaksi yang lemah antara adsorben dan adsorbat. Gaya yang menyebabkan adsorpsi fisika dikenal sebagai gaya van der Waals. Lapisan yang terbentuk pada permukaan adsorben dapat berupa lapisan monolayer dan multilayer.¹⁰

Adsorpsi kimia mencakup pembentukan ikatan kimia. Pada adsorpsi kimia ikatan dapat sedemikian kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan lagi. Bentuk lapisannya biasanya monolayer. Pada adsorpsi fisika mempunyai energi yang lebih rendah yaitu 5–10 Kkal/ mol adsorbat, dibandingkan dengan adsorpsi kimia yaitu 10 -100 Kkal/ mol adsorbat.¹¹

Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan adsorpsi yang terjadi pada karbon aktif.



Gambar 2.2 Adsorpsi pada karbon aktif

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.¹⁰ Isoterm adsorpsi Langmuir mengacu pada adsorpsi monolayer yang diasumsikan bahwa tempat adsorpsi bersifat homogen, dengan persamaan :

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

dengan c : konsentrasi adsorbat pada keseimbangan (mg/ L)
x : jumlah adsorbet yang diadsorpsi oleh adsorben (mg, g)
m : berat adsorben (mg, g)
k₁, k₂ : konstanta¹¹

Hubungan antara jumlah massa adsorbat yang terserap oleh karbon aktif per massa karbon aktif pada kesetimbangan dapat ditunjukkan oleh persamaan Freundlich sebagai berikut :

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

dengan x : jumlah adsorbat pada permukaan (mg, g)
m : jumlah adsorben (mg, g)
C : konsentrasi pada keseimbangan (mg/ L)
k : konstanta daya adsorpsi
n : konstanta kehomogenan

Jadi x/m adalah nilai yang menggambarkan banyaknya adsorbat yang diadsorpsi per satuan berat adsorben jika adsorben berada dalam keseimbangan dengan konsentrasi adsorbat.¹¹

2.4 Elektrokimia

2.4.1 Pengertian Elektrokimia^{12,13}

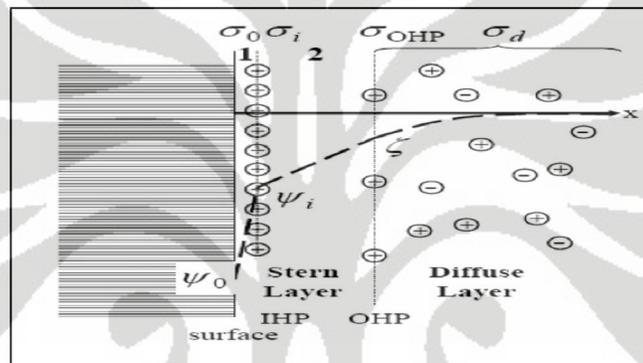
Elektrokimia adalah cabang dari ilmu kimia yang mempelajari reaksi kimia yang disebabkan adanya pengaruh energi listrik dan produksi energi listrik karena adanya reaksi kimia atau reaksi yang terjadi pada permukaan penghantar listrik (elektrode yang terbuat dari logam, semikonduktor, maupun grafit) dan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

Metode elektrokimia digunakan untuk menganalisis suatu 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.

2.4.2 Distribusi Muatan pada Antar Muka^{12,14,15}

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

menjadi relatif negatif. Model yang terbentuk akibat distribusi muatan diatas merupakan selapis muatan positif pada permukaan elektroda dan selapis muatan pada permukaan larutan yang disebut selapis ganda elektrik yang diajukan oleh Helmholtz. Pada model ini, menganggap bahwa sisi larutan dari sistem lapis ganda terdiri dari beberapa lapis. Model ini mengabaikan efek gangguan gerakan termal yang cenderung merusak bidang muatan tersebut. Gambar 2.3 menunjukan lapisan ganda pada sel elektrolisis.



Gambar 2.3 Lapisan ganda listrik

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

2.4.3 Sel Elektrolisis ^{13,14,15}

Sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang bersifat tidak spontan, yaitu sel yang perlu diberikan sumber arus dari luar untuk menghasilkan

reaksi kimia didalamnya. Pada sel elektrolisis terjadi reaksi redoks dimana terjadi transfer elektron dari satu zat ke zat lain. Sebuah reaksi redoks dapat dibagi menjadi dua setengah reaksi. Setengah reaksi yang pertama menyatakan reaksi oksidasi, sedangkan setengah reaksi yang kedua menyatakan reaksi reduksi. Keduanya berlangsung pada elektrode yang berbeda (anoda dan katoda) dalam suatu kompartemen.

2.4.4 Elektroda

Elektroda adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia. Pada rangkaian sel elektrokimia, elektroda terbagi menjadi 2 bagian, yaitu :

- Katoda

Katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, di mana terjadi penangkapan dan perpindahan elektron dari elektroda ke larutan.



- Anoda

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



Terdapat beberapa macam elektroda yaitu :

➤ Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya cukup konstan dan dipakai sebagai elektroda pengontrol terhadap potensial elektroda lainnya didalam sel elektrokimia. Nilai dari elektroda pembanding adalah konstan, sehingga setiap perubahan potensial pada elektroda pembanding dianggap berasal dari elektroda kerja. Elektroda pembanding harus memiliki syarat stabil terhadap waktu dan temperatur, dapat digunakan berulang kali, tidak terpolarisasi, dan pembuatannya mudah. Contoh elektroda pembanding adalah elektroda Ag/AgCl, Hg/Hg₂Cl₂, *standard hydrogen electrode* (SHE), atau *pseudo-reference* (kawat Pt, Ag).^{12,14,15}

➤ Elektroda Kerja

Elektroda kerja merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati. Elektroda kerja harus menghasilkan transfer elektron yang cepat. Elektroda ini umumnya terbuat dari logam, bahan semikonduktor, dan karbon. Elektroda logam yang umum digunakan adalah platina, emas, perak, maupun elektroda cair merkuri tetes. Sedangkan elektrode semikonduktor yang umum digunakan adalah Si dan Ga. Elektroda karbon terdiri atas beberapa jenis yaitu karbon pasta glassy carbon, dan grafit.^{12,14,15}

➤ 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.¹⁶

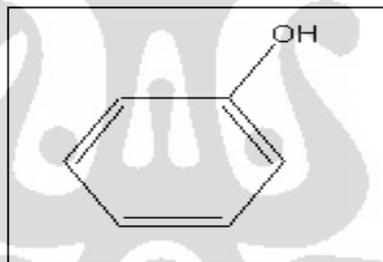
2.4.5 Elektrolit

Elektrolit adalah pelarut atau substansi yang mempunyai sifat dapat menghantarkan arus listrik (konduktor) dengan memiliki ion bebas yang berfungsi sebagai media penghantar elektron.¹² Sifat konduktif dari larutan elektrolit terjadi apabila garam dilarutkan dalam air dan mengalami disosiasi menghasilkan ion-ion bebas yang dapat menghantarkan arus listrik bergerak untuk menetralkan muatan pada larutan yang mengalami polarisasi sebagai akibat adanya reaksi redoks sehingga reaksi tetap berjalan.

Elektrolit terbagi menjadi dua yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Perbedaannya terletak pada kemampuan untuk menghantarkan arus listrik karena kemampuannya untuk terionisasi dalam air. Pada elektrolit kuat senyawa atau molekul yang dilarutkan dalam air akan terionisasi sempurna sehingga akan dapat menghantarkan listrik dengan baik. Sedangkan dalam elektrolit lemah, molekul yang di larutkan 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.¹⁷

2.5 Fenol¹⁸

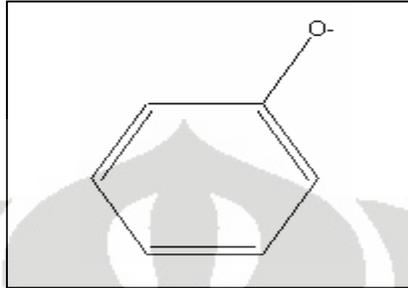
Fenol merupakan senyawa organik yang memiliki gugus hidroksil tersubstitusi pada inti aromatik, berbentuk kristal dan tidak berwarna dengan berat molekul 94,11 (g/mol), titik leleh 43 °C, dan titik didih 182 °C. Fenol mempunyai bau yang tajam, bersifat racun terhadap pernafasan dan menyebabkan iritasi pada kulit, terutama pada jaringan tubuh. Larutan fenol di dalam air akan membentuk *partially miscible*, yaitu larutan yang pada lapisan atasnya kaya akan air sedangkan lapisan bawahnya kaya akan fenol. Selain itu, fenol juga larut dalam pelarut organik seperti senyawa hidrokarbon aromatik, alkohol, eter, keton, asam, dan haloalkana. Gambar 2.4 menunjukkan struktur fenol dengan rumus molekulnya berupa C₆H₅OH.



Gambar 2.4 Struktur fenol

Sifat kimia senyawa fenol dipengaruhi oleh gugus hidroksil dan cincin aromatik. Keasaman fenol yang lebih besar daripada alkohol alifatik dapat dijelaskan dengan kestabilan resonansinya sebagai ion fenolat (gambar 2.5). Sepasang elektron bebas pada atom oksigen menyebabkan terjadinya resonansi pada cincin dan muatan negatif terdelokalisasi. Selain bersifat asam cincin aromatiknya reaktif menjalani reaksi substitusi elektrofilik.

Konstanta disosiasi fenol dalam air (K_a) sebesar $1,28 \times 10^{-10}$ pada tekanan 101,3 Pa. Fenol sangat sensitif sebagai zat pengoksidasi.



Gambar 2.5 Struktur ion fenolat

2.6 Spektrofotometer UV/Vis ^{14,19}

Spektrofotometri adalah suatu cara analisis yang didasarkan pada pengukuran intensitas sinar oleh spektrofotometer. Sinar yang digunakan adalah sinar yang mempunyai panjang gelombang tunggal (monokromatik). Hukum yang mendasari analisis ini adalah hukum Lambert-Beer yang menyatakan hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi, tebal media, dan sifat spesifik zat yang mengadsorpsi dengan persamaan :

$$A = - \log T = \log P_0/P$$

di mana :

- A = Absorbansi
- T = Transmittan
- P_0 = Besarnya radiasi yang masuk
- P = Besarnya radiasi yang diteruskan

Besarnya absorbansi suatu larutan sebanding dengan panjang larutan yang ditempuh oleh radiasi dan konsentrasi spesies yang mengadsorpsi, sehingga :

$$A = a \times b \times c$$

di mana :
A = Absorbansi
a = konstanta perbandingan dan disebut absorptivitas
b = tebal media dalam cm
c = konsentrasi dinyatakan dalam gr/L

Jika konsentrasi dinyatakan dalam mol/L dan tebal media dinyatakan dalam cm serta absorptivitas molarnya diberi tanda ϵ maka :

$$A = \epsilon \times b \times c$$

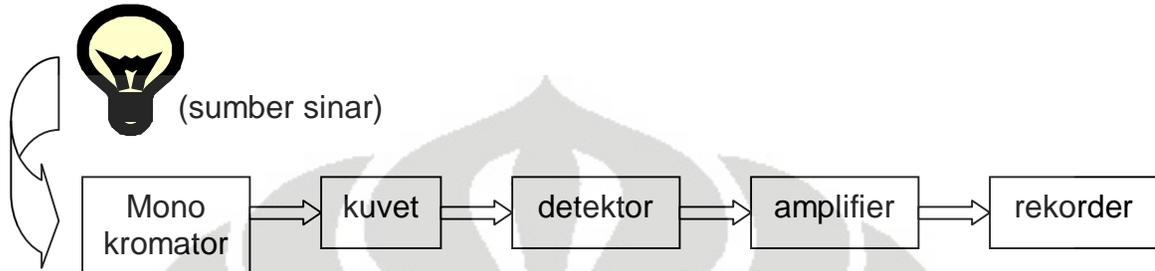
Penyinaran sinar UV/Vis dapat menyebabkan elektron dalam molekul tereksitasi ke tingkat orbital yang lebih tinggi. Setiap molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV/Vis karena molekul mempunyai elektron yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Panjang gelombang di mana absorpsi itu terjadi bergantung pada kekuatan elektron yang terikat dalam molekul tersebut. Dengan kata lain panjang gelombang berbanding terbalik dengan energi radiasi. UV/Vis biasanya beroperasi dari 200 nm sampai 1000 nm.

Bagian-bagian yang penting dalam alat spektrofotometer :

1. Sumber sinar
2. Monokromator
3. Tempat sampel (kuvet)
4. Detektor
5. Penguat arus

6. Rekorder

Bagian penting tersebut tergabung menjadi suatu rangkaian umum alat spektrofotometer seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian spektrofotometer UV-Vis

2.7 Chemical Oxygen Demand (COD)^{20,21,22}

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen kimiawi (KOK) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam 1 liter limbah, dengan $K_2Cr_2O_7$ sebagai sumber oksigen pengoksidasi. Nilai COD dinyatakan dalam milligram per liter (mg/L) atau ppm.

Hasil penetapan COD banyak digunakan untuk pengukuran beban pencemaran dari suatu air buangan rumah tangga dan buangan industri. Hasil penetapan ini menunjukkan kebutuhan oksigen total untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dalam contoh air menjadi CO_2 dan air dan merupakan informasi tambahan terhadap test BOD. Penetapan COD memerlukan waktu yang relatif lebih singkat. Hasil penetapan ini sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi kondisi toksik dan tentang adanya bahan-bahan organik yang *non-biodegradable*.

Ada beberapa metode dalam menganalisis nilai COD yaitu :

1. Titrimetri

a. Bikromat

- Refluks terbuka (*open reflux*)
- Refluks tertutup (*close reflux*)

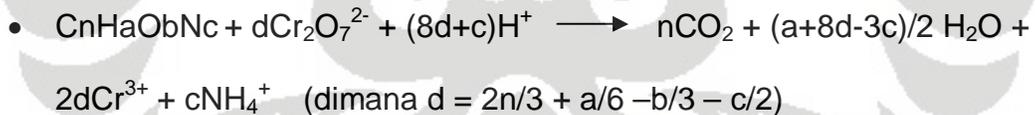
b. Permanganat

2. Spektrofotometri

3. COD analyzer

Prinsip penetapan COD dengan menggunakan oksidator $K_2Cr_2O_7$ adalah dengan cara penambahan oksidator dalam jumlah yang berlebih ke dalam contoh yang dipanaskan untuk menjamin agar semua bahan organik teroksidasi.

Reaksi dalam penetapan COD yaitu :



BAB 3

RANCANGAN PERCOBAAN

3.1 Alat

1. Reaktor elektrokimia
2. Elektroda Platina
 - a. Berbentuk spiral dengan panjang 2 cm, diameter lingkaran 1,7 cm, dan diameter kawat 1 mm (PT Antam Logam Mulia)
 - b. Berbentuk batang dengan panjang 100 mm dan diameter kawat 0,8 mm (The Nilaco Corporation Tokyo Ginza)
3. Magnetik stirer
4. Adaptor (penghasil potensial)
5. Timbangan analitik
6. pH-meter
8. Spektrofotometer UV/Vis
9. Potensiostat
10. *Furnace*
11. *COD Digester Block* ($T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)
12. Peralatan gelas

3.2 Bahan

1. Karbon aktif granular dari tempurung kelapa ukuran 8-10 mesh
2. Fenol, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

3. Larutan amonia, NH_4OH 25 % (0,91)
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. Kalium bikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
10. Kalium Hidrogen Pthalat, KHP
11. Larutan perak sulfat, Ag_2SO_4
12. Merkuri sulfat, HgSO_4

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Pembuatan larutan pereaksi

3.3.1.1 Pembuatan larutan stok fenol 1000 ppm

Sebanyak 1 gram fenol dilarutkan dengan air suling dalam gelas piala 100 mL, kemudian secara kuantitatif dipindahkan kedalam labu ukur 1 liter dan diencerkan sampai tanda batas, lalu disimpan didalam botol coklat tertutup. Larutan ini disebut larutan stok fenol.

3.3.1.2 Pembuatan pereaksi fenol – metode 4-amino antipirin

- Larutan NH_4OH 0,5 N

Sebanyak 1,9 mL larutan NH_4OH 25% dipindahkan kedalam labu 50 mL dan diencerkan dengan air suling sampai tanda batas, lalu disimpan didalam botol 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 sampai tanda batas.

- 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 sampai tanda batas. Larutan ini stabil selama satu minggu atau dapat disimpan dalam lemari es.

- Larutan 4-amino antipirin 2% (b/v)

Ditimbang 0,1 gram 4-aminoantipirin dan dilarutkan dengan air suling, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 5 mL dan diencerkan sampai tanda batas. Larutan ini dibuat segar setiap kali melakukan eksperimen atau dapat disimpan dalam lemari es.

3.3.2 Teknik Adsorpsi

Pada tahap ini sebanyak 50 ml larutan fenol 100 ppm akan diadsorpsi menggunakan karbon aktif (sebelumnya telah dipanaskan selama 45 menit pada suhu $140^\circ C$)²³ dengan variabel waktu dan jumlah karbon tertentu.

3.3.2.1 Penentuan waktu adsorpsi

- Larutan fenol

Larutan stok fenol diencerkan dengan aquades dalam labu 50 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. Larutan hasil adsorpsi dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditambah metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.

➤ Larutan fenol + NaCl 0,1 M

Larutan stok fenol ditambahkan dengan 0,2925 gram NaCl dan diencerkan hingga 50 ml sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 0,1M. Larutan fenol 100 ppm di adsorpsi menggunakan karbon aktif granular sebanyak 1 gram. Selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Larutan hasil adsorpsi dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditambah metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.

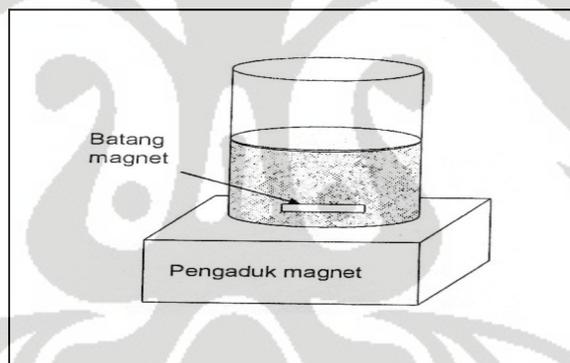
3.3.2.2 Penentuan jumlah karbon aktif optimum

➤ Larutan fenol

Larutan fenol 100 ppm diadsorpsi menggunakan karbon aktif granular sebanyak 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1; dan 1,2 gram dalam waktu adsorpsi optimum yang telah di capai pada prosedur 3.3.2.1. Selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Larutan hasil adsorpsi dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditambah metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.

➤ Larutan fenol + NaCl 0,1 M

Larutan stok fenol ditambahkan 0,585 gram NaCl kemudian diencerkan sampai 100 ml sehingga diperoleh larutan fenol 100 ppm dalam larutan NaCl 0,1M. Larutan fenol 100 ppm di adsorpsi menggunakan karbon aktif granular sebanyak 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1; dan 1,2 gram dalam waktu adsorpsi optimum yang telah di capai pada prosedur 3.3.2.1. Selama proses adsorpsi larutan diaduk dengan magnetik stirer. Larutan hasil adsorpsi dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditambah metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.



Gambar 3.1 Sistem teknik adsorpsi

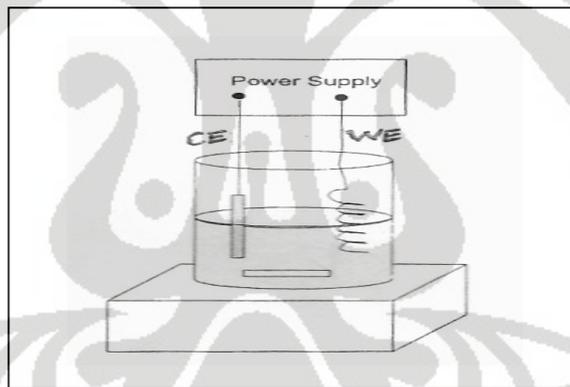
3.3.3 Teknik Oksidasi Elektrokimia

Teknik oksidasi elektrokimia dilakukan menggunakan sel elektrokimia dengan 2 elektroda. Elektroda Platina (Pt) berbentuk spiral sebagai elektroda kerja (WE = *Working Electrode*) dan elektroda Pt berbentuk batang sebagai elektroda pendukung (CE = *Counter Electrode*). Pada tahap ini, selama

reaksi berlangsung dilakukan pengadukan dengan kecepatan yang konstan (360 rpm).

3.3.3.1 Penentuan potensial optimum

Larutan fenol dengan konsentrasi awal 100 ppm dalam larutan elektrolit NaCl 0,1 M dioksidasi menggunakan sel elektrokimia yang telah dirancang dan selama reaksi larutan diaduk dengan magnetik stirrer. Potensial yang diberikan pada sel yaitu 4 dan 5 V. Larutan hasil elektrolisis dicuplik pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian ditambah metode 4-aminoantipirin. Selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.

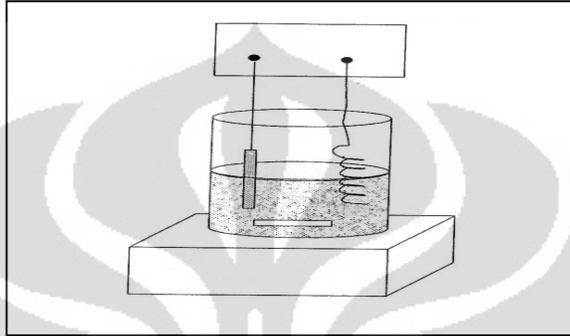


Gambar 3.2 Sistem teknik elektrolisis

3.3.4 Teknik Kombinasi Adsorpsi Karbon dan Oksidasi Elektrokimia

Larutan fenol dengan konsentrasi awal 100 ppm dalam larutan elektrolit NaCl 0,1 M dioksidasi menggunakan sel elektrokimia, sekaligus di adsorpsi menggunakan karbon aktif pada kondisi optimum yang telah diperoleh pada kedua teknik sebelumnya. Larutan hasil adsorpsi dicuplik

pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditambah metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 506 nm.



Gambar 3.3 Sistem teknik kombinasi

3.3.5 Penentuan Senyawa Fenol^{3,23}

4.3.5.1 Penentuan fenol dalam filtrat dengan metode 4-aminoantipirin

Kadar fenol dalam filtrat dapat ditentukan dengan menggunakan metode 4-aminoantipirin dengan prosedur kerja sebagai berikut : fenol/ filtrat yang mengandung fenol direaksikan dengan 0,25 mL NH_4OH lalu direaksikan dengan buffer fosfat sampai pH $7,9 \pm 0,1$. Selanjutnya direaksikan dengan 0,1 mL $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ dan 0,1 mL 4-aminoantipirin lalu dikocok. Selanjutnya larutan diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (506 nm).

3.3.5.3 Penentuan COD fenol (metode *colorimetric-close reflux*)

2 ml larutan sampel (murni atau hasil pengenceran) dimasukkan ke suatu reagen COD (merek *Hanna instrument*) range 0-150 ppm dalam suatu

tabung reaksi tertutup yang berisikan campuran $K_2Cr_2O_7$, Ag_2SO_4 , H_2SO_4 , dan $HgSO_4$. Selanjutnya tabung didigest pada alat COD digester block dengan suhu $150^\circ C$ selama 2 jam kemudian didinginkan pada suhu kamar.

Setelah dingin, larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang yang sesuai dengan range reagen yang digunakan yaitu 420 nm jika digunakan reagen COD yang rangenya 0-150 ppm (metode *low reflux*) dan 600 nm jika range reagen COD yang digunakan 150-1500 ppm (metode *high reflux*). Jika terdapat endapan maka perlu disentrifuge untuk memisahkan endapan dari larutan, kemudian diambil filtratnya untuk diukur. Langkah tersebut juga dilakukan untuk larutan standar COD (seperti KHP).

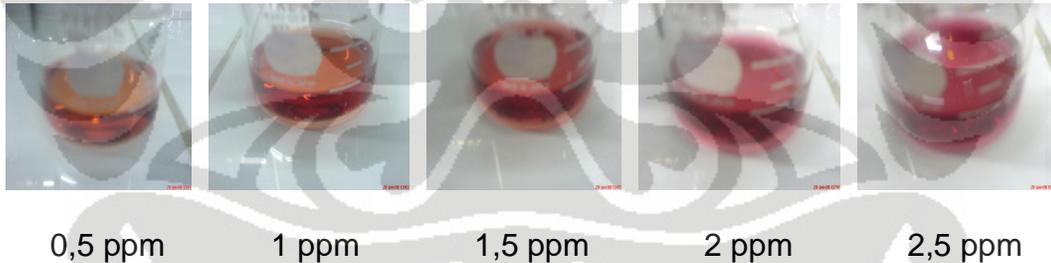
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Serapan Maksimum Fenol

Penentuan serapan maksimum senyawa fenol dilakukan pada berbagai konsentrasi larutan fenol. Sebanyak 10 ml larutan fenol dengan berbagai konsentrasi ditambah dengan NH_4OH , buffer fosfat, amino antipirin, dan kalium ferisianida sesuai dengan metode 4-aminoantipirin, sehingga terbentuk larutan berwarna merah yang kemudian diukur serapannya dengan spektrofotometer UV/Vis.

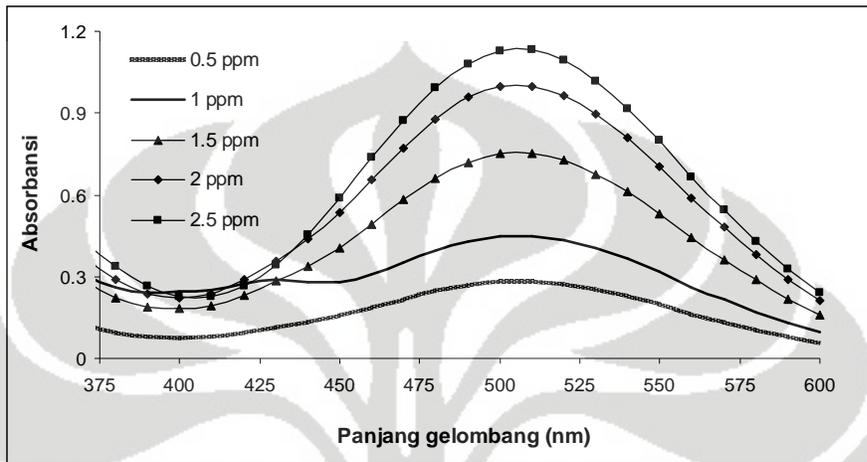
Gambar 4.1 menunjukkan contoh degradasi warna larutan standar fenol dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi dengan warna larutan yang semakin pekat yaitu dari warna orange menjadi warna merah tua.



Gambar 4.1 Degradasi warna larutan standar fenol

Hasil pengukuran serapan maksimum larutan fenol berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 506 nm. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa nilai serapan maksimum senyawa fenol dengan metode 4-amino antipirin berada pada

panjang gelombang $\pm 505 \text{ nm}$.²³ Panjang gelombang tersebut kemudian digunakan untuk setiap pengukuran absorbansi dan konsentrasi larutan fenol pada percobaan selanjutnya.



Gambar 4.2 Kurva serapan maksimum fenol

4.2 Teknik Adsorpsi

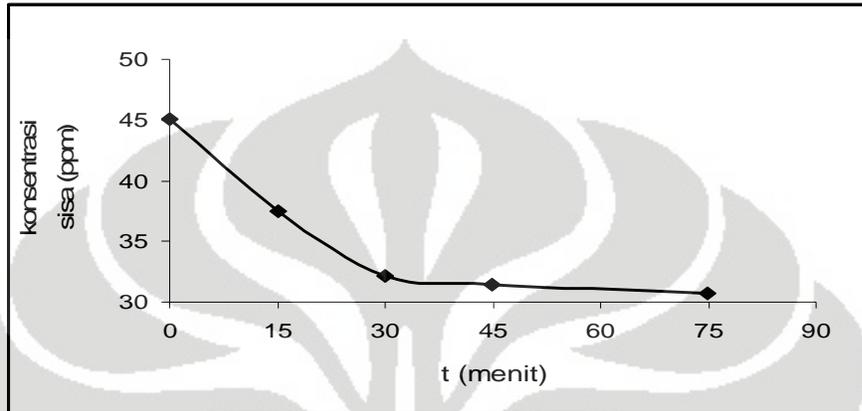
4.2.1 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu adsorpsi terhadap konsentrasi fenol yang teradsorpsi oleh karbon aktif. Waktu kontak optimum dimaksudkan sebagai waktu optimum yang diperlukan bagi pori-pori karbon aktif untuk mengadsorpsi sejumlah larutan fenol hingga proses adsorpsi fenol mencapai kesetimbangan yaitu keadaan di mana sudah tidak ada lagi fenol yang diadsorpsi oleh karbon aktif selama waktu kontakannya.³

Keadaan tersebut ditandai dengan kurva yang mendatar (landai) seiring dengan semakin lamanya waktu pengadsorpsian yang menunjukkan bahwa jumlah fenol yang diadsorpsi oleh 1 gram karbon aktif dengan disertai

pengadukan (stirer) pada kecepatan yang konstan 360 rpm sudah jenuh.

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan konsentrasi awal larutan fenol 100 ppm. Hasil ditunjukkan pada gambar 4.3 di bawah ini.

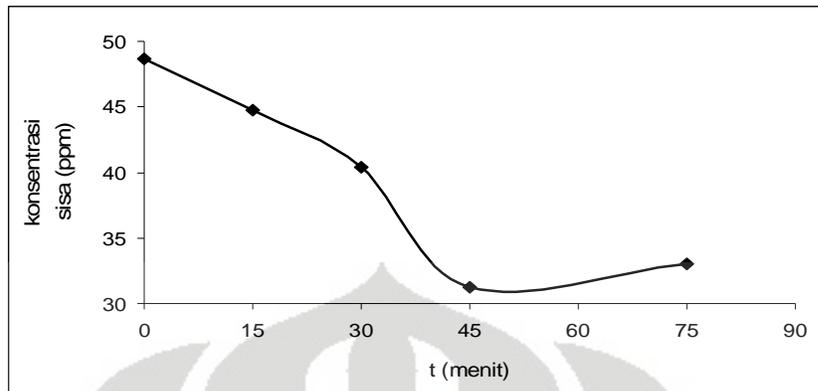


Gambar 4.3 Kurva waktu optimum adsorpsi larutan fenol

Berdasarkan gambar kurva tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama larutan fenol diadsorpsi oleh karbon aktif maka akan semakin banyak jumlah fenol yang terserap dalam pori-pori karbon aktif. Hasil penentuan waktu optimum yang diperoleh untuk larutan fenol yaitu 60 menit.

Selain pada larutan fenol, penentuan waktu optimum adsorpsi juga dilakukan pada larutan fenol + NaCl 0,1 M dengan konsentrasi awal larutan fenol 100 ppm. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 4.4.

Berdasarkan gambar kurva tersebut diperoleh hasil bahwa waktu optimum yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi untuk larutan fenol + NaCl 0,1 M adalah 45 menit. Perbedaan hasil waktu optimum antara adsorpsi larutan fenol dengan dan tanpa NaCl disebabkan oleh faktor berkurangnya kepolaran larutan fenol akibat adanya penambahan garam NaCl (efek salting out).²⁴



Gambar 4.4 Kurva waktu optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M

Penambahan NaCl pada larutan fenol menyebabkan berkurangnya molekul air yang mengelilingi molekul fenol sehingga interaksi antara molekul fenol dengan molekul air semakin lemah. Akibatnya semakin banyak molekul fenol yang diikat oleh gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif sehingga semakin besar konsentrasi NaCl yang ditambahkan penurunan konsentrasi fenol dalam larutan/bulk semakin besar.

Fenol yang teradsorpsi dalam waktu 45 menit sudah optimum (karbon aktif jenuh). Pengukuran konsentrasi fenol pada menit berikutnya menunjukkan terjadinya pelepasan fenol yang telah teradsorpsi, ditandai dengan meningkatnya jumlah konsentrasi sisa fenol yang terukur. Setelah waktu optimum tercapai untuk masing-masing larutan, sistem adsorpsi fenol – karbon dianggap telah mencapai kesetimbangan. Adsorpsi pada karbon aktif terjadi karena adanya ketidakstabilan dari setiap molekul pusat aktif yang terdapat pada permukaan adsorben. Molekul tersebut menyebabkan energi bebas permukaan menjadi besar. Kestabilan molekul pada pusat aktif

dilakukan dengan menurunkan energi bebas permukaan melalui adsorpsi zat-zat lain di permukaan.³

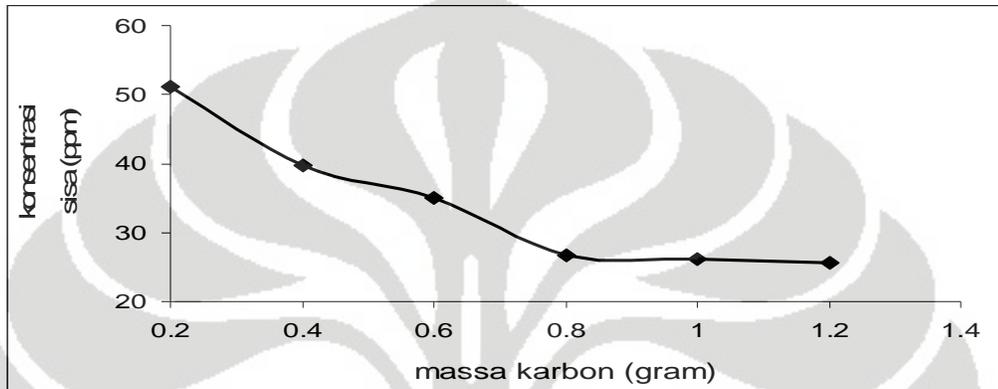
Pada adsorpsi karbon, kesetimbangan konsentrasi antar-muka terjadi secara cepat, diikuti dengan difusi lambat ke dalam partikel-partikel karbon. Laju adsorpsi keseluruhan dikendalikan oleh kecepatan difusi molekul – molekul zat terlarut dalam pori – pori kapiler dari partikel karbon. Kecepatan difusi berbanding terbalik dengan kuadrat diameter partikel dan kenaikan berat molekul zat terlarut, serta bertambah dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut dan temperatur.²⁵

4.2.2 Penentuan Jumlah Karbon Optimum

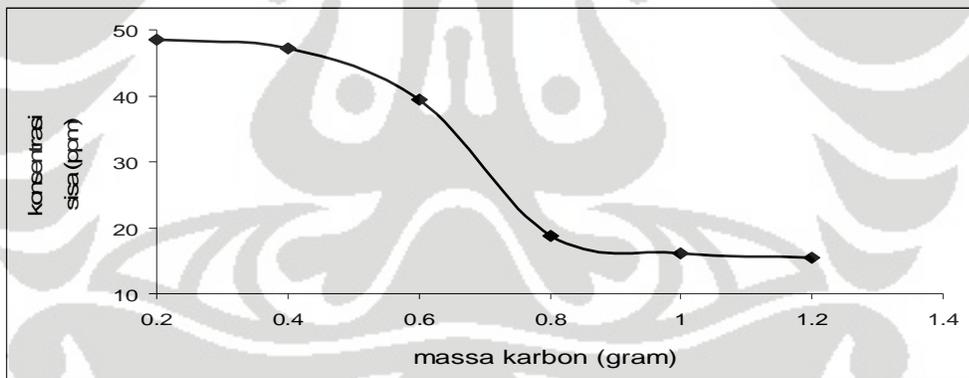
Dalam tahap ini, larutan fenol diadsorpsi menggunakan karbon aktif dengan variasi berat 0,2 sampai 1,2 gram (sambil diaduk) untuk mengetahui banyaknya karbon aktif yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi larutan fenol (jumlah karbon optimum yang memberikan hasil konsentrasi sisa fenol yang optimum pula).

Secara umum semakin banyak jumlah adsorben (karbon aktif) akan semakin banyak pula jumlah adsorbat (fenol) yang teradsorpsi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, jumlah optimum karbon aktif yang dibutuhkan adalah 1 gram seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. Pada kedua kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin bertambah berat karbon aktif yang digunakan maka penurunan konsentrasi fenol semakin besar. Pada berat karbon 0,8 sampai 1,2 gram diperoleh hasil konsentrasi

fenol tidak terlalu jauh turunnya sehingga kurva terbentuk landai sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah optimum karbon aktif berada pada range 0,8 hingga 1,2 gram. Pada penelitian selanjutnya karbon aktif yang digunakan untuk percobaan adalah 1 gram.



Gambar 4.5 Kurva variasi jumlah karbon aktif pada adsorpsi larutan fenol



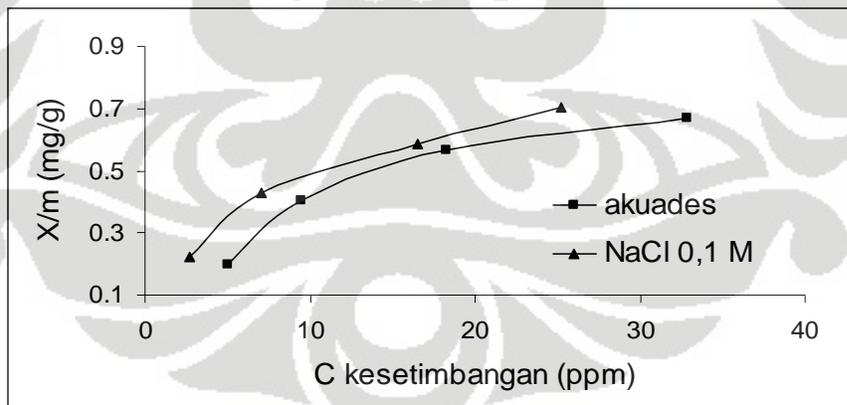
Gambar 4.6 Kurva variasi jumlah karbon aktif pada adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M

4.2.3 Penentuan Jenis Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi pada senyawa fenol di permukaan karbon aktif yaitu

pada sisi aktif karbon sehingga dapat diketahui jenis ikatan yang terjadi antara fenol dengan gugus-gugus pengaktif yang terdapat pada karbon aktif saat adsorpsi. Pada tahap ini, larutan fenol dengan konsentrasi 25, 50, 75, dan 100 ppm diadsorpsi dengan 1 gram karbon aktif ukuran 8-10 mesh dalam suhu ruang (27°C) dalam akuades dan NaCl 0,1 M.

Pada gambar 4.7 terlihat kurva perbandingan isoterm adsorpsi fenol dalam akuades dan NaCl 0,1 M. Kurva tersebut menunjukkan bahwa penambahan larutan NaCl ke dalam larutan fenol akan berpengaruh pada isoterm adsorpsi fenol. Hal itu ditandai dengan nilai X/m (banyaknya larutan fenol yang teradsorpsi dalam karbon aktif per berat 1 gram karbon aktif) yang cukup besar kenaikannya dan juga dengan nilai konsentrasi sisa (kesetimbangan) fenol yang lebih sedikit dibandingkan dengan larutan fenol dalam akuades.



Gambar 4.7 Kurva perbandingan isoterm adsorpsi

Sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya diketahui bahwa dengan semakin besar konsentrasi NaCl yang ditambahkan maka nilai X/m juga akan semakin besar yang berarti bahwa semakin besar konsentrasi

NaCl maka larutan fenol yang teradsorpsi akan semakin banyak dengan jumlah karbon yang tetap.^{3,26} Kurva kemudian dianalisa dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir.

4.2.3.1 Uji isoterm Freundlich dan Langmuir untuk larutan fenol

Freundlich menyatakan isoterm adsorpsi dengan persamaan berikut :

$$X/m = k C^{1/n}$$

Untuk menguji data yang diperoleh, persamaan Freundlich dikonversikan ke dalam bentuk :

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

Tes untuk isoterm Freundlich dilakukan dengan memplot $\text{log } C_{\text{kes}}$ terhadap $\text{log } X/m$.

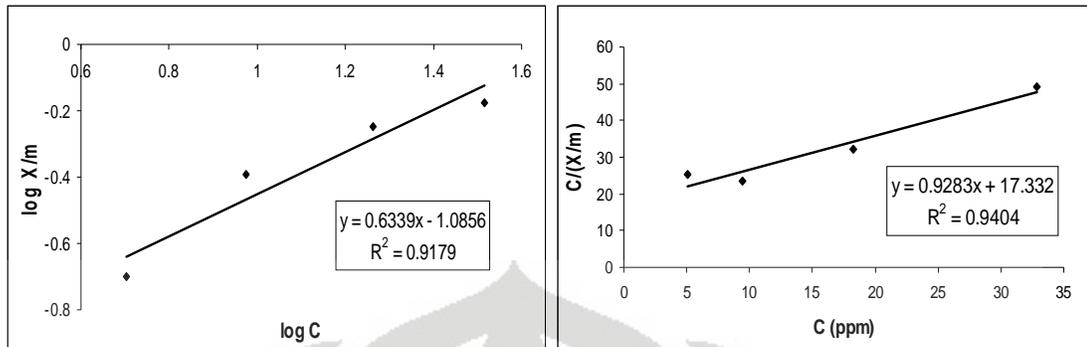
Sedangkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dalam bentuk linier dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut :

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

Persamaan ini dapat disusun sebagai persamaan garis lurus yaitu :

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

Plot C terhadap $C/(X/m)$ akan menghasilkan persamaan garis lurus. Dibawah ini adalah kurva hasil perhitungan data yang diperoleh dengan menggunakan kedua jenis persamaan isoterm adsorpsi.



(a)

(b)

Gambar 4.8 Kurva isoterm adsorpsi Freundlich (a) dan Langmuir (b) larutan fenol

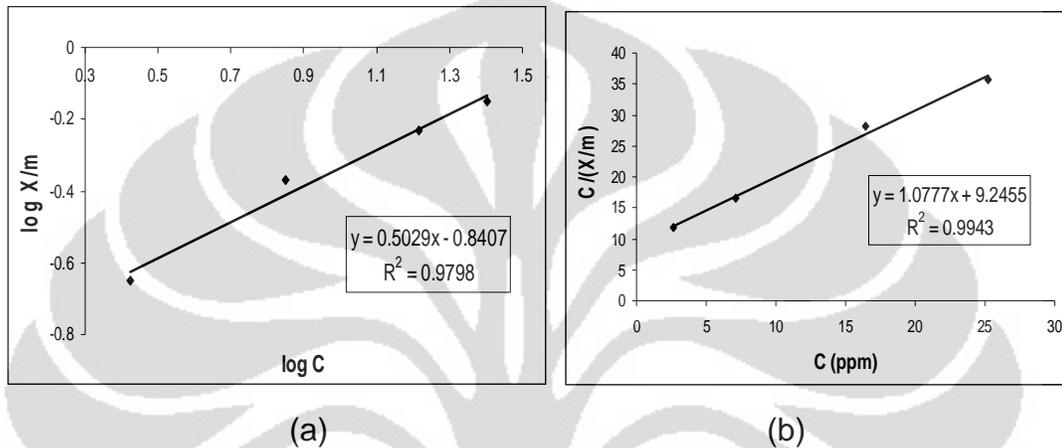
Pada kurva diatas terlihat bahwa nilai regresi untuk persamaan isoterm Freundlich adalah 0,9179; sedangkan untuk isoterm Langmuir adalah 0,9404. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini cenderung mengikuti persamaan isoterm Langmuir yang mengasumsikan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah *chemisorption* (adsorpsi kimia) yang membentuk lapisan monolayer dan karbon aktif yang digunakan mempunyai luas permukaan yang sangat besar (500-1400 m²/g) sehingga molekul fenol sudah dapat teradsorpsi semua hanya dengan membentuk satu lapisan.

Akan tetapi kedua nilai regresi tersebut juga dapat dikatakan tidak terlalu besar perbedaannya sehingga kemungkinan kedua jenis isoterm adsorpsi yaitu Freundlich maupun Langmuir dapat terjadi dalam larutan fenol.

4.2.3.2 Uji isoterm Freundlich dan Langmuir untuk larutan fenol dalam

NaCl 0,1 M

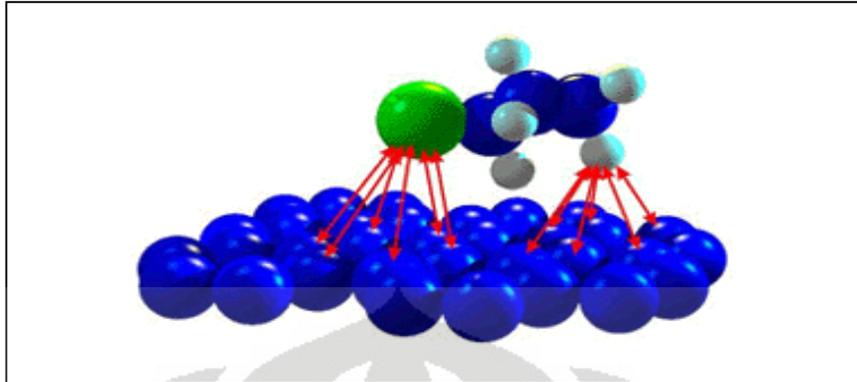
Campuran senyawa fenol dan NaCl juga dianalisa menggunakan persamaan Freundlich dan Langmuir.



Gambar 4.9 Kurva isoterm adsorpsi Freundlich (a) dan Langmuir (b) larutan fenol + NaCl 0,1 M

Pada gambar kurva diatas terlihat nilai regresi untuk persamaan isoterm Freundlich adalah 0,9798; sedangkan untuk isoterm Langmuir adalah 0,9943. Sama seperti yang terjadi pada isoterm adsorpsi larutan fenol penelitian ini cenderung mengikuti persamaan isoterm Langmuir. Akan tetapi kedua nilai regresi tersebut juga dapat dikatakan tidak terlalu besar perbedaannya sehingga kedua jenis isoterm adsorpsi yaitu Freundlich maupun Langmuir dapat terjadi dalam larutan fenol.

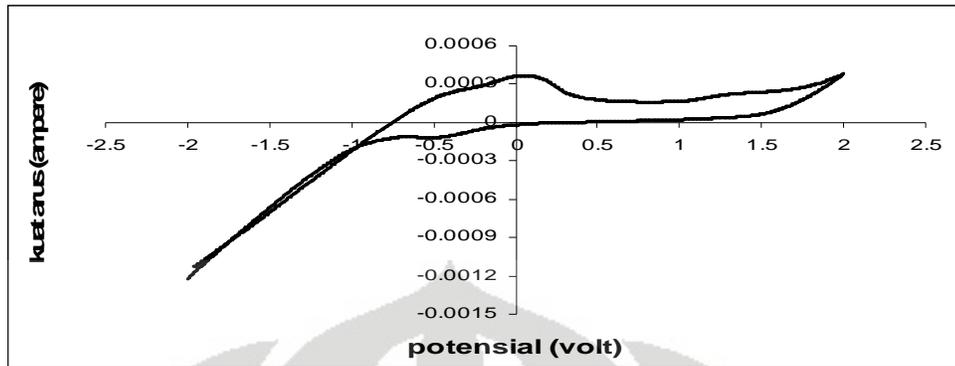
Gambaran bentuk adsorpsi yang terjadi pada karbon aktif dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.10. ²⁷



Gambar 4.10 Bentuk adsorpsi molekul pada karbon aktif

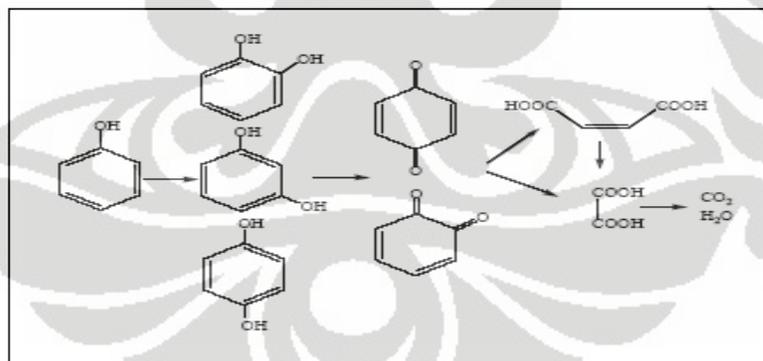
4.3 Teknik Oksidasi Elektrokimia

Teknik oksidasi dalam penelitian ini dilakukan dengan cara elektrolisis pada larutan fenol menggunakan dua elektroda platina (Pt) yaitu pertama sebagai elektroda kerja, berbentuk spiral dengan panjang 2 cm, diameter 1,7 cm, dan diameter kawat 1 mm (diproduksi oleh PT Antam Logam Mulia) sebagai anoda (oksidasi). Sedangkan elektroda kedua sebagai elektroda pendukung, berbentuk batang dengan panjang 100 mm dan diameter kawat 0,8 mm (diproduksi oleh The Nilaco Corporation Tokyo Ginza) sebagai katoda (reduksi). Jarak antara kedua elektroda dalam *beaker glass* yang berdiameter 5,5-6 cm yaitu 3,5 atau 4 cm (tergantung *beaker glass* yang digunakan). Selain kedua elektroda tersebut, digunakan elektroda pembanding Ag/AgCl. Pada tahap ini dilakukan uji pendahuluan untuk menentukan perilaku elektrokimia dari larutan fenol dengan menggunakan siklik voltametri pada +1,8 V dan +1,2 V.



Gambar 4.11 Kurva voltametri siklik larutan fenol scan rate 100 mV/s

Berdasarkan kurva siklik voltametri yang diperoleh (gambar 4.11) dapat diketahui bahwa terjadi *peak* anodik pada 0,06275 V yang menandakan adanya oksidasi. Kemungkinan terjadinya oksidasi diawali dengan pelepasan H^+ dari gugus OH pada fenol membentuk ion fenolat. Dengan menggunakan potensial yang jauh lebih tinggi dapat menyebabkan terjadinya oksidasi lebih lanjut sehingga pada akhir reaksi diperoleh CO_2 dan H_2O . Reaksi degradasi fenol²⁸ yang diharapkan terjadi dalam penelitian ini :



Gambar 4.12 Reaksi degradasi fenol

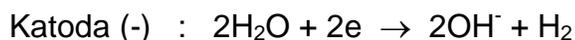
Berdasarkan gambar reaksi di atas terlihat bahwa fenol dapat terdegradasi sempurna menjadi CO_2 dan H_2O melalui tahapan pembentukan senyawa yaitu senyawa fenol menjadi senyawa kuinon (hidrokuinon dan

benzokuinon) dan karboksilat. Akan tetapi, menurut beberapa penelitian sebelumnya^{4,5} diketahui bahwa dalam degradasi fenol dihasilkan senyawa benzokuinon yang sifatnya persisten (tahan lama, sulit terdegradasi) karena sulit mengalami pembukaan cincin sehingga kecil kemungkinan untuk terjadi degradasi fenol secara sempurna yaitu terbentuknya senyawa CO₂ dan H₂O. Oleh karena itu, perlu dilakukannya suatu usaha untuk mengatasi kesulitan tersebut yang salah satunya dapat dilakukan dengan meningkatkan potensial dan waktu reaksi yang digunakan dalam sel elektrokimia.

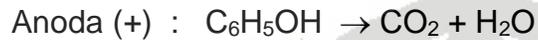
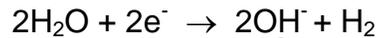
Pada tahapan teknik oksidasi, terlebih dahulu dilakukan penentuan potensial optimum yang diberikan pada sel elektrokimia yaitu 4 dan 5 V. Teknik oksidasi dilakukan pada potensial yang lebih tinggi dari 0,06275 V agar diharapkan dapat mendegradasi (memecah) fenol menjadi bentuk yang lebih sederhana dan tidak berbahaya yaitu menjadi CO₂ dan H₂O (sesuai dengan reaksi di atas). Oksidasi dilakukan pada larutan fenol dengan menggunakan NaCl 0,1 M sebagai elektrolit. NaCl merupakan elektrolit kuat yang dapat menghantarkan arus listrik dan mentransfer muatan dengan baik.

Pada saat percobaan menggunakan sel elektrokimia, dihasilkan gas pada katoda dan anoda. Berdasarkan pada beberapa reaksi yang terjadi dalam sel elektrolisis, yaitu :

I. Reaksi elektrolisis air :



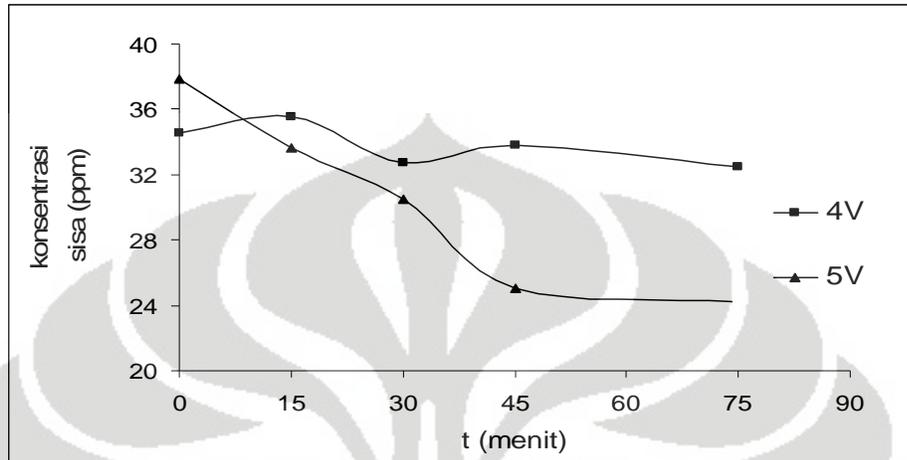
Gas H₂ (hidrogen) dapat dihasilkan di katoda. Sedangkan gas O₂ (oksigen) dapat dihasilkan di anoda.



Sedangkan berdasarkan reaksi di atas diketahui bahwa gas yang dihasilkan pada katoda sama seperti yang terjadi pada reaksi yang I (akibat elektrolisis air) tetapi pada anoda terdapat kemungkinan gas yang dihasilkan adalah karbondioksida (CO₂) sebagai hasil oksidasi fenol yang kemungkinan dapat terbentuk jika terjadi oksidasi secara sempurna. Dengan menaikkan potensial berarti meningkatkan rapat arus sehingga besar arus yang mengalir akan meningkat dan menurunkan konsentrasi larutan fenol yang tersisa sebagaimana pada gambar 4.13.

Berdasarkan kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar potensial yang diberikan maka semakin menurun konsentrasi fenol. Pada potensial 5 V terjadi penurunan konsentrasi fenol yang lebih besar daripada 4 V sehingga potensial yang diberikan untuk sel elektrokimia dalam penelitian ini adalah 5 V. Potensial tersebut belum dapat dikatakan potensial optimum karena 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.³ Oleh karena itu, terdapat

kemungkinan penggunaan potensial lebih besar dari 5 V yang dapat menghasilkan penurunan konsentrasi fenol yang semakin besar pula.

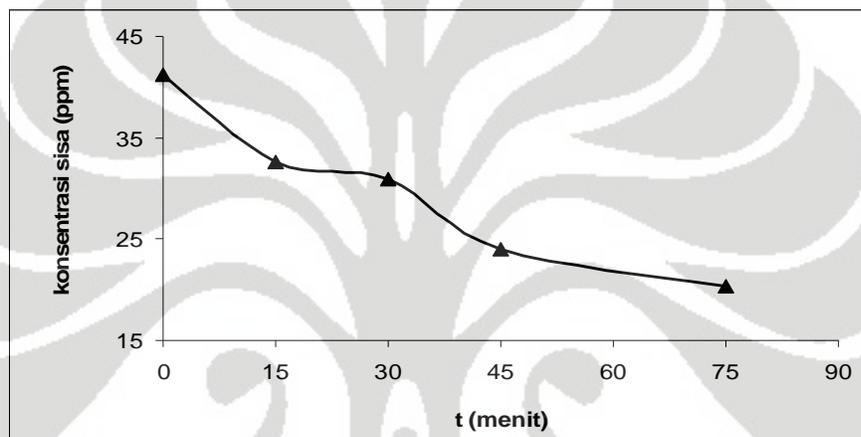


Gambar 4.13 Kurva penentuan potensial optimum larutan fenol

4.4 Teknik Kombinasi Adsorpsi dan Oksidasi

Teknik kombinasi antara adsorpsi dan oksidasi merupakan salah satu cara pengolahan limbah organik yang saat ini sedang dikembangkan dengan mengkombinasikan kedua teknik tersebut yaitu adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dan oksidasi secara elektrokimia untuk meningkatkan efisiensi penurunan konsentrasi fenol. Pada tahap ini dilakukan oksidasi dengan elektrode platina dan adsorpsi menggunakan karbon aktif sekaligus dalam suatu sel elektrokimia. Proses teknik kombinasi dilakukan dengan menggunakan 1 gram karbon aktif, 0,1 M NaCl, dan voltase 5 V yang menghasilkan penurunan konsentrasi fenol (gambar 4.14) hingga mencapai sekitar 50 % dalam waktu 75 menit.

Berdasarkan kurva dapat dilihat bahwa semakin lama waktu perlakuan kombinasi larutan fenol maka semakin menurun konsentrasi fenol. Hal ini disebabkan oleh kondisi larutan fenol yang mengalami dua teknik sekaligus yakni adsorpsi dan elektrolisis sehingga fenol yang terdapat dalam larutan teradsorpsi dan juga terelektrolisis yang menyebabkan konsentrasi fenol semakin menurun.

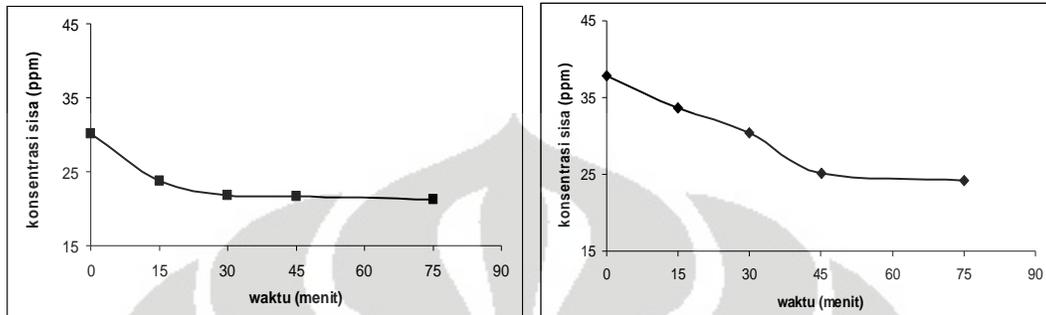


Gambar 4.14 Kurva teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi) pada kondisi optimum

Hal ini juga berlaku untuk masing-masing hasil konsentrasi sisa fenol pada teknik adsorpsi dan elektrolisis (kedua proses dilakukan terpisah) yang juga semakin menurun dengan bertambahnya waktu perlakuan masing-masing teknik yang digunakan, seperti ditunjukkan pada gambar 4.15.

Dalam teknik adsorpsi menggunakan karbon aktif, penurunan konsentrasi fenol disebabkan oleh proses adsorpsi. Sedangkan dalam teknik elektrolisis menggunakan elektrode platina, penurunan fenol dapat disebabkan reaksi oksidasi fenol. Sedangkan dalam teknik kombinasi,

penurunan fenol disebabkan oleh gabungan kedua teknik yaitu adsorpsi karbon aktif dan reaksi oksidasi fenol.²⁶



(a)

(b)

Gambar 4.15 Kurva teknik adsorpsi (a), teknik oksidasi (b) larutan fenol + NaCl 0,1 M

4.5 Perbandingan Penurunan Konsentrasi pada Teknik Adsorpsi, Oksidasi, dan Kombinasi

Dalam menentukan hasil perbandingan penurunan konsentrasi fenol ketiga teknik digunakan cara penghitungan % konversi, yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

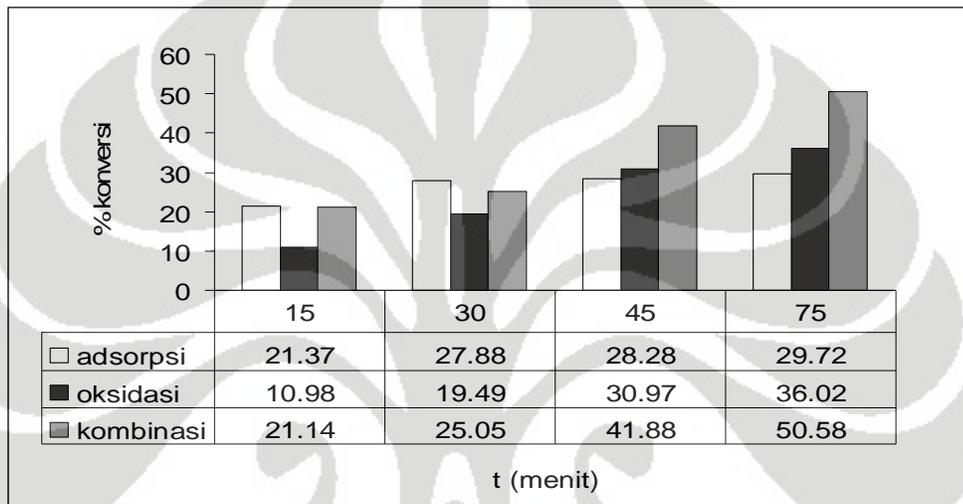
$$\% \text{ konversi} = \frac{(C \text{ fenol menit awal}) - (C \text{ sisa fenol menit } n)}{C \text{ fenol menit awal}} \times 100 \%$$

di mana : C = konsentrasi (ppm) dan menit n = menit 15, 30, 45, dan 75.

Perbandingan % konversi ketiga teknik ditunjukkan pada gambar 4.16.

Dalam kurva tersebut dapat dilihat bahwa % konversi larutan fenol pada ketiga teknik mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Pada menit 0-30 terlihat hasil % konversi adsorpsi > oksidasi > kombinasi. Hal ini dapat disebabkan oleh cepatnya proses adsorpsi fenol dibandingkan dengan

reaksi oksidasi yang butuh waktu cukup lama mengingat senyawa intermediat yang dapat dihasilkan bersifat stabil (kuinon). Sedangkan untuk teknik kombinasi pada menit 0-30 tidak terlalu besar perbedaan % konversinya dengan teknik adsorpsi. Sebaliknya pada menit 45-75 terlihat bahwa % konversi fenol dengan teknik kombinasi > oksidasi > adsorpsi.



Gambar 4.16 Kurva perbandingan % konversi adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M

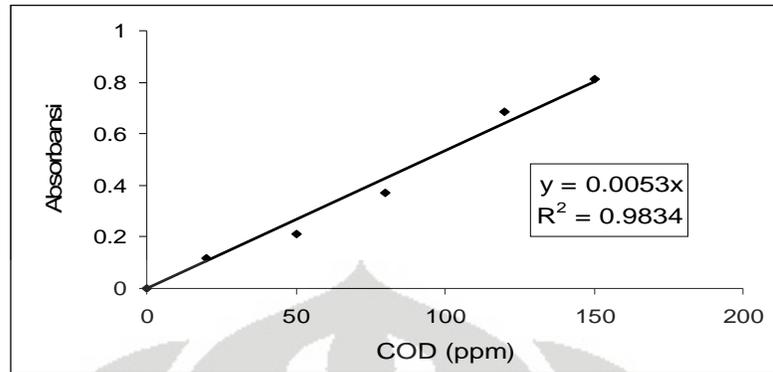
Berdasarkan kurva di atas dapat disimpulkan bahwa selama 75 menit pada teknik adsorpsi terjadi penurunan konsentrasi fenol hingga 29,72%; teknik oksidasi 36,02%; dan teknik kombinasi 50,58%. Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa nilai % konversi penurunan konsentrasi fenol untuk teknik kombinasi yaitu 50,58% lebih kecil daripada penjumlahan nilai % konversi teknik adsorpsi dan elektrolisis yaitu $29,72\% + 36,02\% = 65,74\%$ sehingga proses adsorpsi dan elektrolisis dalam teknik kombinasi tidak terjadi bersamaan tetapi secara bertahap^{4,26} yaitu proses adsorpsi terjadi lebih dulu, baru kemudian terjadi proses elektrolisis, atau sebaliknya. Pada gambar 4.15

terlihat bahwa konsentrasi sisa fenol pada teknik adsorpsi (4.15 a) lebih tajam penurunan kurvanya dibandingkan dengan teknik elektrolisis (4.15 b). Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa proses yang terjadi lebih dulu dalam teknik kombinasi adalah proses adsorpsi fenol, kemudian diikuti dengan terjadinya proses elektrolisis fenol.

4.6 Pengukuran COD (Chemical Oxygen Demand)^{20,21,22}

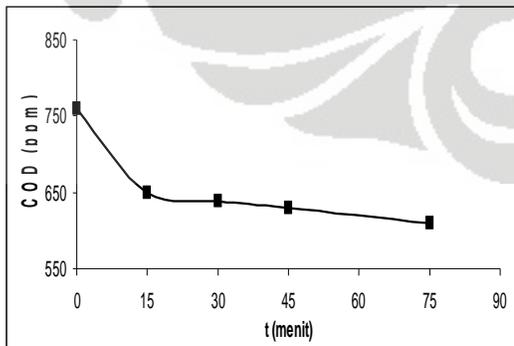
Sebagaimana kita ketahui bahwa COD merupakan salah satu parameter kimiawi yang digunakan terutama untuk mengetahui besarnya tingkat pencemaran limbah organik yang telah terjadi pada limbah cair. Semakin besar nilai COD suatu limbah, semakin besar pula tingkat pencemaran yang terjadi terhadap limbah cair tersebut.

Metode yang digunakan pada analisis COD ini adalah metode *colorimetric-close reflux* menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Untuk menentukan COD sampel larutan fenol maka terlebih dahulu perlu dilakukan pengukuran COD standar yang dalam penelitian ini digunakan larutan KHP (Kalium Hidrogen Pthalat). Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 4.17 yaitu dengan memplot konsentrasi standar COD (ppm) sebagai sumbu x dan nilai absorbansi blanko ($C = 0$ ppm yaitu 1,008) dikurangi absorbansi standar sebagai sumbu y maka didapatkan persamaan garis lurus yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai COD sampel larutan fenol.

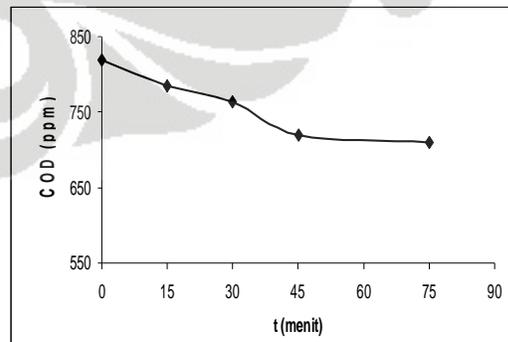


Gambar 4.17 Kurva COD standar

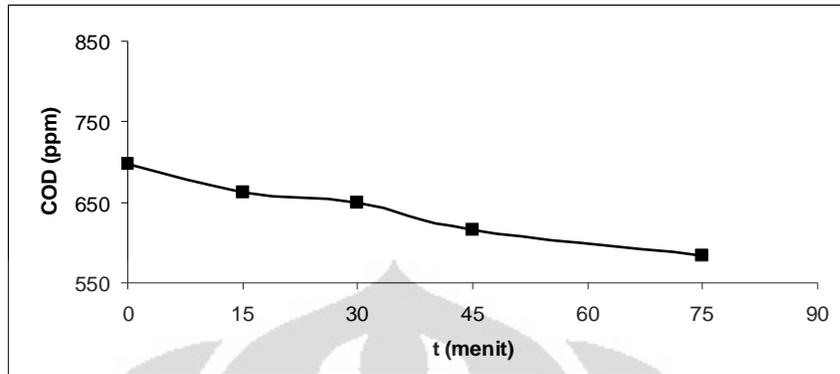
Dalam pengukuran COD standar diperoleh data absorbansi blanko sebesar 1,008 ($C=0$ ppm) dan persamaan garis lurus $y = 0,0053x$. Untuk penghitungan nilai COD selanjutnya, nilai absorbansi blanko dikurangi dengan nilai absorbansi sampel yang terukur ($y = 1,008 - A$ ukur), lalu nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus untuk didapatkan nilai x yaitu COD sampel. Hasil pengukuran COD sampel larutan fenol pada ketiga teknik dalam gambar 4.18 menunjukkan nilai COD semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini dapat menunjukkan bahwa teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi efektif dalam menurunkan konsentrasi fenol dalam air, yang terlihat pada nilai COD yang semakin berkurang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.18 Kurva COD larutan fenol + NaCl 0,1 M teknik adsorpsi (a), elektrolisis (b), dan teknik kombinasi (c)

Dalam larutan fenol yang diukur, ditambahkan NaCl sehingga dalam larutan terdapat ion klorida yang dapat mengganggu pengukuran nilai COD akibat ion klorida dapat teroksidasi oleh dikromat menjadi gas klorin seperti reaksi berikut :



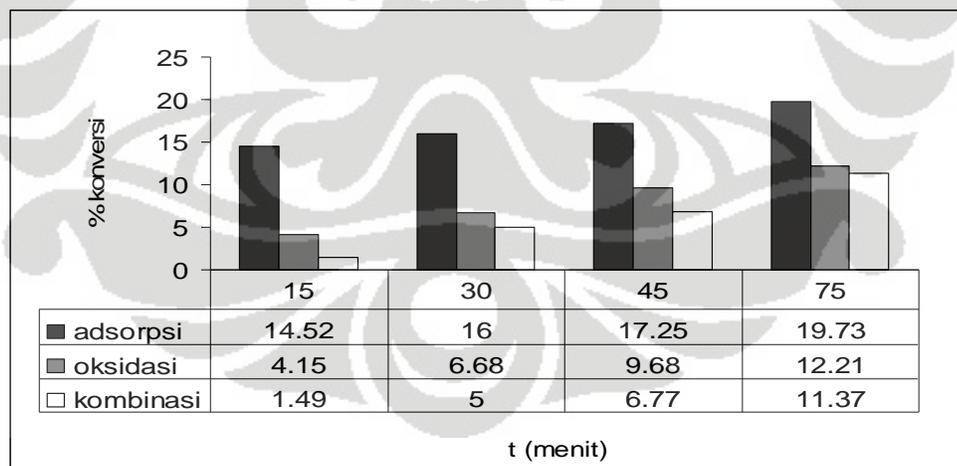
Oleh karena itu, perlu ditambahkan perak sulfat (Ag_2SO_4) dalam asam sulfat pekat untuk membentuk endapan AgCl . Dalam larutan fenol dalam NaCl 0,1 M yang direaksikan dengan reagen COD ternyata terbukti adanya ion klorida, yaitu dengan terbentuknya endapan putih kekuningan yang dapat dikatakan itu adalah endapan AgCl . Proses oksidasi dilakukan dengan adanya suatu katalis merkuri sulfat (HgSO_4) yang berfungsi mempercepat oksidasi senyawa hidrokarbon, yang dengan tanpa katalis tersebut cukup sulit untuk dioksidasi dengan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.²⁰

Perlu diketahui bahwa bila konsentrasi ion-ion halida terutama ion klorida dalam sampel air lebih besar dari 2000 ppm maka akan mengakibatkan nilai COD bertambah besar dari semestinya.²¹ Dalam penelitian ini digunakan konsentrasi NaCl dalam larutan fenol yaitu 0,1 M sehingga sesuai reaksi ionisasi NaCl dalam air yaitu :



dengan $n \text{ NaCl} \sim n \text{ Na}^+ \sim n \text{ Cl}^-$ dan $n = \text{mol} \sim C = M = \text{konsentrasi} (M=n/V)$ maka dapat dikatakan nilai konsentrasi Cl^- sebanding dengan konsentrasi NaCl yaitu $0,1 \text{ M} = 355 \text{ ppm} < 2000 \text{ ppm}$ sehingga dapat dikatakan ion klorida tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai COD yang dihasilkan.

Perbandingan % konversi COD ketiga teknik ditunjukkan pada gambar 4.19. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa selama 75 menit nilai % konversi COD teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi semakin meningkat.



Gambar 4.19 Kurva perbandingan % konversi COD teknik adsorpsi, oksidasi, dan teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M

Pada gambar 4.19 juga terlihat bahwa nilai % konversi adsorpsi > oksidasi > kombinasi. Penyebab % konversi teknik kombinasi lebih kecil daripada kedua teknik lainnya yaitu antara lain dapat disebabkan oleh reaksi oksidasi yang berjalan lebih lambat daripada adsorpsi akibat terbentuknya produk intermediet berupa ion fenolat atau senyawa kuinon yang secara kimia sifatnya stabil sehingga butuh waktu yang cukup lama untuk memecah senyawa tersebut (reaksi oksidasi lebih lanjut).

Penyebab lainnya yaitu akibat terjadinya elektropolimerisasi fenol^{29,30} membentuk senyawa polifenol yang dapat teradsorpsi ke permukaan elektrode sehingga menghalangi reaksi oksidasi fenol lebih lanjut dan menghambat terjadinya adsorpsi akibat struktur senyawa polifenol yang besar sehingga sulit teradsorpsi. Secara keseluruhan berdasarkan gambar 4.19 terlihat bahwa nilai % konversi COD masing-masing teknik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Dapat disimpulkan bahwa selama 75 menit % konversi yang dihasilkan untuk masing-masing teknik yaitu adsorpsi 19,73%; oksidasi 12,21%; dan kombinasi 11,37%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi keduanya dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan :

1. Kondisi optimum untuk adsorpsi larutan fenol dengan 1 gram karbon aktif adalah 60 menit tanpa NaCl 0,1 M dan 45 menit dengan NaCl 0,1 M.
2. Jenis isotherm adsorpsi larutan fenol dengan/tanpa NaCl 0,1 M cenderung mengikuti persamaan isotherm Langmuir.
3. Pada teknik oksidasi elektrokimia dengan variasi potensial 4 dan 5 V diperoleh hasil penurunan konsentrasi fenol yang lebih besar pada potensial 5 V.
4. Hasil % konversi penurunan konsentrasi fenol dengan teknik adsorpsi, oksidasi, dan kombinasi adalah 29,72%; 36,02%; dan 50,58%.
5. Hasil % konversi COD yang lebih kecil (11,37%) daripada % konversi penurunan konsentrasi fenol (50,58%) pada teknik kombinasi menunjukkan adanya produk organik intermediet yang terbentuk.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan pengaruh teknik elektrolisis terhadap proses adsorpsi fenol pada permukaan karbon aktif, masih perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Mencari potensial optimum pada rentang yang lebih besar
2. Mengoptimumkan kondisi sel elektrolisis
3. Menentukan mekanisme reaksi yang terjadi dalam ketiga teknik tersebut, terutama dalam teknik elektrolisis dan kombinasi untuk mengetahui produk intermediet yang terbentuk sehingga dapat menghindari produk samping yang lebih berbahaya daripada fenol.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alaerts, G & Sri Sumentri Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional.
2. Susana Rodríguez Couto* and José Luis Toca-Herrera*. 2006. *Lacasses in the textile industry*. Tarragona, Spain : Department of Chemical Engineering, Rovira i Virgili University.
3. Wahyuni, Arum. 2007. *Studi Pendahuluan Regenerasi Karbon Aktif yang Terjenuhkan Senyawa Fenol secara Elektrolisis*. Depok : Departemen Kimia FMIPA UI.
4. Wu, Zucheng dkk. 2004. *p-Nitrophenol Abatement by Combination of Electrocatalysis and Activated Carbon*. China : Department of Environmental Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou.
5. Rajkumar, D dkk. 2004. *Combined Electrochemical Degradation and Activated Carbon Adsorption Treatments for Wastewater Containing Mixed Phenolic Compound*. India : The NRC Research Press.
6. Activated Carbon “ How to find Best Activated Carbon “. <http://www.tigg.com/html>, 17 November 2007, pk. 10.15.
7. Sembiring, Meilita Tryana dan Tuti Sarma Sinaga. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Universitas Sumatera Utara : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri.

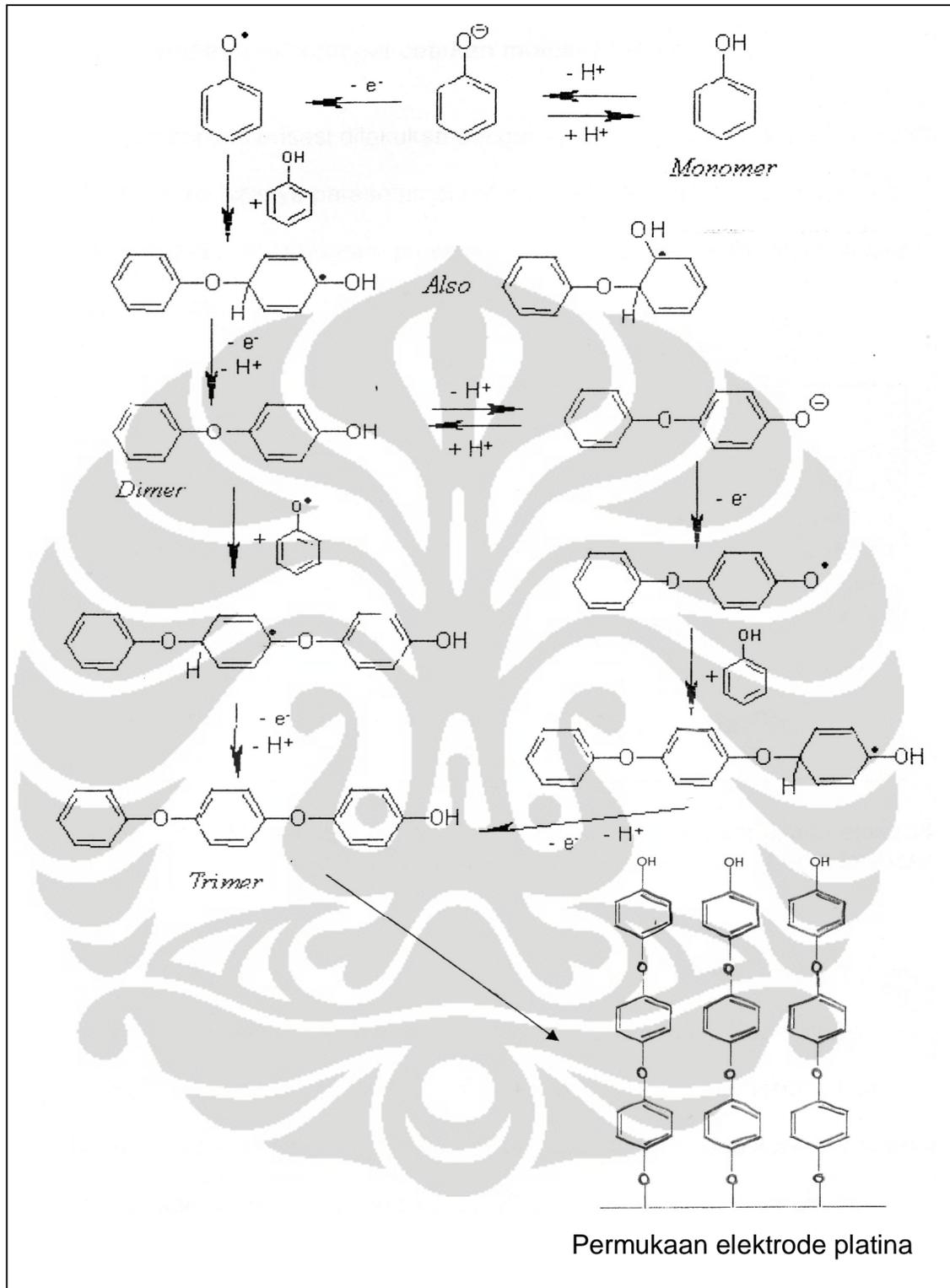
8. Activated Carbon. " News ". <http://www.tifac.org.in/htm>, 26 April 2007, pk. 09.15.
9. Activated Carbon. " History ". <http://www.carbochem.com/html>, 24 April 2007, pk. 11.35.
10. Atkins, P.W. 1997. *Kimia fisik jilid I edisi ke empat*. Terj. dari Physical chemistry, oleh Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga. Jakarta: xv + 530 hlm.
11. Sukarjo. 1997. *Kimia fisik*. Jakarta: PT. Aneka Cipta, xv + 527 hlm.
12. Bard. J Allen & L.R Faulkner. 2001. *Electrochemical methods fundamental and application second edition*. US. john wiley & sons, Inc. Washinton DC: xv + 530 hlm.
13. Bird, Tony. 1987. *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta : PT Gramedia
14. Day. R.A, A.L Underwood. 1998. *Analisa kimia Kuantitatif edisi kelima*. Terj. dari Quantitative analysis, oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta: xv + 692 hlm.
15. Sunardi. 2004. *Diktat Kuliah Elektrokimia Analisis dan Dasar-dasar Pemisahan*. Depok : Departemen Kimia, FMIPA UI.
16. Mariana, R. Flora. *Sensor Glukosa secara Voltametri Siklik dengan menggunakan Elektroda Karbon Pasta yang dimodifikasi dengan Glukosa Oksidase dan p-benzokuinon (Karya Utama Sarjana Kimia)*. Depok. Departemen Kimia FMIPA UI.

17. Brady, James E. 1991. *Kimia universitas asas dan struktur edisi kelima jilid satu*. Terj. dari General chemistry and principles & structure, oleh Sukmariah, Maun, K., Anas, T.S, Sally. Binarupa aksara. Jakarta: xv + 633 hlm.
18. Oktawira, Hendra. 2002. *Peranan Bakteri dalam Degradasi Fenol pada Limbah Industri Minyak*. Depok : Departemen Kimia, FMIPA UI.
19. Sutanto, Agus. 2000. *Perbandingan Efektivitas Zeolit dan Karbon Aktif dalam Mengadsorpsi Amonium dan Nitrat*. Depok : Departmen Kimia FMIPA UI.
20. Sihombing, Riwandi. 2002. *Penuntun Praktikum Kimia Lingkungan- Analisa Air*. Depok : Departemen Kimia FMIPA UI.
21. Susiana, Diah Eka. 2003. *Penentuan Parameter COD dan Air Raksa dalam Limbah Cair Apartemen dan Rumah Sakit*. Depok : Departemen Kimia FMIPA UI.
22. APHA-AWWA-WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th edn, American Public Health Association, Washington, DC (1992).
23. Razak, Darmillah. 1994. *Penghilangan Fenol dari Air Limbah Industri dengan Adsorpsi Karbon Aktif*. Bandung : FMIPA UNPAD.
24. Fisik, Tim Kimia. 2001. *Penuntun Praktikum Kimia Fisik (Kelarutan Timbal Balik)*. Depok : Jurusan Kimia, FMIPA UI.
25. Pengolahan Limbah Radioaktif (SR-90) dengan arang aktif lokal. <http://digilib.batan.go.id/sipulitbang>, 27 November 2007, pk. 11.45.

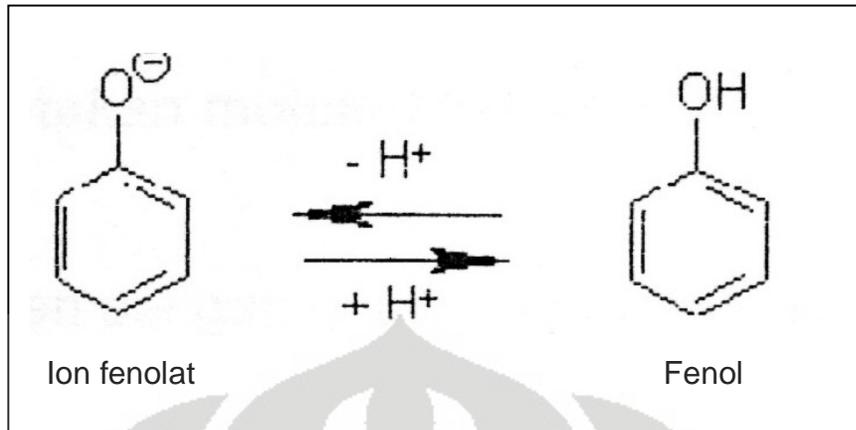
26. Rahmah, Luthfia. 2007. *Studi Pendahuluan Aplikasi Elektrokimia untuk Meningkatkan Adsorpsi Karbon Aktif pada Pewarna Biru Indigo*. Depok : Departemen Kimia FMIPA UI.
27. What is Adsorption. <http://G:\IARC+isoterm ads-160408\htm>. 16 April 2008. pk. 13.30.
28. Xiang-feng, Zhu dan Xu Xin-hua. 2004. *The mechanism of Fe (III)-catalyzed ozonation of phenol*. China : Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou.
29. Electropolymerization. <http://intel.ucc.ie/sensors/Electropolym.htm>, 26 Agustus 2006, pk. 13.20.
30. Electropolymerization. <http://www.fbe.itu.edu.tr/polymer/lab/Exp6.dot>, 14 September 2006, pk. 14.45.



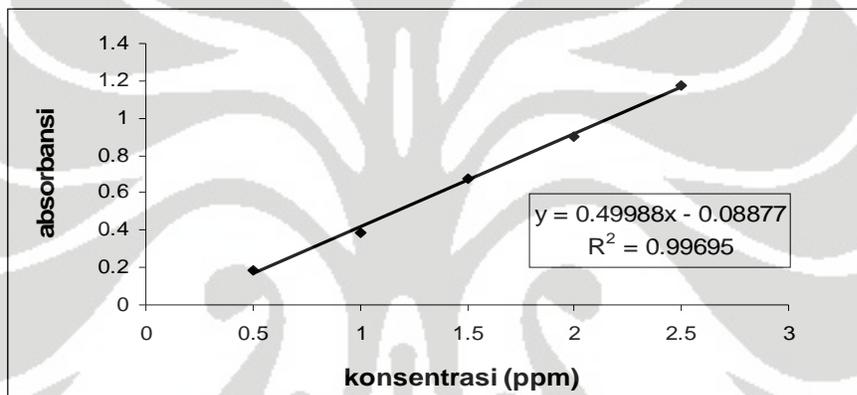
LAMPIRAN



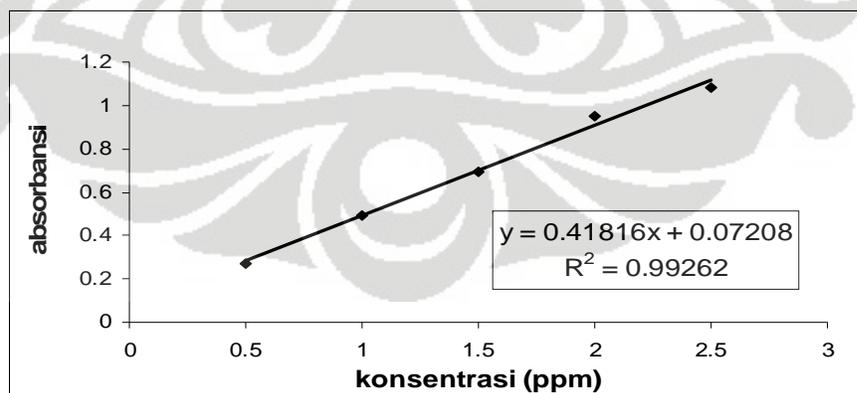
Gambar 4.20 Reaksi elektropolimerisasi fenol ^{29,30}



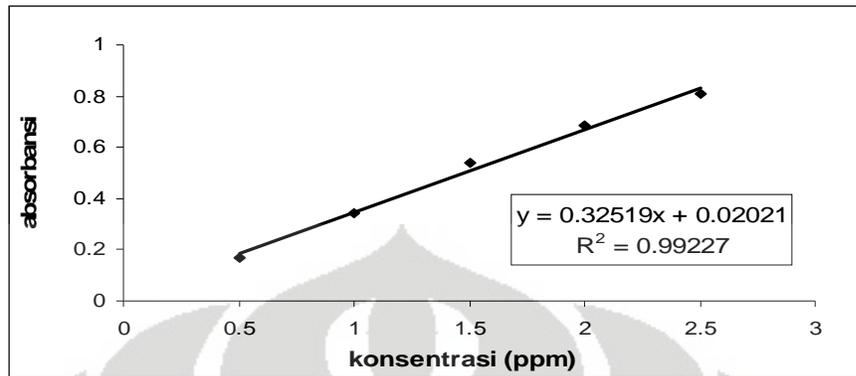
Gambar 4.21 Reaksi pembentukan ion fenolat



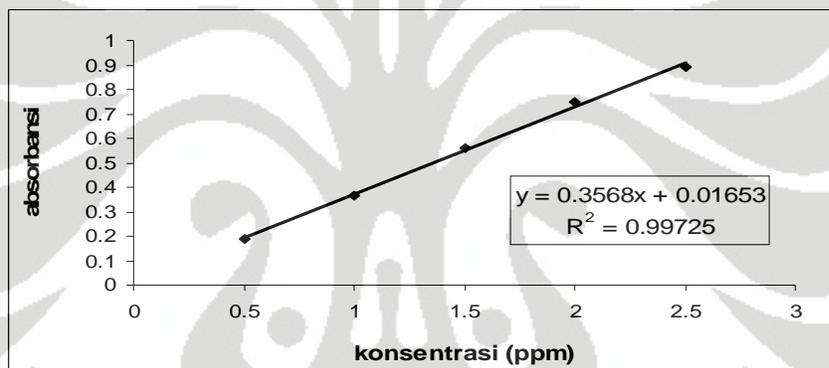
Gambar 4.22 Kurva standar penentuan waktu optimum adsorpsi larutan fenol



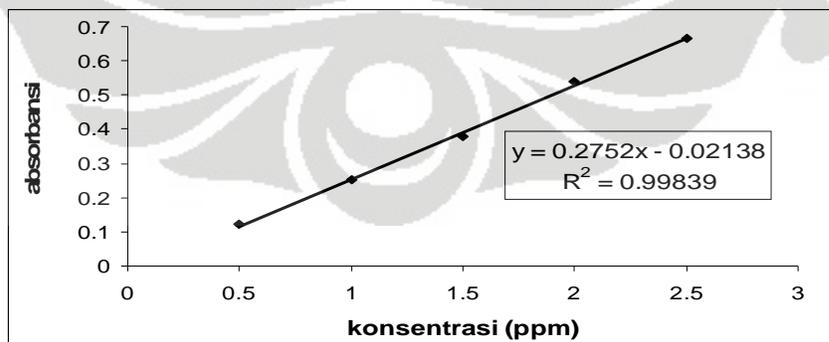
Gambar 4.23 Kurva standar penentuan waktu optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



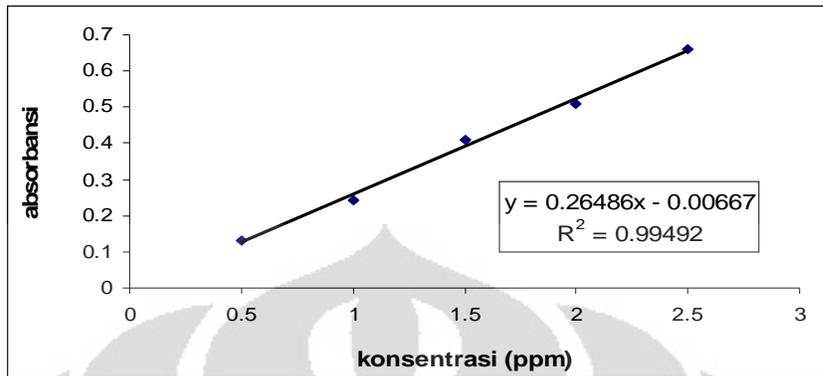
Gambar 4.24 Kurva standar penentuan jumlah karbon optimum adsorpsi larutan fenol



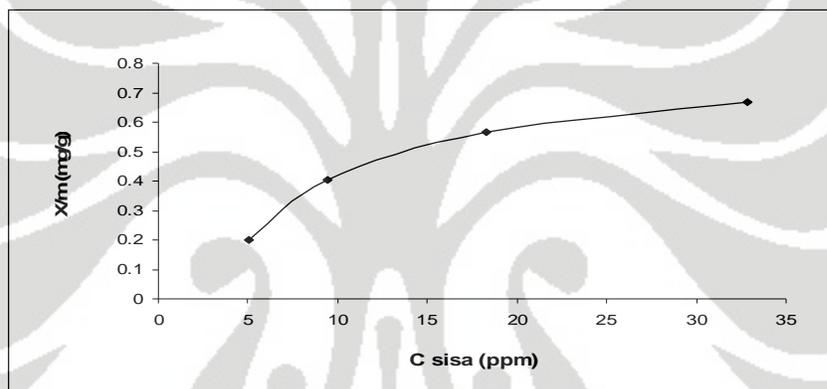
Gambar 4.25 Kurva standar penentuan jumlah karbon optimum adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



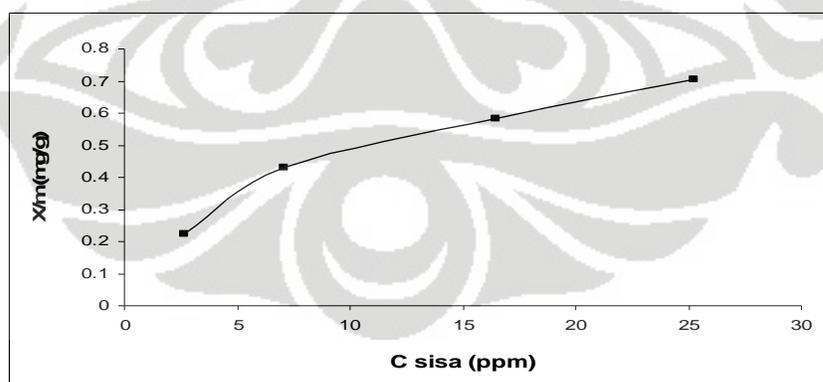
Gambar 4.26 Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol



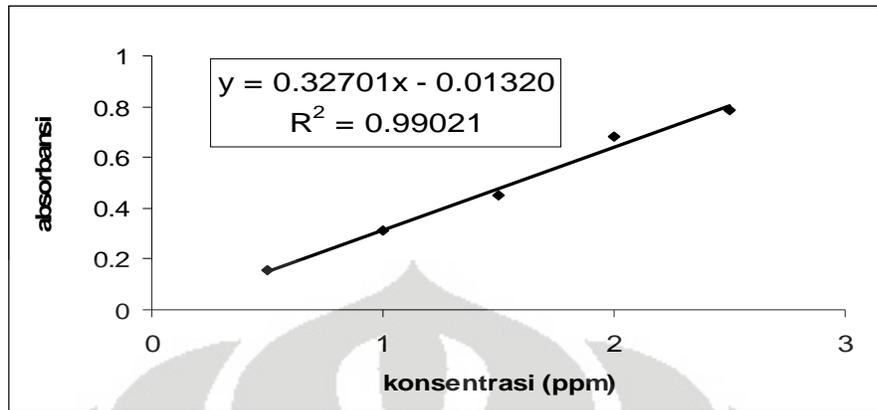
Gambar 4.27 Kurva standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



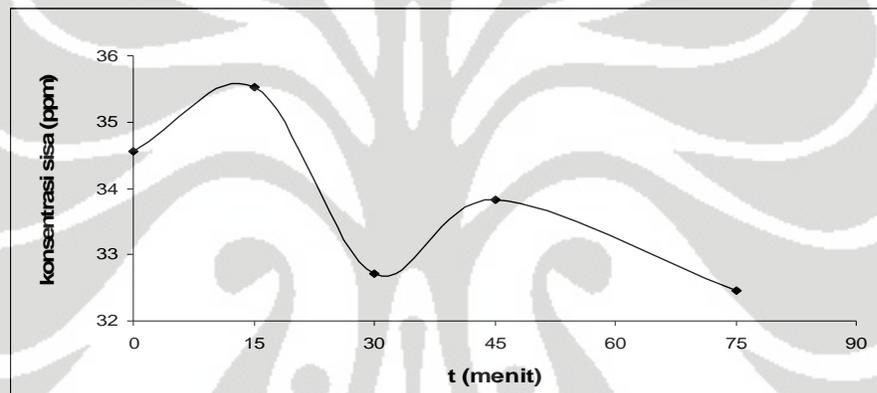
Gambar 4.28 Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol



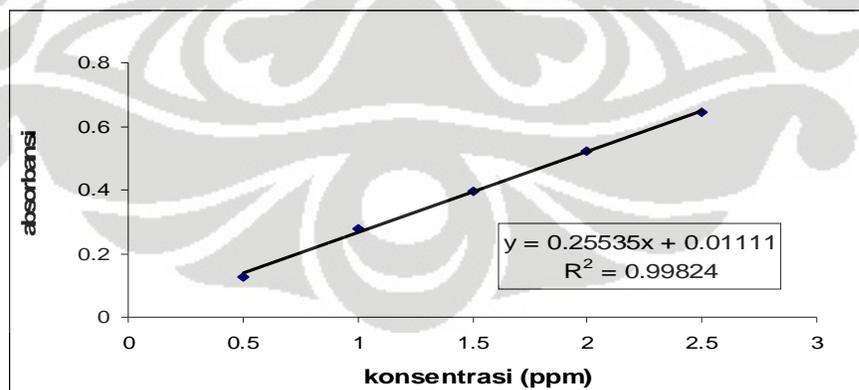
Gambar 4.29 Kurva penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



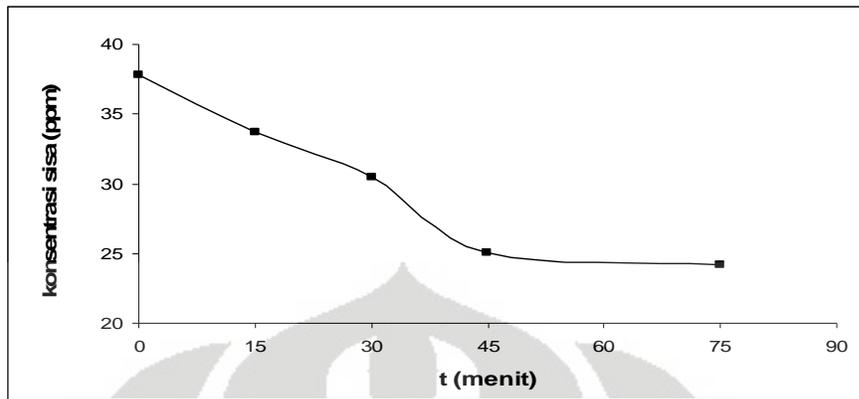
Gambar 4.30 Kurva standar penentuan voltase optimum pada elektrolisis 4V larutan fenol + NaCl 0,1 M



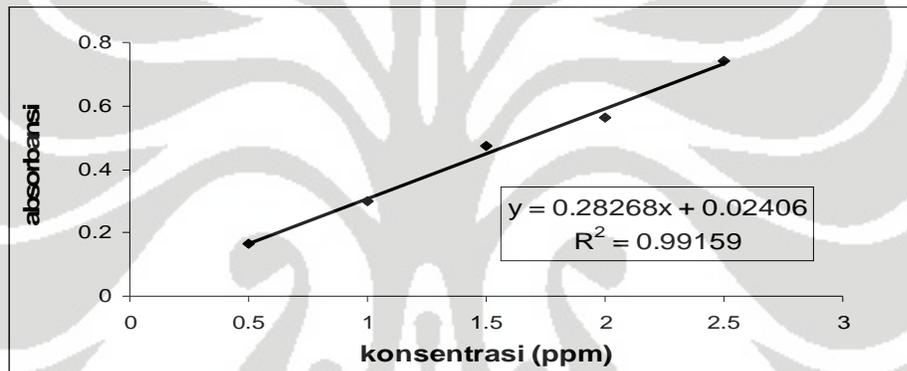
Gambar 4.31 Kurva oksidasi 4V larutan fenol + NaCl 0,1 M



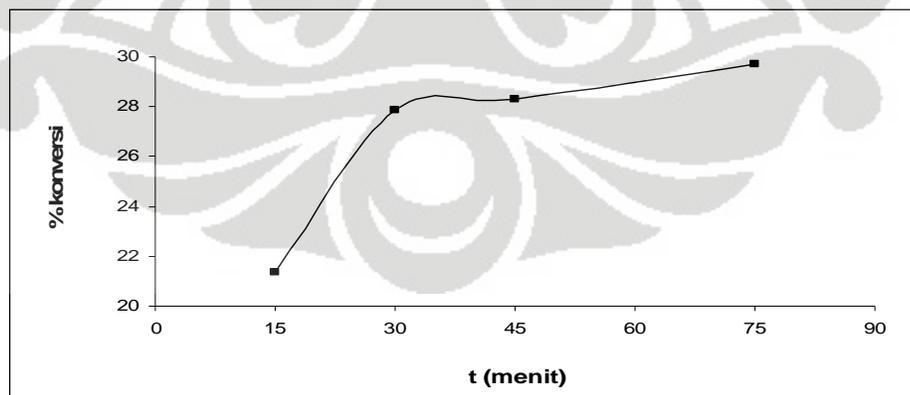
Gambar 4.32 Kurva standar penentuan voltase optimum pada elektrolisis 5V larutan fenol + NaCl 0,1 M



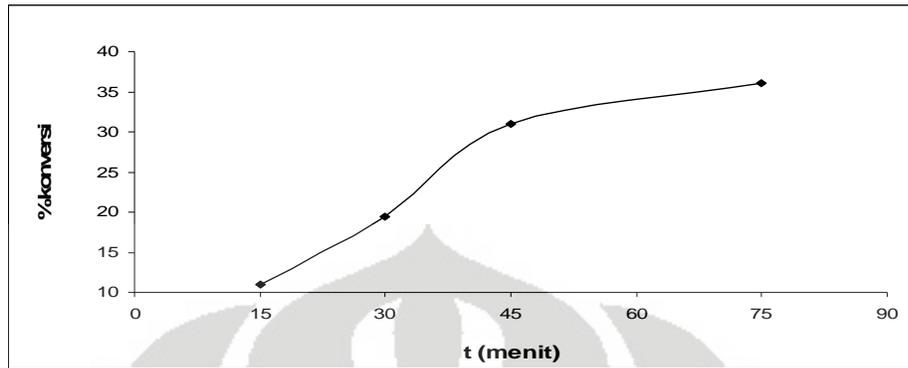
Gambar 4.33 Kurva oksidasi 5V larutan fenol + NaCl 0,1 M



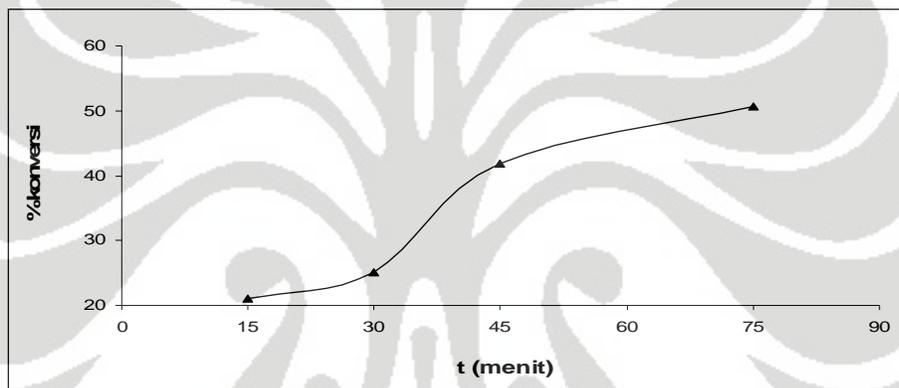
Gambar 4.34 Kurva standar teknik kombinasi adsorpsi dan oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada kondisi optimum



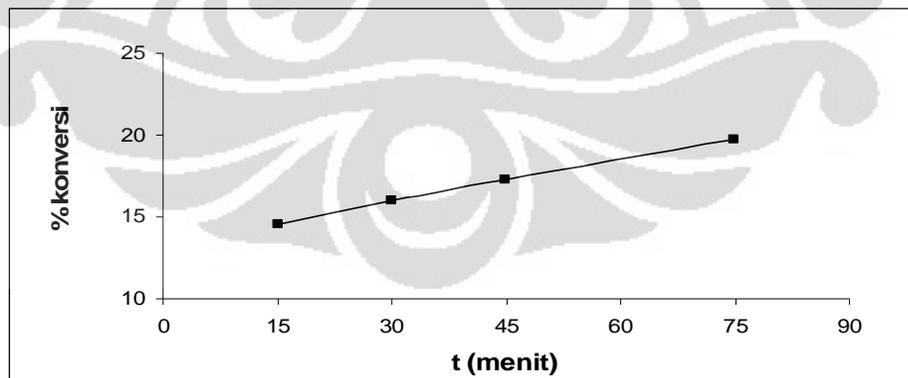
Gambar 4.35 Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



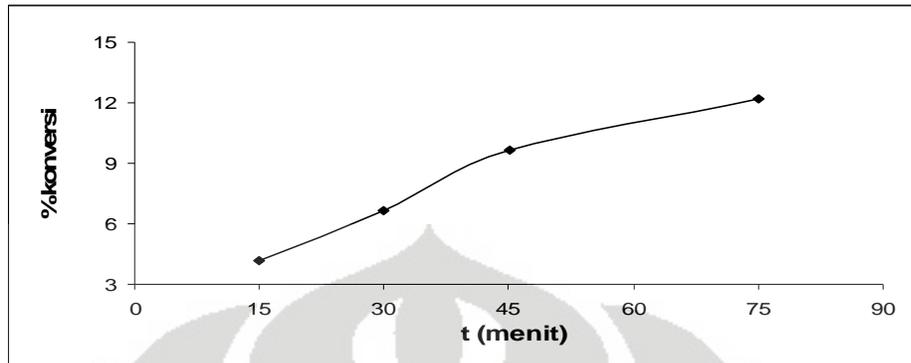
Gambar 4.36 Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M



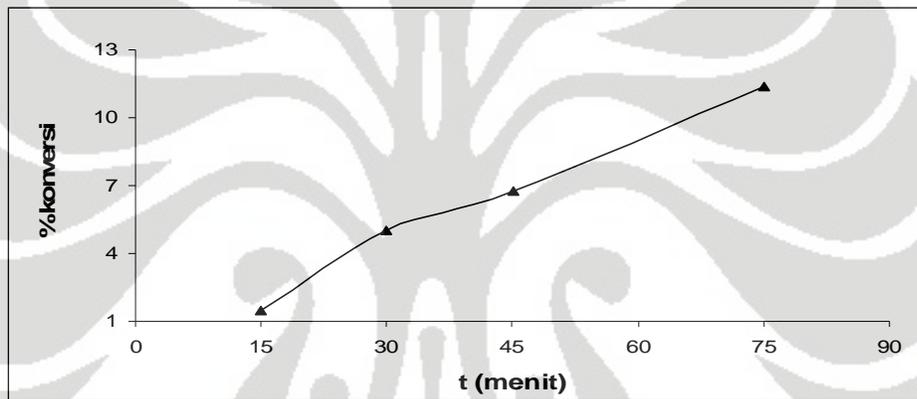
Gambar 4.37 Kurva kenaikan % konversi konsentrasi sisa teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M



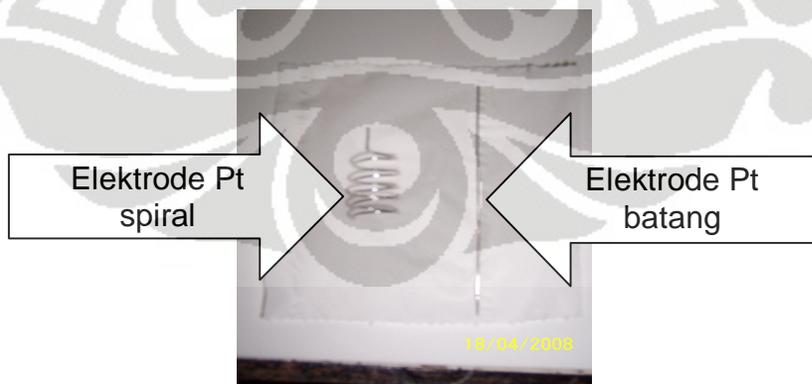
Gambar 4.38 Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M



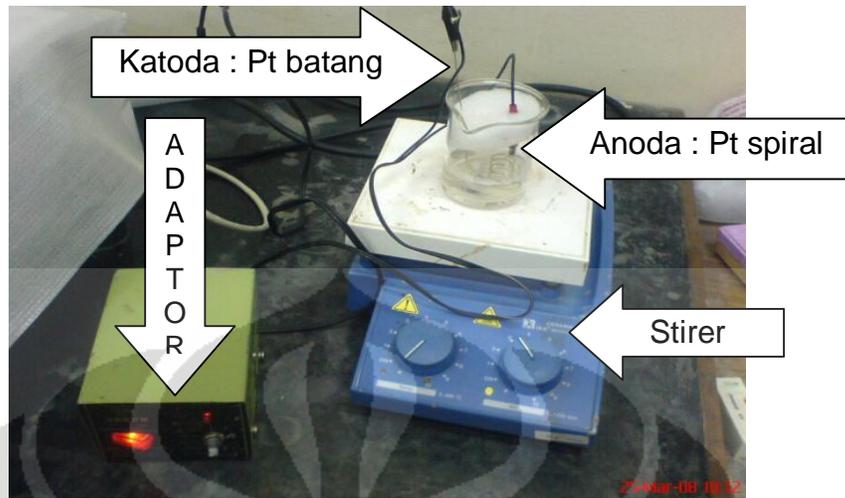
Gambar 4.39 Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M



Gambar 4.40 Kurva kenaikan % konversi penurunan nilai COD teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M



Gambar 4.41 Jenis elektroda platina yang digunakan



Gambar 4.42 Rangkaian sel elektrokimia yang digunakan



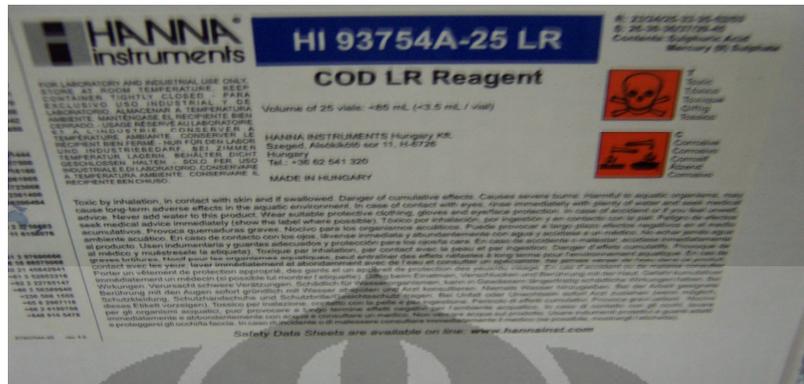
(a)

(b)

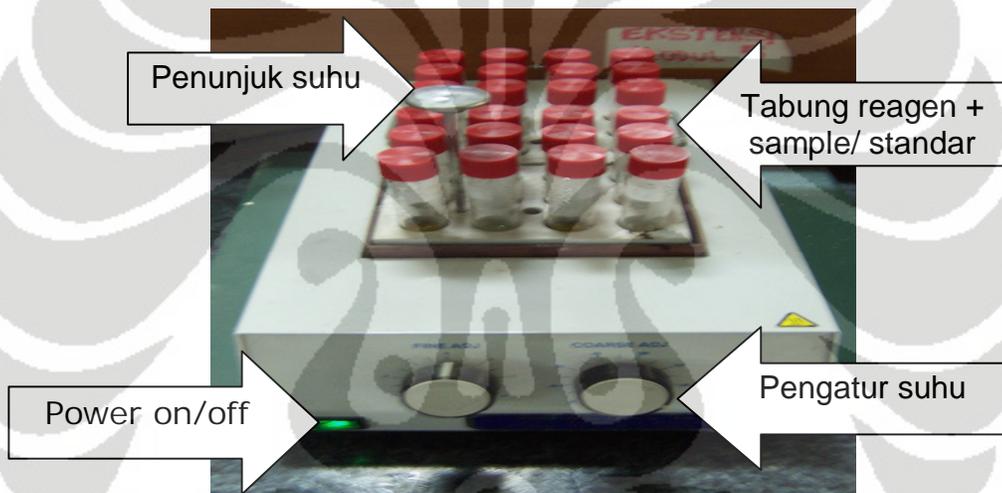
Gambar 4.43 Spektrofotometer UV-Vis pengukuran konsentrasi fenol (a), COD fenol (b)



Gambar 4.44 Contoh warna larutan fenol + metode 4-amino antipirin untuk pengukuran fenol dengan spektrofotometer UV-Vis pada ketiga teknik



Gambar 4.45 Jenis reagen COD (LR reagent = Low Range Reagent = 0-150 ppm) merek Hanna instrument



Gambar 4.46 Alat COD digester block

t (menit)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)
0	1.041	2.317	48.657	51.343
15	0.964	2.132	44.772	55.228
30	0.877	1.924	40.404	59.596
45	0.695	1.489	31.269	68.731
75	0.73	1.573	33.033	66.967

Tabel 4.4 Penurunan konsentrasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada penentuan waktu optimum

m (gram)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)
0.2	0.812	2.436	51.156	48.844
0.4	0.636	1.895	39.795	60.205
0.6	0.562	1.665	34.965	65.035
0.8	0.435	1.275	26.775	73.225
1	0.426	1.247	26.187	73.813
1.2	0.418	1.223	25.683	74.317

Tabel 4.5 Penurunan konsentrasi larutan fenol pada penentuan jumlah karbon optimum

m (gram)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)
0.2	0.84	2.307	48.447	51.553
0.4	0.818	2.246	47.166	52.834
0.6	0.688	1.881	39.501	60.499
0.8	0.336	0.895	18.795	81.205
1	0.29	0.765	16.065	96.661
1.2	0.28	0.737	15.477	84.523

Tabel 4.6 Penurunan konsentrasi larutan fenol + NaCl 0,1 M pada penentuan jumlah karbon optimum

C (ppm)	A	C (ppm)	A
0.5	0.1205	0.5	0.1295
1	0.2531	1	0.2445
1.5	0.3784	1.5	0.4115
2	0.5394	2	0.5076
2.5	0.6652	2.5	0.66

(a)

(b)

Tabel 4.7 Standar penentuan isoterm adsorpsi larutan fenol (a), larutan fenol + NaCl 0,1 M (b)

m (gram)	C (ppm)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	log C2	log X/m
1.0051	25	0.0446	0.2399	5.0379	19.9621	0.1996	0.1986	0.7022	-0.702
1.0035	50	0.1023	0.4493	9.4353	40.5647	0.4057	0.4043	0.9748	-0.3933
1.0032	75	0.2181	0.8701	18.2721	56.7279	0.5673	0.5655	1.2618	-0.2476
1.0056	100	0.4093	1.5649	32.8629	67.1371	0.6714	0.6677	1.5167	-0.1754

Tabel 4.8 Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol

m (gram)	C (ppm)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)	X (mg)	X/m (mg/g)	log C2	log X/m
1.0013	25	0.0269	0.1267	2.6607	22.3393	0.2234	0.2231	0.425	-0.6515
1.0002	50	0.0829	0.338	7.098	42.902	0.429	0.4289	0.8511	-0.3676
1.0019	75	0.2011	0.7845	16.4745	58.5255	0.5853	0.5842	1.2168	-0.2334
1.0001	100	0.3115	1.2013	25.2273	74.7727	0.7077	0.7053	1.4019	-0.1516

Tabel 4.9 Isoterm adsorpsi Freundlich larutan fenol + NaCl 0,1 M

C2 (ppm)	X/m (mg/g)	C2/(X/m)	C2 (ppm)	X/m (mg/g)	C2/(X/m)
5.0379	0.1986	25.3671	2.6607	0.2231	11.926
9.4353	0.4043	23.3374	7.098	0.4289	16.5493
18.2721	0.5655	32.3114	16.4745	0.5842	28.2001
32.8629	0.6677	49.2181	25.2273	0.7053	35.7682

(a)

(b)

Tabel 4.10 Isoterm adsorpsi Langmuir larutan fenol (a),
larutan fenol + NaCl 0,1 M (b)

C (ppm)	A	C (ppm)	A
0.5	0.154	0.5	0.1284
1	0.3143	1	0.279
1.5	0.4494	1.5	0.3965
2	0.6807	2	0.5211
2.5	0.7883	2.5	0.6457

(a)

(b)

Tabel 4.11 Standar penentuan voltase optimum 4V (a),
5V (b) larutan fenol + NaCl 0,1 M

Keterangan tabel :

C1 dan C = konsentrasi terukur pada UV-Vis $F_p = 63/3 \times = 21 \times$

C2 = C1 x faktor pengenceran (Fp) = C sisa v stirer = 360 rpm

C3 = konsentrasi yang teradsorpsi m = massa karbon aktif (gram)

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

A = absorbansi t = waktu perlakuan larutan tiap teknik

t (menit)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)	t (menit)	A	C1 (ppm)	C2 (ppm)
0	0.5994	2.3039	34.5585	0	0.8115	2.5219	37.8285
15	0.616	2.3688	35.532	15	0.7209	2.245	33.675
30	0.5679	2.1804	32.706	30	0.6507	2.0304	30.456
45	0.5871	2.2556	33.834	45	0.438	1.6717	25.075
75	0.5636	2.1637	32.4555	75	0.4231	1.6136	24.204

(a)

(b)

Tabel 4.12 Perbandingan teknik elektrolisis/oksidasi variasi voltase larutan fenol + NaCl 0,1 M dengan potensial 4V (a) dan 5V (b) $\rightarrow F_p = 75/5 \times = 15 \times$

C (ppm)	A
0.5	0.1642
1	0.2992
1.5	0.4757
2	0.5613
2.5	0.7399

Tabel 4.13 Standar teknik kombinasi (adsorpsi-oksidasi)

t (menit)	C1 (ppm)	C2 (ppm)	A	% konversi
0	2.012	30.18	0.913	0
15	1.582	23.73	0.734	21.37
30	1.451	21.765	0.679	27.88
45	1.443	21.645	0.675	28.28
75	1.414	21.21	0.663	29.72

Tabel 4.14 Teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M $\rightarrow F_p = 75/5 \times = 15 \times$

t (menit)	C1 (ppm)	C2 (ppm)	A	% konversi
0	2.5219	37.8285	0.8115	0
15	2.245	33.675	0.7209	10.98
30	2.0304	30.456	0.6507	19.49
45	1.6717	25.075	0.438	30.97
75	1.6136	24.204	0.4231	36.02

Tabel 4.15 Teknik elektrolisis/oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M \rightarrow Fp = 15 x

t (menit)	C1 (ppm)	C2 (ppm)	A	% konversi
0	2.7514	41.271	0.8018	0
15	2.1697	32.5455	0.6374	21.14
30	2.0623	30.9345	0.607	25.05
45	1.599	23.985	0.4761	41.88
75	1.3597	20.3955	0.4084	50.58

Tabel 4.16 Teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M \rightarrow Fp = 75/5 = 15 x

Standar COD (ppm)	Absorbansi terukur	Absorbansi blanko - standar
0	1.008	0
20	0.89	0.118
50	0.796	0.212
80	0.639	0.369
120	0.323	0.685
150	0.195	0.813

Tabel 4.17 Penurunan absorbansi standar COD

t (menit)	A1	A2	COD sampel	% konversi
0	0.202	0.806	760.38	0
15	0.319	0.689	650	14.52
30	0.331	0.677	638.70	16
45	0.341	0.667	629.25	17.25
75	0.361	0.647	610.38	19.73

Tabel 4.18 Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik adsorpsi larutan fenol + NaCl 0,1 M \rightarrow Fp = 5x

t (menit)	A1	A2	COD sampel	% konversi
0	0.14	0.868	818.87	0
15	0.176	0.832	784.91	4.15
30	0.198	0.81	764.15	6.68
45	0.224	0.784	739.62	9.68
75	0.246	0.762	718.87	12.21

Tabel 4.19 Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik elektrolisis/oksidasi larutan fenol + NaCl 0,1 M \rightarrow Fp = 5x

t (menit)	A1	A2	COD sampel	% konversi
0	0.269	0.739	697.17	0
15	0.28	0.728	686.79	1.49
30	0.306	0.702	662.26	5
45	0.319	0.689	650	6.77
75	0.353	0.655	617.92	11.37

Tabel 4.20. Penurunan nilai COD dan kenaikan % konversi teknik kombinasi larutan fenol + NaCl 0,1 M \rightarrow Fp = 5x

Keterangan tabel :

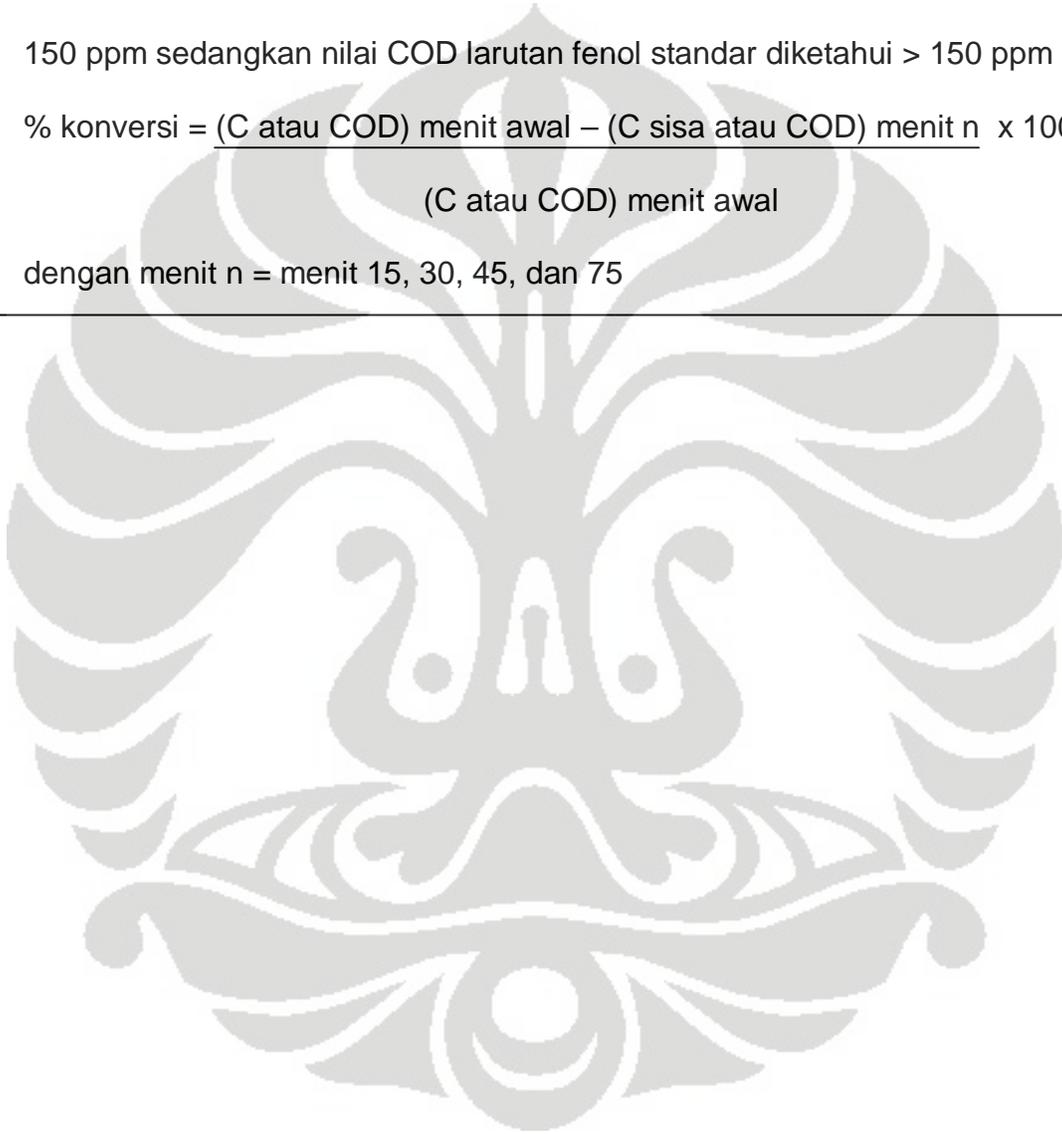
A1 = absorbansi larutan terukur pada UV-Vis

A2 = A blanko (1,008) – A1

Fp = 5 x → perlu diencerkan karena range reagen COD yang digunakan 0-150 ppm sedangkan nilai COD larutan fenol standar diketahui > 150 ppm

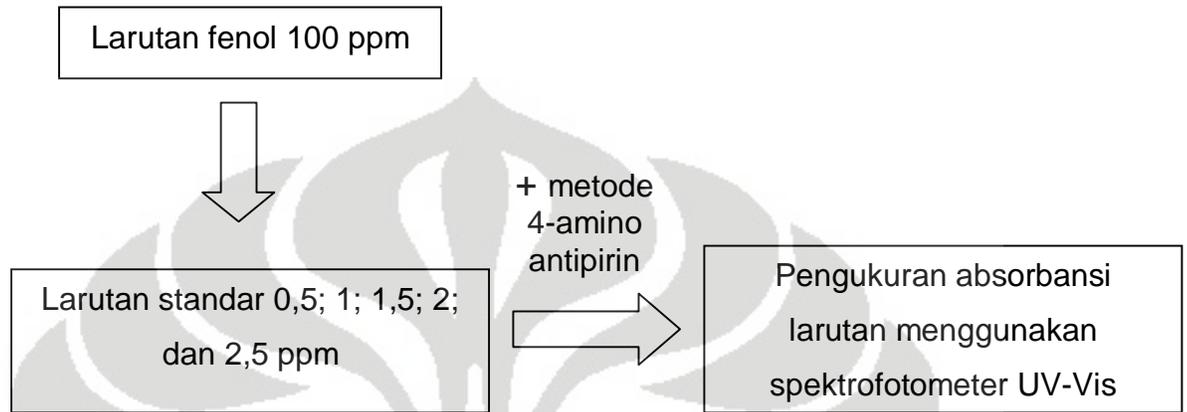
% konversi = $\frac{(C \text{ atau COD) menit awal} - (C \text{ sisa atau COD) menit } n}{(C \text{ atau COD) menit awal}} \times 100\%$

dengan menit n = menit 15, 30, 45, dan 75



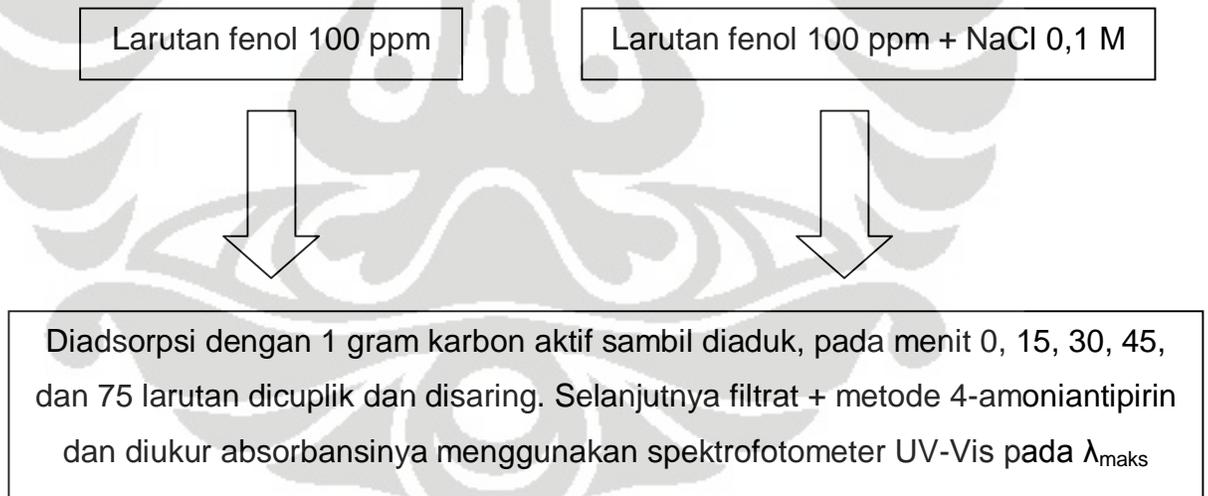
SKEMA KERJA

I. PENENTUAN SERAPAN MAKSIMUM FENOL

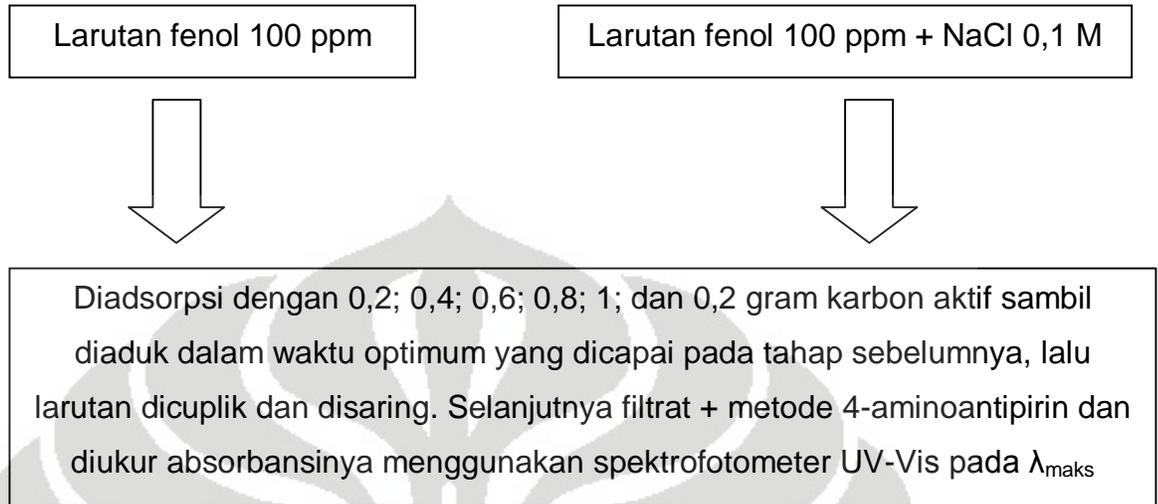


II. TEKNIK ADSORPSI

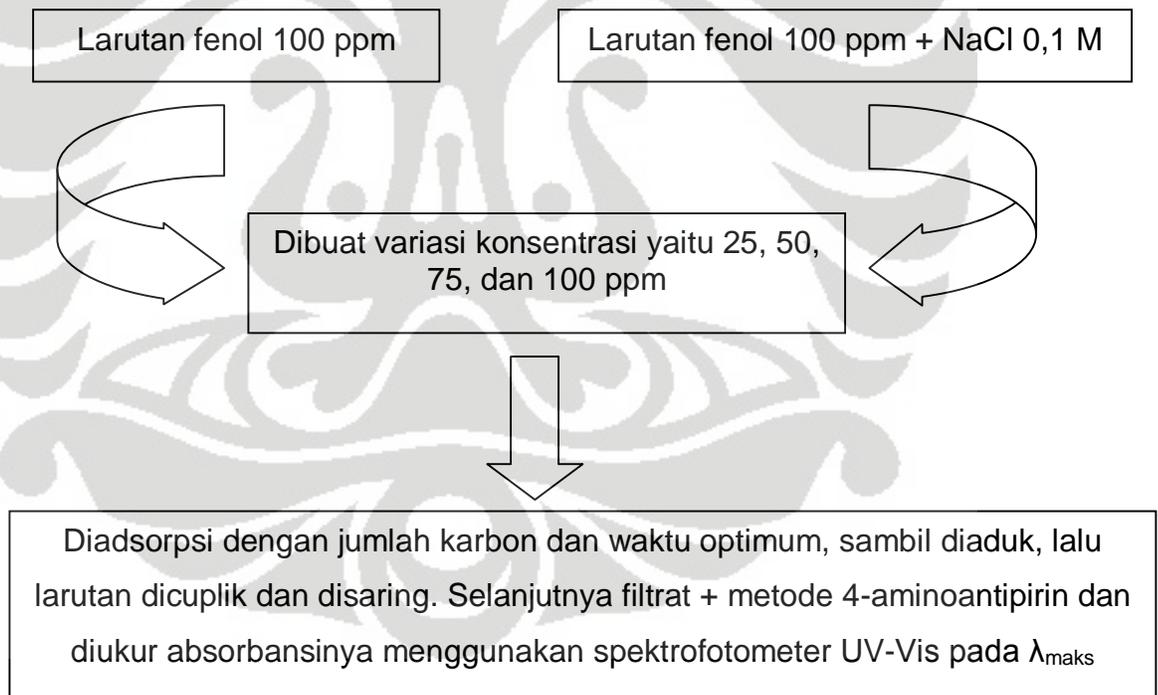
➤ Optimasi Waktu Kontak



➤ **Optimasi Jumlah Karbon Aktif**



➤ **Isoterm Adsorpsi**



III. TEKNIK OKSIDASI

➤ Voltametri Siklik

Larutan fenol



Voltametri siklik menggunakan elektroda Pt spiral sebagai elektroda kerja, elektroda Pt batang sebagai elektroda pendukung, dan elektroda *reference* Ag/AgCl dengan *scan rate* dan waktu tertentu

➤ Optimasi Potensial

Larutan fenol 100 ppm + NaCl 0,1 M



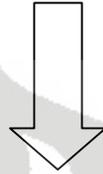
Dioksidasi dengan elektroda Pt spiral dan Pt batang dalam sel elektrokimia yang diaduk dengan kecepatan konstan dan potensial bervariasi yaitu 4 dan 5 Volt



Pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75 larutan hasil oksidasi dicuplik dan ditambah metode 4-aminoantipirin. Selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks}

IV. TEKNIK KOMBINASI ADSORPSI DAN OKSIDASI

Larutan fenol 100 ppm + NaCl 0,1 M



Dioksidasi dengan elektroda Pt spiral dan Pt batang dalam sel elektrokimia yang diaduk dengan kecepatan konstan dan potensial optimum serta sekaligus diadsorpsi dengan sejumlah karbon optimum



Larutan hasil oksidasi dicuplik dan disaring pada menit 0, 15, 30, 45, dan 75. Selanjutnya filtrat + metode 4-aminoantipirin dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks}