



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

DAYA ADSORPSI BATUBARA TERHADAP FENOL DAN ION TIMBAL

TESIS



**FAIZAR FARID
04209014**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2009**

Daya Adsorpsi Batubara Terhadap Fenol dan Ion Timbal

Oleh : Faizar Farid

(Dibawah bimbingan Edison Munaf dan Hamzar Suyani)

RINGKASAN

Provinsi Jambi mempunyai deposit batubara sekitar 2,75% dari total kandungan batubara nasional. Sumberdaya alam ini tersebar pada enam kabupaten. Dari sekitar 400 juta ton deposit yang ada, 60% diantaranya merupakan batubara peringkat rendah (low range coal) dengan nilai kalori antara 4.500 s/d 5.600 k.kal/kg dan kadar air 35%. Dari sejumlah itu hanya 20% dipakai dalam provinsi dan 26% keluar daerah, artinya masih ada separuh lebih produksi itu yang menumpuk disekitar lokasi penambangann dan pelabuhan. Bila hal ini terus menerus terjadi, maka lambat laun akan menjadi beban terhadap lingkungan.

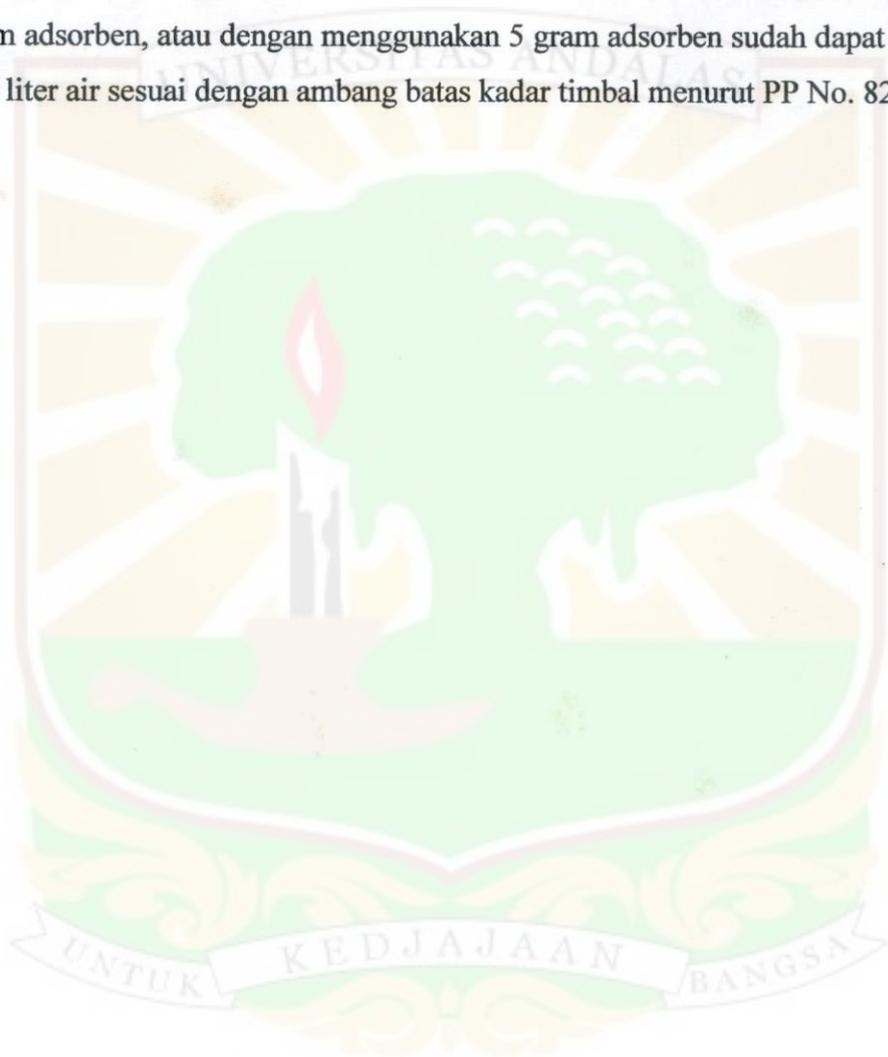
Beberapa diversifikasi manfaat sudah dilakukan, antara lain membuat briket, menjadikan batubara cair, atau sebagai adsorben dalam menyerap beberapa polutan di alam karena permukaan batubara mempunyai gugus fungsi dioksin, fenolat, amina, piran, dll.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari kondisi optimum penyerapan arang aktif batubara yang terlebih dahulu diaktivasi dengan KOH dan asam fosfat dalam menyerap fenol dan ion timbal. Kondisi itu meliputi ratio batubara dengan aktivator, pH, dan berat arang aktif. Kondisi optimum yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk mengukur service volume dan breakthrough.

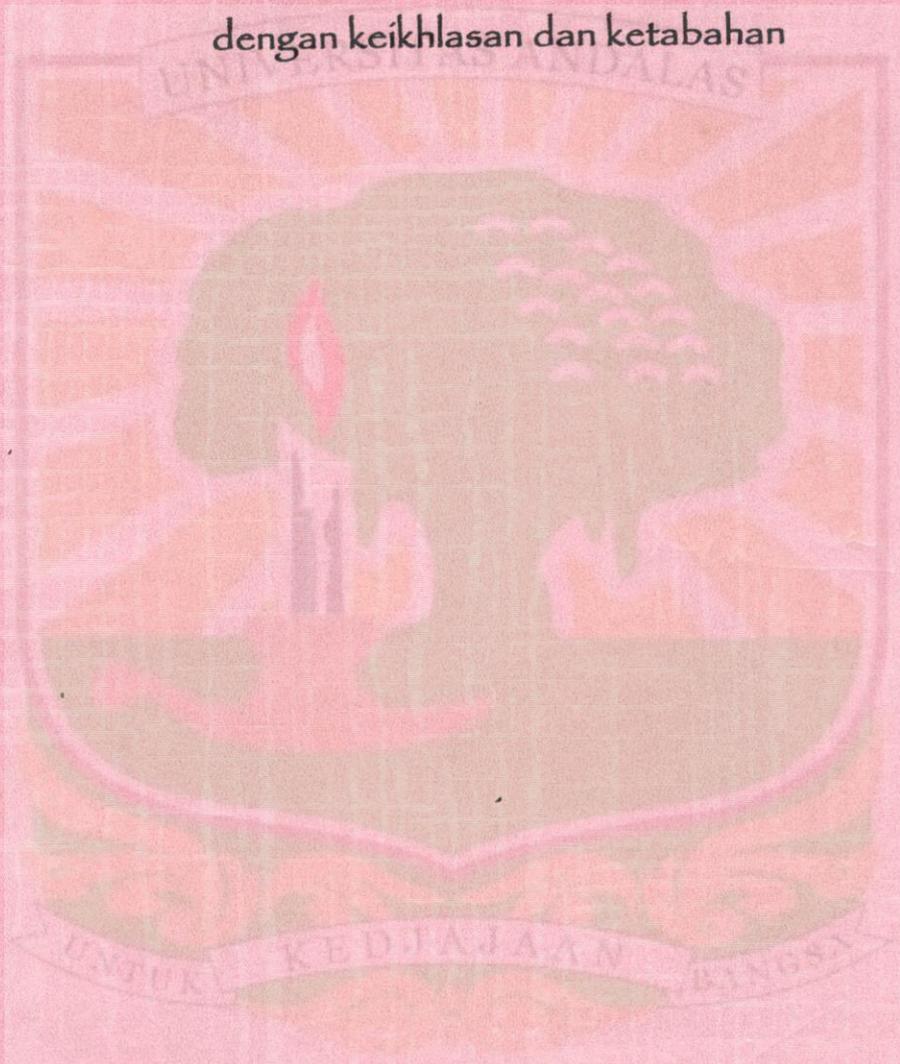
Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang aktif yang diaktivasi dengan asam fosfat memperoleh berat arang lebih besar dari ativator KOH pada ratio 1:1. Penyerapan terbesar fenol terjadi pada pH 10, sementara ion timbal pada pH 6. Berat adsorben yang diaktivasi dengan KOH dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan aktivator asam fosfat

dalam menyerap fenol, namun yang yang berlawanan terjadi pada penyerapan ion timbal.

Dari penelusuran terhadap service volume dan breakthrough, dapatlah diestimasi pemanfaatan metode adsorpsi ini untuk merancang sistim Instalasi Pengolah Limbah (IPAL) yang sederhana, misalnya untuk mengolah limbah yang mengandung 20 mg/l fenol menjadi 9,12 mg/l, dibutuhkan volume sebesar 1.550 ml dengan kolom yang berisi 5 gram adsorben, atau dengan menggunakan 5 gram adsorben sudah dapat membersihkan 576,9 liter air sesuai dengan ambang batas kadar timbal menurut PP No. 82 Tahun 2001.



Terima kasih Ya Allah,
karena telah Engkau isi sanubari istri dan anak-anakku
dengan keikhlasan dan ketabahan



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 17 Desember 1958 di Sungai Penuh Kerinci, sebagai anak tertua dari Ayah Farid Karim dan Ibu Soewarni. Penulis menamatkan SD Pertamina Tempino Jambi pada tahun 1971, SMPN 1 Sungai Penuh Kerinci tahun 1974, dan SMA Negeri Sungai Penuh tahun 1977. Tahun 1978 penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas Padang dan memperoleh gelar pada tahun 1987.

Sejak tahun 1989 sampai sekarang penulis ditugaskan sebagai staf pengajar di PMIPA FKIP Universitas Jambi. Pada tahun 2004 memperoleh kesempatan meneruskan pendidikan pada Program Pascasarjana, Universitas Andalas, di Padang dengan sponsor beasiswa BPPS.



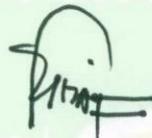
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi tesis dengan judul “**Daya Adsorpsi Batubara Terhadap Fenol dan Ion Timbal**” adalah hasil penelitian dan karya saya sendiri dan bukan merupakan jiplakan ataupun tiruan dari hasil karya orang lain, kecuali kutipan yang sumbernya dicantumkan.

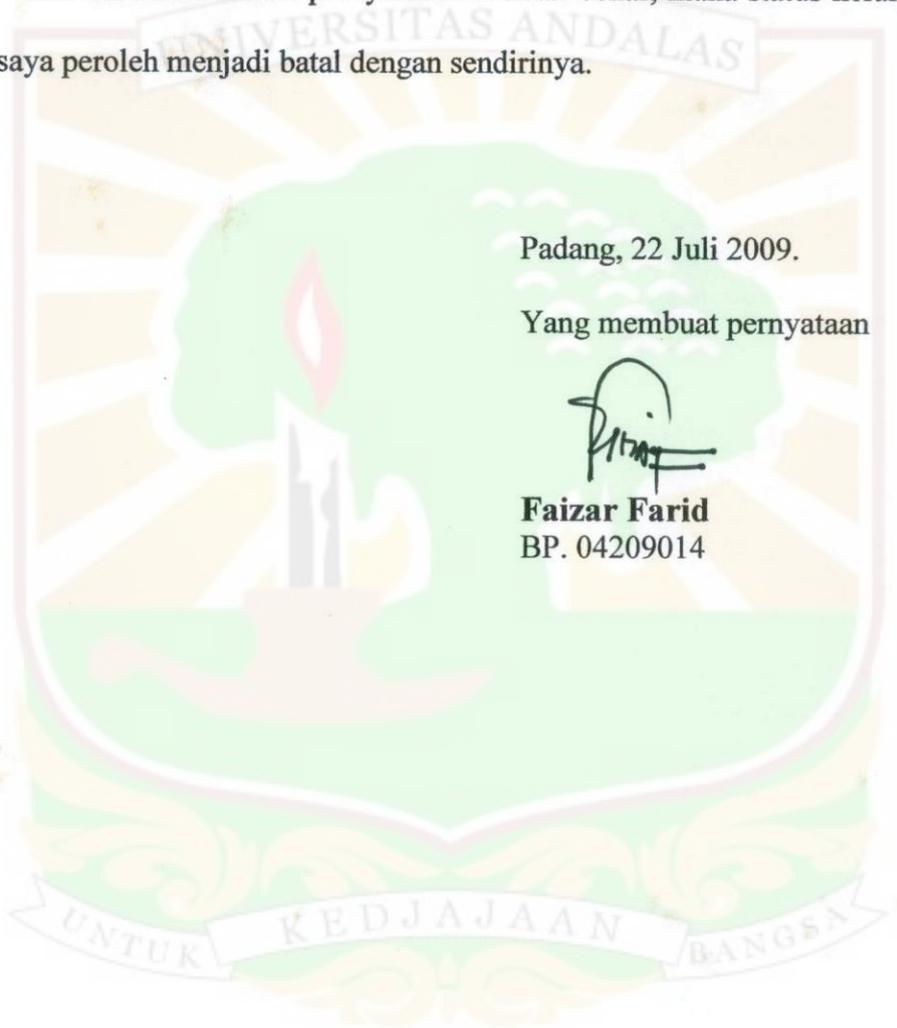
Jika dikemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, 22 Juli 2009.

Yang membuat pernyataan



Faizar Farid
BP. 04209014



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat serta Hidayah Nya hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan hasilnya ditulis dalam bentuk tesis yang berjudul **“Daya Adsorpsi Batubara Terhadap Fenol dan Ion Timbal”**.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih banyak kepada Bapak Prof. Dr. Edison Munaf, M. Eng sebagai ketua komisi pembimbing dan Bapak Prof. Dr. Hamzar Suyani, M. Sc sebagai anggota komisi pembimbing atas saran, arahan dan bimbingannya selama penelitian dan penulisan tesis ini. Selanjutnya ucapan terimakasih penulis tujukan kepada Bapak Prof. Dr. Nurdin M. Suin, MS dan Bapak Dr. Ardinis Arbain atas dorongan semangat yang telah diberikan. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ibu Prof. Dr. Rahmiana Zein dan Bapak Prof. Dr. Emriadi, MS yang telah memberikan kritikan serta masukan dalam menyelesaikan tulisan ini.

Kepada Bapak Dr.rer.nat Rayandra Asyhar, M. Si dan Bapak Prof. Sutrisno, M. Sc., Ph. D, penulis ucapkan terima kasih atas keikhlasannya meminjamkan penulis beberapa peralatan serta referensi, dan Dr. Asrial, M. Si beserta staf di Up MIPA Universitas Jambi, Dr. Damris Muhammad beserta staf Laboratorium PMIPA FKIP Universitas Jambi, juga kepada adik-adik mahasiswa, Jaelani, Eliasar, Yudha, Roy, dan Putra yang banyak membantu. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada semua pihak terutama dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jambi, Dinas Pertambangan Provinsi Jambi, rekan-rekan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas dan rekan-rekan di Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang.

Akhirnya penulis berharap semoga hasil penelitian yang dituangkan dalam tesis ini akan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan terutama dalam pemanfaatan batubara.

Padang, Juli 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Fenol	4
2.2. Timbal	5
2.3. Tinjauan Absorpsi	7
2.4. Absorben Batubara Aktif	9
III. METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1. Tempat dan Waktu	12
3.2. Bahan dan Alat	12
3.3. Prosedur Penelitian	12
3.3.1. Pembuatan larutan	12
3.3.2. Karakterisasi Batubara	13
3.3.3. Proses Aktivasi	13
3.3.4. Penentuan Kondisi Optimum	13

3.3.5. Uji Keaktifan	15
3.3.6. Teknik Kolom (dynamic sorption)	16
IV. HASIL DAN DISKUSI	17
4.1. Karakterisasi Batubara	17
4.2. Aktivasi	18
4.3. Pengujian Daya Serap Terhadap Fenol	19
4.3.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	19
4.3.2. Kurva kalibrasi standard	19
4.3.3. Penentuan ratio optimum	20
4.3.4. Penentuan pH optimum	22
4.3.5. Penentuan berat absorben maksimum	23
4.3.6. Pengukuran Service Volume dan Breakthrough	24
4.4. Pengujian Daya Serap terhadap Ion Pb	25
4.4.1. Kurva kalibrasi standard	25
4.4.2. Penentuan ratio optimum	26
4.4.3. Penentuan pH optimum	26
4.4.4. Penentuan berat absorben maksimum	27
4.4.5. Pengukuran Service Volume dan Breakthrough	28
V. KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1. Kesimpulan	30
5.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

DAFTAR GAMBAR

Halaman

1. Diagram skematis berbagai reaksi dalam sintesis hem, panah besar menunjukkan reaksi yang dihambat oleh Pb	6
2. Alur Proses Adsorpsi dan Desorpsi	7
3. Beberapa tipe adsorpsi klasifikasi IUPAC	8
4. Struktur Pori	11
5. Kurva Kalibrasi Standar Fenol	20
6. Kurva ratio (berat batubara : activator) terhadap penyerapan fenol	21
7. Kurva variasi pH terhadap penyerapan fenol	22
8. Kurva variasi berat absorben yang digunakan terhadap penyerapan fenol ...	23
9. Service Volume dan Breakthrough yang digunakan terhadap penyerapan fenol	24
10. Kurva kalibrasi standar Pb	25
11. Kurva ratio (berat batubara : activator) terhadap penyerapan Pb	26
12. Kurva variasi pH terhadap penyerapan Pb	27
13. Kurva variasi berat absorben yang digunakan terhadap penyerapan Pb	28
14. Service Volume dan Breakthrough yang digunakan terhadap penyerapan Pb	29



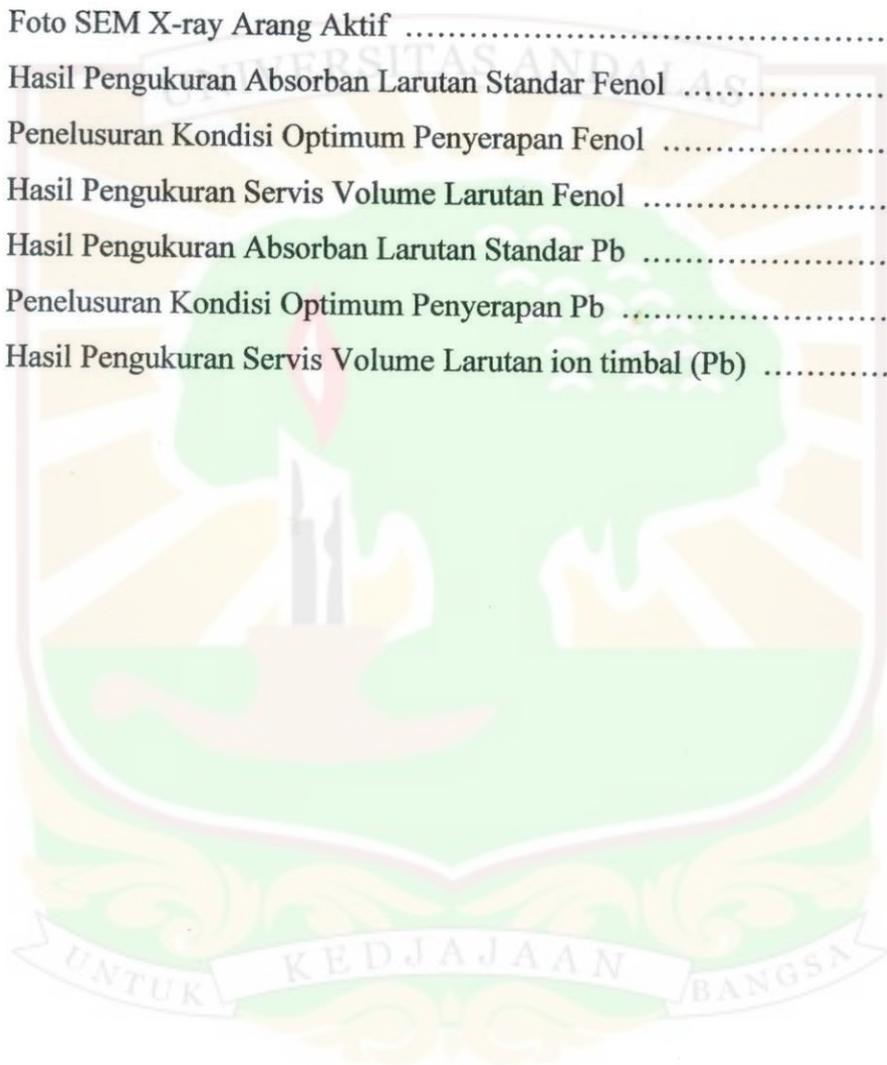
DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Profil Batubara di Provinsi Jambi	1
2. Beberapa sifat fenol dan 4-nitrofenol	5
3. Gambaran beberapa komponen berdasarkan pengukuran dengan SEM X-ray	17
4. Persentase berat arang aktif yang dihasilkan, berdasarkan perhitungan berat awal	18



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Sertifikat Analisis SEM X-ray Batubara	34
2. Foto SEM X-ray Batubara	35
3. Sertifikat Analisis SEM X-ray Arang Aktif	35
4. Foto SEM X-ray Arang Aktif	37
5. Hasil Pengukuran Absorban Larutan Standar Fenol	38
6. Penelusuran Kondisi Optimum Penyerapan Fenol	39
7. Hasil Pengukuran Servis Volume Larutan Fenol	40
8. Hasil Pengukuran Absorban Larutan Standar Pb	41
9. Penelusuran Kondisi Optimum Penyerapan Pb	42
10. Hasil Pengukuran Servis Volume Larutan ion timbal (Pb)	43



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Provinsi Jambi mempunyai deposit batubara sekitar 2,75% dari total kandungan batubara nasional. Sumberdaya ini tersebar pada enam kabupaten. Dari sekitar 400 juta ton deposit yang ada, 60% diantaranya merupakan batubara peringkat rendah (low range coal) dengan nilai kalori antara 4.500 s/d 5.600 k.kal/kg dan kadar air 35%. Sebagian kecil batubara itu digunakan dalam provinsi, yaitu 30.926 ton/tahun untuk bahan bakar pabrik pulp di Kabupaten Tanjung Jabung Barat dan sekitar 15.350 ton/tahun untuk boiler dan sterilisasi pada pabrik CPO. Sebagian lagi diekspor, baik melalui pelabuhan Jambi maupun bergabung dengan hasil produksi dari Sumatera Barat dan Sumatera Selatan. Karena pemanfaatannya masih sangat terbatas, dikhawatirkan akan ada akumulasi limbah padat, yang kelak akan membebani lingkungan.

Tabel 1. Profil Batubara di Provinsi Jambi

No	Profil	
1	Total Deposit (ton)	2,761,438,182
2	Jenis	<i>Sub bitubinus</i>
3	Klasifikasi	<i>low range coal</i>
4	Nilai Kalori Kkal/kg	4.500 s/d 5.600
5	Kadar air (%)	35
6	Pemakaian dlm provinsi (%)	20
7	Ke luar daerah (%)	26

Sumber : Dinas Pertambangan Prov. Jambi

Berbagai upaya diversifikasi terhadap pemanfaatan batubara telah banyak dilakukan, antara lain pembuatan briket batubara dan batubara cair untuk keperluan bahan bakar pengganti bahan bakar minyak. Berbagai jenis batu bara Indonesia telah

diuji dan memberikan hasil yang sangat menjanjikan. Hasil tertinggi diperoleh dari batu bara Bangko dari Kabupaten Merangin Provinsi Jambi, dengan produksi minyak sekitar 70 persen. Dibandingkan dengan batu bara Yallourn dari Australia yang hanya menghasilkan minyak di bawah 60 persen, hasil Bangko sangat signifikan, terutama dilihat dari segi biaya dan harga minyak yang dihasilkan dari batubara (Sutrisno, 2007).

Disamping itu, karena mengandung karbon yang cukup tinggi serta struktur fisiknya yang berpori, batubara dapat pula dimanfaatkan untuk mengadsorpsi ion-ion logam ataupun polutan lain. Namun untuk tujuan ini, diperlukan proses aktivasi serta karakterisasi agar batubara tersebut dapat menjadi karbon aktif.

Beberapa penelitian sudah dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan penyerap lain. Zein R, dkk (2001) meneliti penyerapan klorofenol dengan menggunakan sekam padi sebagai adsorben. Ternyata sekam padi menghasilkan efisiensi penyerapan yang hampir sama dengan adsorben komersil, yaitu selulosa dan silika. Asyhar (2002) yang dapat menyerap zat warna diazo dan metilen biru dengan pemakaian adsorben minyak bumi (green coke), Munaf, dkk (2000) memanfaatkan lumut sebagai penyerap ion logam Cu, Cd, Cr, dan Zn dalam air limbah, lebih lanjut Munaf, dkk (1999) menggunakan biosorben kulit kacang dalam menyerap ion Crom dari air limbah, demikian juga yang dilakukan Sunarno, dkk (2005), menggunakan serbuk gergaji dalam menyerap ion tembaga.

Disamping spesi-spesi sebagaimana dikemukakan di atas, fenol dan timbal merupakan polutan yang sering dijumpai di perairan tertentu. Oleh karena itu pemerintah perlu menetapkan kadar ambang batas yang diperkenankan, dan hal ini direalisasikan dalam bentuk Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

Sehubungan dengan hal itu, untuk mencari metoda yang efisien dan akurat dalam menganalisis beberapa polutan, akan dicoba meneliti daya adsorpsi karbon aktif batubara terhadap senyawa fenol dan ion timbal (Pb^{+2}).

1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah batubara dapat digunakan untuk menyerap fenol dan timbal dari larutannya.
2. Berapakah kapasitas optimal daya serap batubara terhadap fenol dan timbal.
3. Variabel-variabel apakah yang mempengaruhi daya serap batubara terhadap fenol dan timbal.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mempelajari teknik pengaktifan batubara yang lebih efektif dan efisien untuk menghasilkan adsorben yang cocok digunakan dalam penjernihan air.
2. Mempelajari daya, kinetika dan model adsorpsi batubara terhadap fenol dan timbal.
3. Mempelajari efektivitas penggunaan adsorben batubara dalam proses pengolahan air limbah.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Menelusuri diversifikasi manfaat bagi batubara.
2. Memberikan masukan kepada masyarakat tentang manfaat batubara dalam membangun unit Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL) sederhana dan murah.
3. Membantu kebijakan pemerintah dalam menjaga kelestarian lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenol

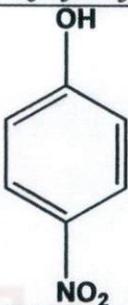
Dalam disertasinya, Asyhar (2002) menyatakan bahwa pemilihan fenol sebagai model polutan organik, disebabkan karena senyawa ini biasanya tercampur dalam air limbah dan dapat mengakibatkan polusi terhadap lingkungan.

Fenol merupakan senyawa aromatic berupa Kristal putih, berbau khas dan sudah sudah lama dikenal sebagai campuran yang toksik dan karsinogenik, oleh karena itu, fenol dan fenolat telah dinyatakan sebagai polutan organik utama yang menempati urutan ke 11 dari 129 elemen dan campuran lain. Polutan ini dibagi dalam 9 grup polutan organik utama.

Sebagai turunan dari fenol, 4-nitrofenol juga dikenal sebagai bahan yang toksik dan dapat menimbulkan mutagen. Bahan ini sangat berbahaya jika tertelan, terhirup dan diserap melalui kulit, mata, iritasi kulit dan pernafasan, dan korosif. Fenol tergolong senyawa beracun berbahaya (B3) dan dengan kandungan 0,1 mg/L dapat menyebabkan gangguan sakit kepala, mual, pecah pembuluh darah, yang pada akhirnya mempengaruhi sistim syaraf, paru-paru, hati, pankreas dan limfa. Senyawa fenol tidak mudah didegradasi secara biologisn dan beracun untuk berbagai tipe mikroorganisme pada konsumsi yang cukup tinggi.

Beberapa perbedaan antara fenol dan 4-nitrofenol dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Beberapa sifat fenol dan 4-nitrofenol

No	Sifat-Sifat	Fenol	4-nitrofenol
1	Rumus molekul	C_6H_6O	$C_6H_5NO_3$
2	Rumus senyawa		
3	Berat molekul	94,1	139,1
4	Titik leleh (oC)	39-41	113-115
5	Titik didih (oC)	180-181	279
6	Stabilitas dalam air	93 g/L	12,9 g/L

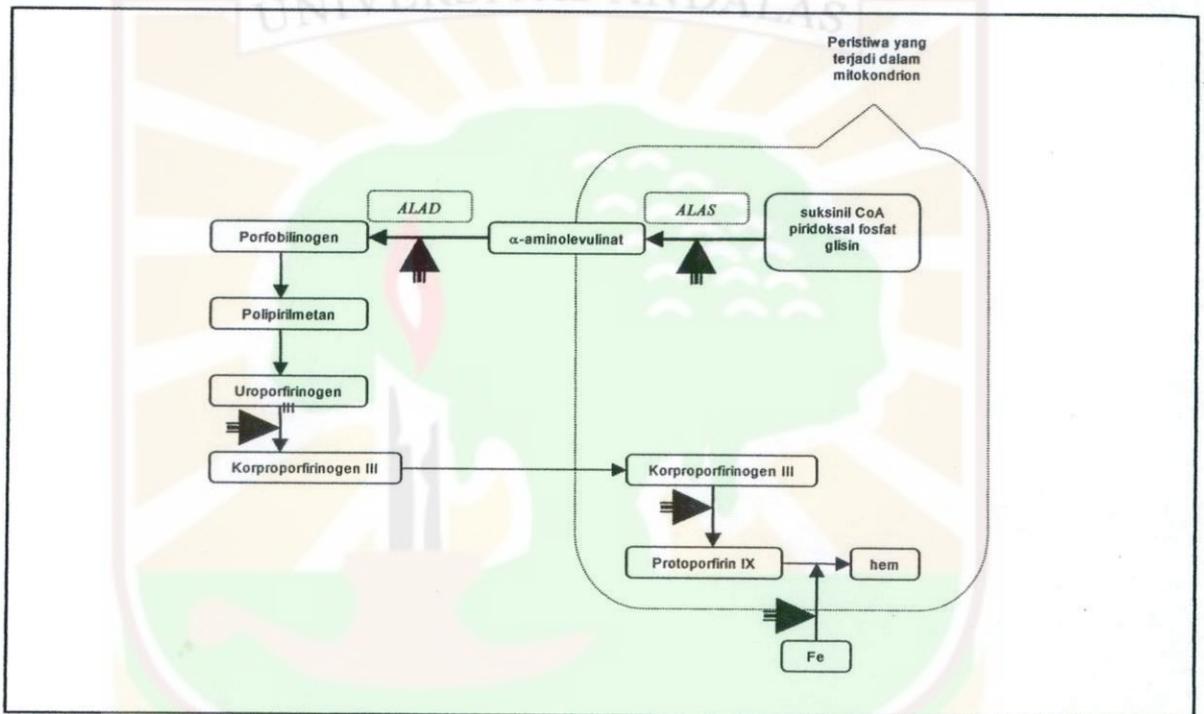
2.2. Timbal

Logam timbal memasuki hidrosfir dari berbagai sumber. Di dalam sistim air tawar, pelapukan kimia pada batu-batuan perapian dan metamorfik pada tanah di dalam cekungan perairan merupakan sumber paling penting. Urutan kedua adalah pengendapan dan kejatuhan dari atmosfer. Logam-logam di atmosfer pada umumnya berasal dari debu vulkanis, erosi/pelapukan, asap kebakaran hutan dan dari aerosol dan partikulat dari permukaan lautan (Connell , 1995). Lebih lanjut dikatakan bahwa limbah rumah tangga yang berasal dari sampah-sampah metabolik, korosi pipa-pipa air dan produk-produk konsumen lain merupakan sumber dari logam-logam.

Penggunaan utama dalam industri, misalnya sebagai zat tambahan bahan bakar dan pigmen timbal dalam cat, yang merupakan penyebab utama tingginya kadar timbal di lingkungan. Meskipun penggunaan di atas sudah banyak dikurangi, namun penggunaan pada aki mobil dan kabel tidak banyak berkurang. Air minum dapat

tercemar karena penggunaan pipa PVC berlapis timbal. Disamping itu ada lagi peralatan keramik berglasur merupakan sumber timbal yang lain.

Timbal bersifat karsinogen terhadap hewan pengerat, namun terhadap manusia belum banyak buktinya (Lu, 1999). Timbal juga mengganggu sistim reproduksi, terutama melalui gametotoksisitas pada hewan betina yang mengakibatkan kemandulan, aborsi, dan kematian neonatal.



Gambar 1. Diagram skematis berbagai reaksi dalam sintesis hem, panah besar menunjukkan reaksi yang dihambat oleh Pb.

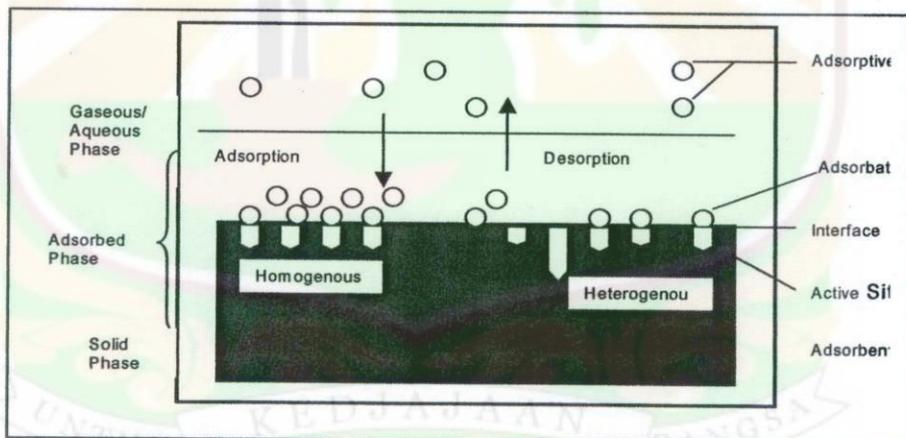
Pada dasarnya, kerja utama logam Pb adalah menghambat fungsi suatu enzim, misalnya Pb dapat menggantikan fungsi Zn dalam aktivitas asam δ-aminolevulinathidratase (ALAD), sebagaimana terlihat pada gambar 1. Penghambatan ALAD terjadi pada kadar Pb sebesar 10 µg/dl atau lebih rendah. Akibatnya, ALAD

tidak akan diproses menjadi porfobilinogen sehingga akan dibuang ke dalam urin pada konsentrasi 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$, dan anemia hanya akan terjadi pada sekitar 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$.

2.3. Tinjauan Adsorpsi

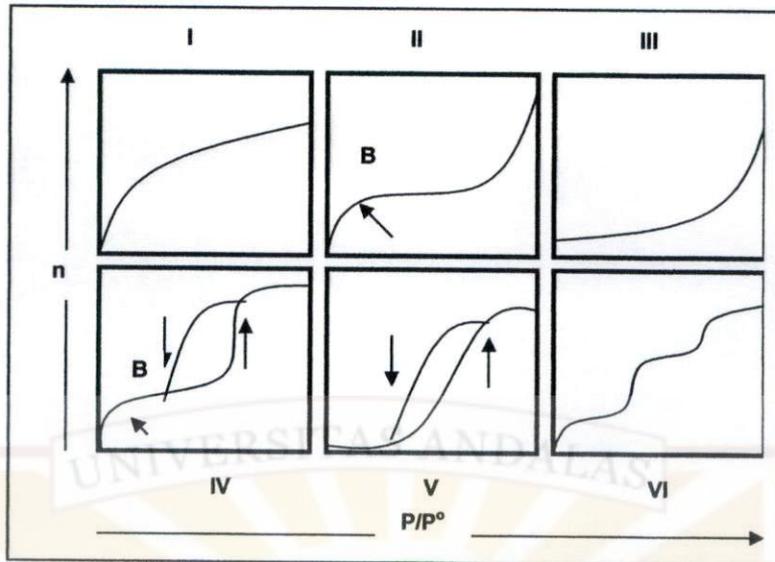
Sebagaimana dijelaskan Asyhar (2002) yang mengutip Dabrowski (1998), adsorpsi merupakan proses akumulasi molekul-molekul zat teradsorpsi pada suatu lapisan antarmuka karena adanya interaksi keduanya. Pada suatu system adsorpsi terjadi kesetimbangan antara adsorpsi dan desorpsi zat seperti terlihat pada Gambar 2.

Adsorpsi dapat dipandang sebagai proses fisika atau kimia. Secara fisika, proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya Van der Waals dan ikatan hydrogen antara adsorben dan adsorbat, sedangkan adsorpsi kimia melibatkan ikatan kimia karena adanya interaksi gugus fungsi antar keduanya. Karena adanya ikatan-ikatan kimia ini, maka panas reaksi adsorpsi kimia biasanya lebih tinggi dibandingkan adsorpsi fisika.



Gambar 2. Alur Proses Adsorpsi dan Desorpsi

Pada Gambar 3 dapat dilihat 6 tipe adsorpsi sesuai klasifikasi IUPAC. Lima tipe pertama diusulkan oleh Brunauer (1940) dalam Asyhar (2002), sementara yang keenam merupakan hasil observasi terbaru para ahli. Diantara keenam tipe itu, tipe pertama merupakan yang paling umum ditemukan.



Gambar 3. Beberapa tipe adsorpsi klasifikasi IUPAC

Disini terlihat bahwa proses adsorpsi terjadi secara tajam pada saat awal dan semakin berkurang dengan bertambahnya waktu hingga mencapai kesetimbangan yang ditandai dengan kurva datar. Keseimbangan yang terjadi menunjukkan akhir dari proses adsorpsi dan menjadi ukuran kapasitas adsorben dan afinitas adsorbat. Tipe ini biasanya membentuk lapisan zat teradsorpsi monolayer pada permukaan adsorben.

Untuk menjelaskan model kesetimbangan adsorpsi dibutuhkan suatu persamaan matematika yang biasa disebut adsorpsi isotherm. Sampai saat ini, berbagai rumus telah dikembangkan, namun yang paling sederhana adalah adsorpsi isotherm yang diusulkan oleh Langmuir (1916):

$$Q_e = (K_L C_e) / (1 + b_L C_e)$$

Dimana Q_e adalah jumlah zat terlarut yang teradsorpsi per satuan berat adsorben, b_L and K_L adalah konstanta Langmuir. Oleh karena $K_L = b_L Q^\circ$, dimana Q° adalah

konsentrasi solut yang menutupi permukaan adsorben, maka dengan mensubstitusi persamaan di atas, diperoleh persamaan :

$$Q_e = (b_L Q^0 C_e) / (1 + b_L C_e)$$

Persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana sebagai berikut:

$$C_e / Q_e = 1 / (b_L Q^0) + C_e / Q_e$$

Linieritas dari grafik C_e / Q_e terhadap C_e dapat digunakan untuk memastikan validitas model Langmuir dari suatu proses adsorpsi. Konstanta b_L and Q^0 dapat ditentukan dari slop dan intersep dari grafik. Persamaan Langmuir di atas cukup baik digunakan untuk konsentrasi tinggi, namun, kurang cocok untuk konsentrasi rendah.

Model lain untuk menggambarkan kesetimbangan adsorpsi diusulkan oleh Freundlich. Model Freundlich ini terutama untuk adsorpsi pada permukaan dengan sisi aktif yang heterogen. Secara matematis persamaan Freundlich dapat ditulis:

$$Q_e = K_L C_e^{1/n}$$

dimana K_F (L/mg) and $1/n$ (tanpa satuan) adalah konstanta Freundlich. K_F menggambarkan kapasitas adsorben, makin tinggi harganya, semakin tinggi kapasitas. Adapun $1/n$ merupakan faktor heterogenitas, harganya berkisar antara 0 dan 1.

2.4. Adsorben Karbon Aktif

Adsorpsi merupakan proses penting dan sangat berguna dalam penjernihan air, pemurnian obat, pengolahan limbah cair dan dalam berbagai bidang kehidupan. Akhir-

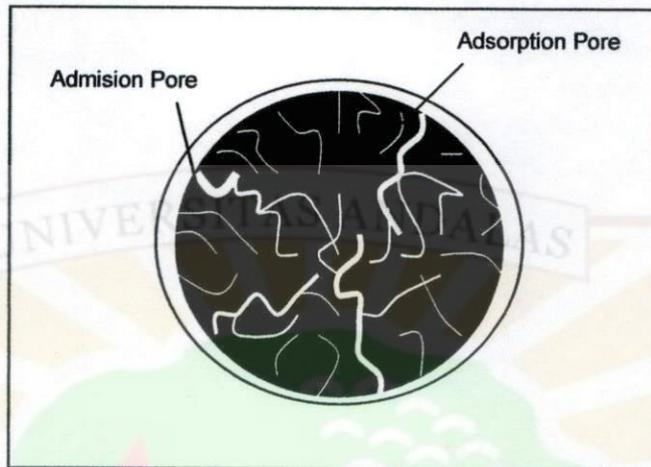
akhir ini, teknologi adsorpsi secara ekstensif digunakan untuk menghilangkan polutan-pollutan organik dan anorganik yang ada dalam skala mikro dalam larutan.

Adsorben komersial yang dijual di pasaran terdiri dari 4 golongan: zeolit, alumina aktif, silika gel dan karbon aktif. Penggunaan adsorben tersebut tergantung pada tujuan dan sifat adsorptifnya. Misalnya, alumina aktif dan sebagian besar zeolit mengadsorpsi sangat baik air dibandingkan molekul-molekul organik (*organophobic*), sementara karbon aktif lebih kuat mengadsorpsi senyawa organik dibandingkan air (*organofilik*). Adapun silika gel lebih moderat berada di keduanya dan berada di antara kedua kelompok tersebut.

Kemampuan adsorpsi suatu adsorben sangat tergantung pada porositas, luas permukaan dan perubahan yang terjadi pada permukaan. Oleh karena itu, pembuatan adsorben dalam industri difokuskan pada pengaturan kondisi dan metode proses pengaktifan agar perubahan yang terjadi pada permukaan sedemikian rupa sehingga memberikan hasil optimal. Dalam hal ini, proses pembuatan arang aktif terdiri dari 2 jenis yaitu: aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi kimia ditentukan oleh jenis aktivator kimia yang digunakan, sedangkan aktivasi fisika biasanya menggunakan gas dan uap air.

Dalam adsorben terkarbonasi, penyerapan tidak hanya terjadi pada tempat yang halus, melainkan juga dalam dinding pori yang sempit dalam suatu material, sebagaimana terlihat pada gambar 4. Pemisahan dapat terjadi pada pori yang besar sampai ke pori yang lebih kecil. Pori yang besar menyerap lebih cepat. Asyhar (2002) mengemukakan, berdasarkan klasifikasi internasional, besarnya pori dibuat

berdasarkan fungsinya. Untuk macropores biasanya berdiameter 500 Å. Diameter antara 500-20 Å disebut micropores, dan pori-pori yang diameternya sama dengan diameter molekul, misalnya kecil dari 8 Å disebut submicropores.



Gambar 4. Struktur Pori

Sejak diperkenalkan pertama kali, karbon aktif menjadi standar bagi pengolahan air limbah, baik industri maupun perkotaan. Hampir semua bahan yang mengandung karbon dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi karbon aktif.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Jurusan PMIPA FKIP dan Laboratorium Up MIPA Universitas Jambi. Untuk penggunaan AAS, dikerjakan di Laboratorium Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB) Provinsi Jambi, sedangkan untuk karakterisasi batubara dikerjakan di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) Departemen ESDM di Bandung. Penelitian dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, yaitu dari bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2009.

3.2. Bahan dan Alat

Sampel batubara diambil dari Kabupaten Merangin, karena disinilah deposit terbesar di Provinsi Jambi. Aktivator yang akan digunakan adalah KOH dan H_3PO_4 . Larutan uji yang digunakan adalah fenol, serta larutan model untuk timbal adalah $Pb(NO_3)_2$.

Alat yang akan digunakan antara lain Mufle Furnace Listrik ODAWA SEIKI yang dilengkapi dengan sirkulasi udara, UV-Visible, Spectronic-20 Genesys, Oven Furnace Cylinder 1000 °C, oven Fisher, shaker, sieve shaker, hotplate, waterbath, reaktor adsorpsi batch, reaktor aktivasi, kolom.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Pembuatan larutan

- a. Larutan standar 1000 mg/L, dibuat dengan cara melarutkan 0,1598 gram $Pb(NO_3)_2$ ke dalam 100 mL.

- b. Larutan 4-amino antipirin 2%, dibuat dengan melarutkan 2 gram 4-amino antipirin dalam labu ukur 100 mL dan tepatkan hingga tanda batas.
- c. $K_3Fe(CN)_6$ 0,4%, dibuat dengan melarutkannya sebanyak 0,4 gram ke dalam labu 100 mL dan encerkan hingga tanda batas.
- d. Larutan fenol 1000 mg/L, timbang sebanyak 1 gram fenol dan larutkan dalam labu 1000 mL dan encerkan hingga tanda batas.

3.3.2. Karakterisasi Batubara.

Karakterisasi meliputi penentuan kandungan karbon, kandungan abu, dan serta kandungan timbal (Pb). Ketiga karakterisasi ini dikerjakan di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) Departemen ESDM di Bandung.

3.3.3. Proses aktivasi

Kedalam Mufle Furnace ditempatkan batubara dan pengaktivasi (KOH dan H_3PO_4) dengan ratio 1:1, 1,5:1, dan 2:1. Campuran dipanaskan sekitar 450 °C selama 1 jam, dilanjutkan pemanasan pada suhu 550-850 °C selama 1 sampai 3 jam. Campuran lalu dikeluarkan dari reaktor dan direndam dalam larutan HCl 10% sebelum dicuci dengan air hingga netral. Hasil cucian dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu 120 °C.

3.3.4. Penentuan kondisi optimum

Sampel batubara terlebih dahulu dibersihkan dan dikeringkan. Selanjutnya dilakukan penelusuran kondisi optimal percobaan yang meliputi :

3.3.4.1. Penelusuran ratio (batubara : aktivator)

Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan 100 mL larutan uji yang berkonsentrasi 10 mg/L ke dalam gelas piala yang berisi 1 g karbon aktif batubara dengan ratio (batubara : aktivator) adalah 1:1, 1,5:1, dan 2:1, pada pH netral. Larutan diaduk dengan stirrer selama 1 jam, lalu disaring. Selanjutnya diplot pada sumbu salib antara % zat teradsorpsi (sumbu X) dengan ratio (sumbu Y), sehingga didapatkan ratio optimal. Larutan uji yang digunakan adalah fenol dan ion Pb.

3.3.4.2. Penelusuran pH optimal

Dengan menggunakan ratio optimal yang diperoleh, selanjutnya dilakukan penelusuran pH optimal dengan cara memasukkan 100 mL larutan uji yang berkonsentrasi 10 mg/L ke dalam gelas piala dan dilakukan pada pH 4, 6, 8, dan 10 untuk kedua jenis aktivator. Selanjutnya diplot pada sumbu salib antara % zat teradsorpsi (sumbu X) dengan pH (sumbu Y), sehingga didapatkan data tentang pH optimal.

3.3.4.3. Penelusuran berat maksimal

Dengan menggunakan ratio optimal serta pH optimal yang diperoleh sebelumnya dengan memvariasikan berat adsorben, yaitu 0,8 ; 1,0 ; 1,2 ; 1,4 ; 1,6 ; 1,8 ; 2,0 ; dan 2,2 g, dengan cara memasukkan 100 mL larutan uji yang berkonsentrasi 10 mg/L ke dalam gelas piala pada pH optimal. Selanjutnya diplot pada sumbu salib antara % zat teradsorpsi (sumbu X) dengan berat yang digunakan (sumbu Y), sehingga didapatkan data tentang berat maksimal.

3.3.5. Uji keaktifan

3.3.5.1. Pengukuran konsentrasi fenol.

A. Penentuan panjang gelombang maksimum.

Ke dalam gelas piala 100 mL dimasukkan larutan fenol 4 dan 6 mg/L, kemudian diatur pH dengan penambahan buffer pH 10. Selanjutnya ditambahkan 1 mL 4-amino antipirin 2% dan 1 mL $K_3Fe(CN)_6$ 0,4% lalu encerkan sampai tanda batas dan kocok. Diamkan selama 20 menit, kemudian diukur dengan absorbannya dengan Spectronic-20 Genesys pada rentang panjang gelombang 492-510 nm. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh akan digunakan untuk perlakuan selanjutnya.

B. Pembuatan kurva kalibrasi standar.

Dengan cara yang sama sebagaimana di atas, ukur absorbansi larutan standar fenol dengan konsentrasi 0,5 ; 1 ; 3 ; 5 ; 7 ; 9 ; dan 10 mg/L. Buat kurva linier antara absorbansi dengan konsentrasi.

3.3.5.1. Pengukuran konsentrasi ion Pb.

A. Pembuatan kurva kalibrasi standar

Masukkan sebanyak 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 mL larutan standar Pb 100 mg/L ke dalam gelas piala 100 mL, dan encerkan sampai tanda batas. Ukur absorbansi. Kadar timbal diukur secara langsung dengan menggunakan Spektrofotometer serapan atom (AAS).

Efisiensi adsorpsi dihitung berdasarkan rumus :

$$E = (C_0 - C) / C \times 100\%$$

dimana E adalah efisiensi, C_0 adalah konsentrasi awal, dan C adalah konsentrasi setelah penyerapan.

3.3.6. Teknik kolom (dynamic sorption)

Ketiga data yang diperoleh, yaitu ratio optimal, pH optimal, dan berat maksimal selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk perlakuan teknik kolom untuk mencari servis volume serta titik jenuh. Dan teknik ini sekaligus adalah upaya untuk mengkonfirmasi beberapa kecenderungan fenomena yang terjadi pada pengukuran dengan teknik bath.

Disiapkan 3 kolom kaca berdiameter 20 mm panjang 30 cm. Di bagian bawah kolom diberi kapas untuk menahan adsorben tidak keluar. Kolom diisi dengan 5 g aktif sambil dipukul-pukul dinding kolom dengan pensil agar adsorben menjadi rata dan padat. Di bagian atas adsorben diberi sedikit glasswool untuk menutupi permukaan adsorben agar padatan tidak menyebar sewaktu dialiri model cairan limbah. Kolom kemudian dikondisikan dengan cara melewatkan 50 mL air secara perlahan-lahan. Setelah permukaan air hampir sama dengan permukaan adsorben, dari bagian atas dituangkan larutan uji (fenol = 20 mg/L, Pb = 10 mg/L) melalui dinding kolom sambil dibuka kran bawah. Kecepatan alir larutan uji diatur sedemikian rupa sehingga sama dengan aliran cairan keluar kolom. Fraksi cairan yang keluar di bawah kolom ditampung untuk tiap fraksi 50 mL. Proses adsorpsi diteruskan sampai diperoleh fraksi dengan kandungan parameter utama sama dengan cairan yang dialirkan. Data hasil percobaan diplotkan persen konsentrasi terhadap volume fraksi untuk mengetahui kurva breakthrough.

IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1. Karakterisasi Batubara

Karakterisasi dikerjakan di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) Departemen ESDM di Bandung, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Gambaran beberapa komponen berdasarkan pengukuran dengan SEM X-ray.

No	Komponen	Persentase Fraksi	
		Batubara	Karbon aktif
1	C	53,02	91,22
2	SiO ₂	32,92	6,03
3	FeO	0,04	-
4	CdO	0,03	-
5	Ta ₂ O ₅	8,63	-
6	Re ₂ O ₇	5,24	-
7	PbO	0.30	0,08
8	P ₂ O ₅	-	1,75
9	Rb ₂ O	-	0,92

Pada tabel di atas terlihat bahwa pada batubara mentah ini ada beberapa logam yang justru potensial sebagai polutan, antara lain Fe⁺², Cd⁺², dan Pb⁺². Namun setelah dilakukan aktivasi dengan menghasilkan karbon aktif, ternyata besi dan cadmium tidak terpetakan lagi. Kelihatannya asam fosfat, yang tergolong asam asam lemah dan dibantu dengan pemanasan yang tinggi, sudah cukup memadai untuk mengionkan kedua oksida logam itu termasuk oksida logam tantalum dan renium, sehingga keempat oksida logam tersebut larut dan terbuang pada saat proses penetralan.

Dengan berkurangnya fraksi keempat oksida logam diatas, dengan sendirinya menyebabkan kenaikan pada fraksi karbon (C), sekalipun muncul spesi baru, yaitu oksida fosfat yang diduga berasal dari aktivator yang digunakan, dan berkurangnya fraksi silikon disebabkan karena perubahan yang terjadi dari senyawa silikat menjadi oksida silikon.

4.2. Aktivasi

Aktivasi dilakukan pada suhu 850 °C selama 2 jam, yang mengacu kepada penelitian yang dilakukan Asyhar (2006). Batubara diaktivasi dengan menggunakan aktivator KOH dan H₃PO₄ pada perbandingan 1:1 ; 1,5:1 ; 2:1 dan aktivasi tanpa menggunakan aktivator. Hasil arang aktif yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Persentase berat arang aktif yang dihasilkan, berdasarkan perhitungan berat awal.

No	Ratio	Persentase	
		KOH	H ₃ PO ₄
1	1:1	29,3	37,7
2	1,5:1	30,1	35,2
3	2:1	30,5	35,3
4	Tanpa	41,2	

Persentase arang aktif yang lebih tinggi yang dihasilkan pada penggunaan aktivator asam fosfat, disebabkan karena kurangnya daya larut asam terhadap zat pengotor (tar) dan bahan organik mudah menguap (volatile matter) yang ada pada batubara dibandingkan dengan KOH yang bersifat basa kuat.

4.3. Pengujian Daya Serap terhadap Fenol

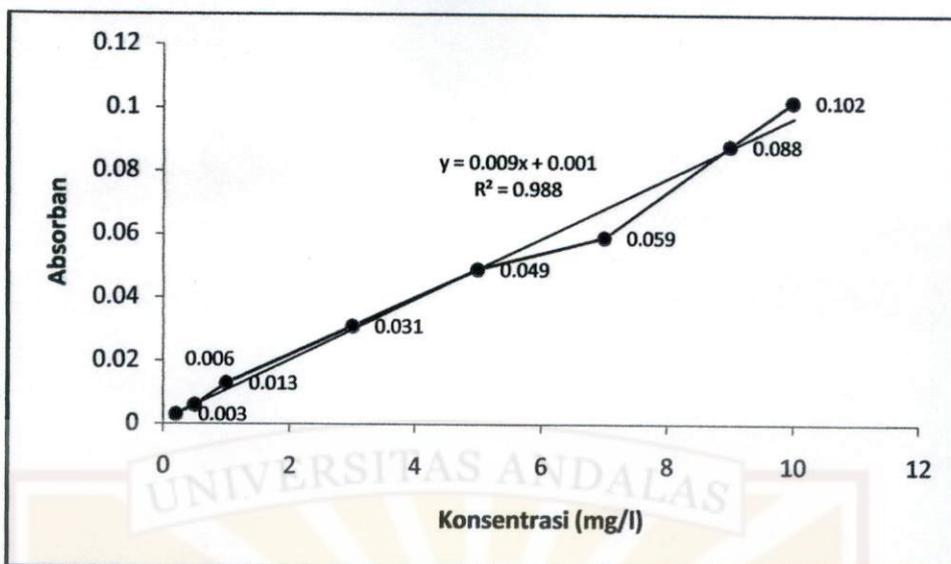
4.3.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.

Observasi yang dilakukan dengan konsentrasi 4 mg/L memperlihatkan serapan maksimum yang relatif homogeny pada rentang panjang gelombang yang ditetapkan, namun dari kedua jenis konsentrasi fenol ini didapatkan absorban tertinggi pada daerah panjang gelombang maksimum 500 nm. Selanjutnya pengerjaan dilakukan pada panjang gelombang ini.

Panjang gelombang (nm)	Absorban	
	4 mg/L	6 mg/L
460	0,075	0,186
470	0,075	0,197
480	0,075	0,204
490	0,075	0,205
500	0,076	0,205
510	0,074	0,194
520	0,071	0,183
530	0,067	0,174
540	0,061	0,160
550	0,056	0,147

4.3.2. Kurva Kalibrasi Standar.

Larutan fenol dibuat dengan konsentrasi 0,5 ; 1 ; 3 ; 5 ; 7 ; 9, dan 10 mg/L. Setiap larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 500 nm. Tingkat keeratan hubungan antara absorban dengan konsentrasi ditunjukkan pada gambar 5, dimana harga $r = 0,985$. Fakta ini memberikan gambaran bahwa keterhubungan antara konsentrasi dan absorban cukup layak untuk dijadikan standar pada penelitian ini, sekalipun belum begitu ideal.



Gambar 5. Kurva Kalibrasi Standar Fenol

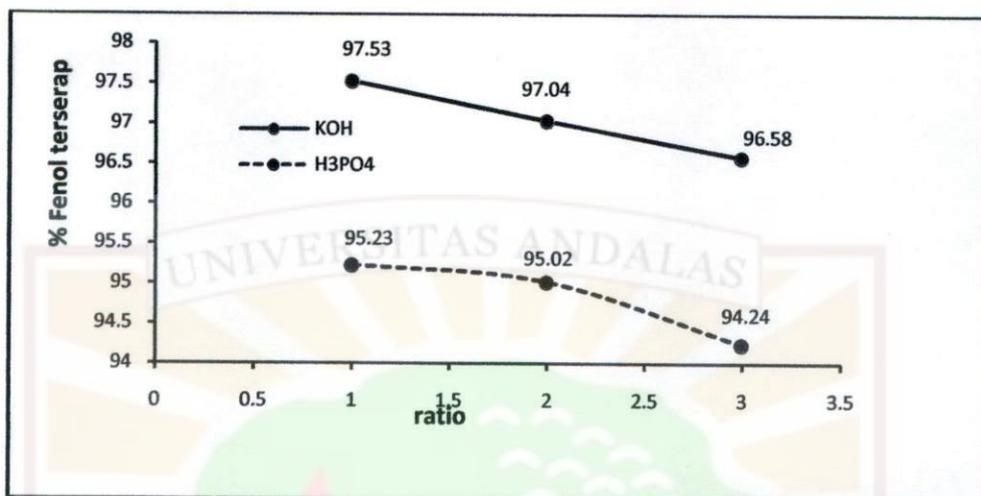
Hal ini barangkali disebabkan kompleks antara fenol dengan 4-aminoantipirin tidak bertahan cukup lama, setidaknya ada selang waktu antara proses membuat kompleks dengan saat pengukuran. Ketidakkonsistenan dalam waktu pengukuran juga berpengaruh terhadap kestabilan kompleks yang berujung pada fluktuasi absorban yang terukur. Disisi lain, senyawa fenol sangat rentan terhadap cahaya.

Dari sini juga diperoleh persamaan garis linniernya $y = 0,009x + 0,001$, dengan Y adalah absorban dan x adalah konsentrasi. Dengan mensubstitusikan setiap nilai absorban pada persamaan ini akan diperoleh nilai konsentrasinya.

4.3.3. Penentuan ratio optimum.

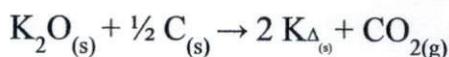
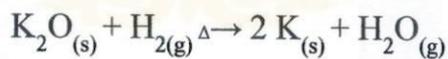
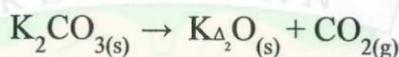
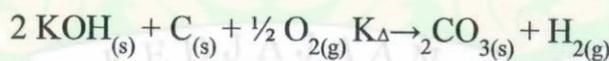
Pada gambar di bawah terlihat bahwa penyerapan terbesar diperoleh pada ratio 1:1, baik dengan menggunakan aktivator KOH maupun H_3PO_4 . Namun secara menyeluruh, persen penyerapan dengan menggunakan KOH lebih baik dari H_3PO_4 , yaitu berturut-turut 97,53 dan 95,23%. Hal ini disebabkan karena fenol yang sedikit

bermuatan negatif akan mengganti kedudukan OH^- yang sudah ditinggalkan KOH pada proses pencucian dan netralisasi.



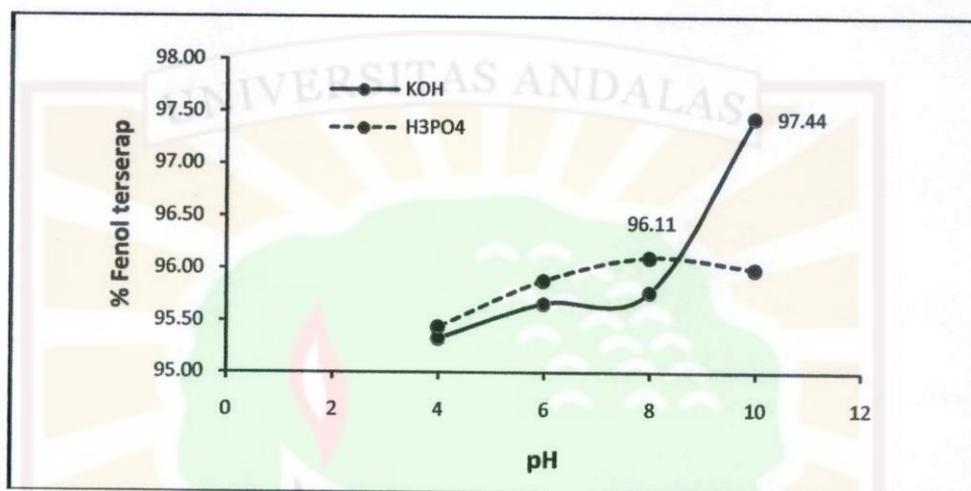
Gambar 6. Kurva ratio (berat batubara : aktivator) terhadap penyerapan fenol. (Uji : $W = 1$ gr, $C_{\text{fenol}} = 10$ mg/L, $v = 100$ mL, spectronic 20D Genesys pada $\lambda_{\text{max}} = 500$ nm)
 1 = ratio 1 : 1
 2 = ratio 1,5 : 1
 3 = ratio 2 : 1

Penetapan suhu aktivasi merupakan hal yang sangat menentukan hasil dari proses aktivasi itu sendiri. Menurut Ottawa et al (1997) dalam Asyhar (2006), KOH bereaksi dengan arang batubara ketika suhu sudah mencapai 700°C . Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut:



4.3.4. Penentuan pH optimum.

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan aktivator KOH diperoleh kondisi optimum pada pH 10 dimana 97,44% fenol terserap. Namun kondisi optimum dengan aktivator H_3PO_4 diperoleh pada pH 8 dimana 96,11% fenol yang terserap.



Gambar 7. Kurva variasi pH terhadap penyerapan fenol.

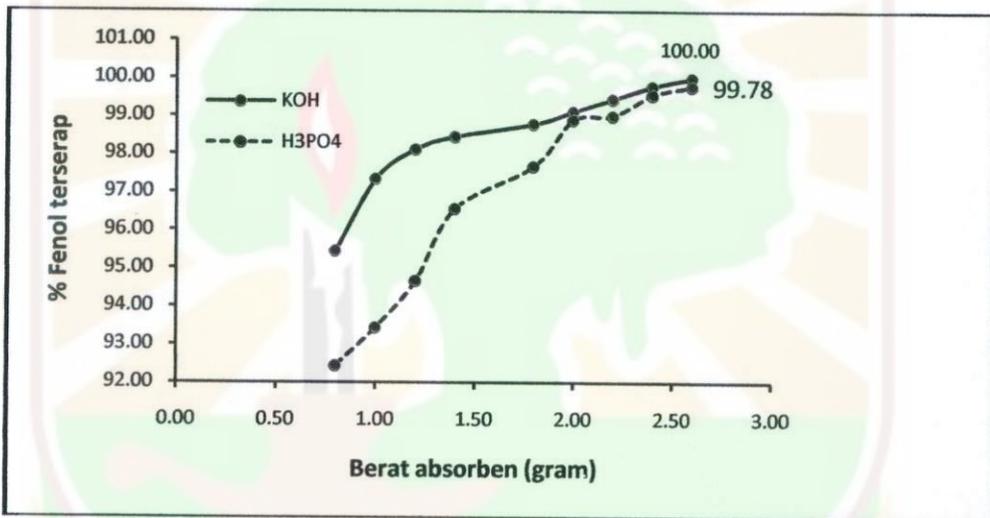
(Uji : $W = 1$ gr, $C_{\text{fenol}} = 10$ mg/L, $v = 100$ mL, spectronic 20D Genesys pada $\lambda_{\text{max}} = 500$ nm)

Fenomena ini dipengaruhi oleh sifat fenol dalam larutan yang tergantung pada pH. Pada pH rendah (suasana asam) fenol terionisasi menjadi ion H^+ dan ion fenolat, sedangkan pada pH lebih tinggi fenol berada dalam bentuk molekul netral. Ion-ion fenol lebih suka berada dalam larutan sedangkan molekul netral lebih mudah tertarik kepada partikel-partikel adsorben. Jadi, dapat disimpulkan bahwa faktor pH perlu diperhatikan untuk tujuan implementasi adsorpsi di lapangan agar proses pengolahan limbah cair berlangsung secara optimal dan efektif. Misalnya, jika proses pengolahan limbah yang mengandung senyawa-senyawa fenol dilaksanakan dalam suasana basa (pH tinggi) maka tidak akan memberikan hasil optimal karena senyawa-senyawa fenol

tersebut sebagian besar berada dalam bentuk molekul netral yang sukar diadsorpsi dengan adsorben aktif.

4.3.5. Penentuan berat adsorben maksimum.

Dari gambar 8 terlihat peningkatan adsorpsi cukup tajam dalam rentang 0,8 sampai 2,0 gram. Namun setelah itu menunjukkan daya serap yang relative stabil. Aktivator KOH ternyata lebih baik dari H_3PO_4 . Pemakaian aktivator KOH dapat menyerap fenol sebanyak 99 % pada pada berat adsorben 2,0 gram, dan daya serap yang sama baru dapat dicapai oleh aktivator H_3PO_4 pada berat adsorben 2,3 gram.



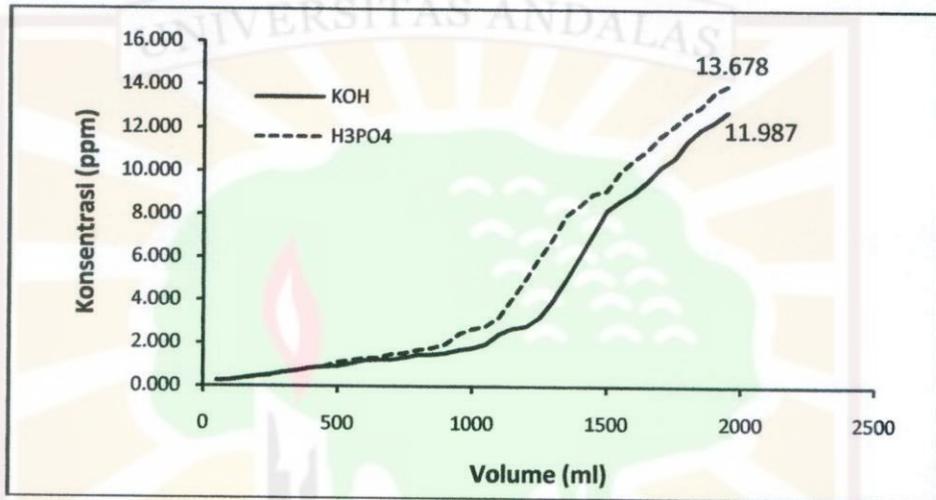
Gambar 8. Kurva variasi berat adsorben yang digunakan terhadap penyerapan fenol.
(Uji : pH=8, $C_{\text{fenol}} = 10 \text{ mg/L}$, $v = 100 \text{ mL}$, spectronic 20D Genesys pada $\lambda_{\text{max}} = 500 \text{ nm}$)

Terdapat kecenderungan yang konsisten, baik pada ratio optimum, pH optimum maupun berat optimum, bahwa dalam hal penyerapan terhadap fenol, ternyata pemakaian KOH lebih baik dibandingkan dengan asam fosfat. Hal ini disebabkan kemampuan KOH dalam membentuk struktur permukaan arang aktif menjadi lebih berongga dan mempunyai gugus fungsi (dioksin, fenolat, amina, piran, dll) yang aktif sebagaimana digambarkan Breenan (2001) dalam Sutrisno (2007), yang pada

gilirannya akan mempermudah asam lemah fenol terperangkap pada permukaan adsorben.

4.3.6. Pengukuran Service Volume dan Breakthrough

Teknik kolom yang digunakan disini adalah untuk mengkonfirmasi teknik bath yang dilakukan sebelumnya. Hasilnya sebagaimana tergambar pada gambar 9 berikut :



Gambar 9. Service Volume dan Breakthrough yang digunakan terhadap penyerapan fenol.
(Uji : pH=8, $C_{\text{fenol}} = 20 \text{ mg/L}$, $W = 5 \text{ gr}$, spectronic 20D Genesys pada $\lambda_{\text{max}} = 500 \text{ nm}$)

Pada 50 mL pertama, baik dengan menggunakan aktivator KOH maupun H_3PO_4 , relative memberikan hasil yang sama, yaitu 98,7 % fenol terserap. Namun konsentrasi fenol yang tidak terserap masih dibawah ambang batas kadar fenol untuk baku mutu limbah cair berdasarkan Keputusan Menteri KLH No. Kep-03/KLH/II/1991.

Perbedaan yang signifikan antara kedua jenis aktivator ini terjadi pada volume di atas 1000 mL. Dengan aktivator KOH, fenol bersisa sebanyak 1,789 mg/L,

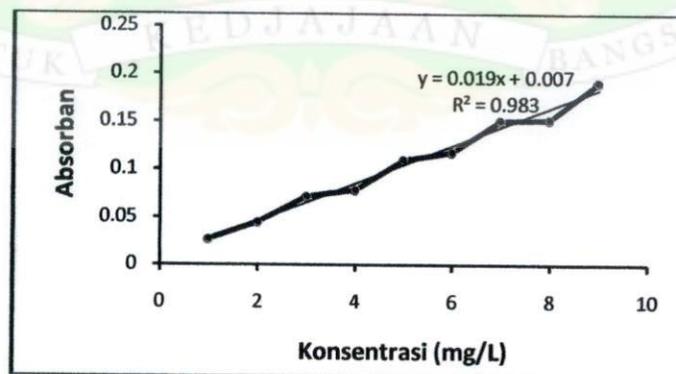
sementara itu dengan menggunakan H_3PO_4 menyisakan satu setengah kali lebih banyak, yaitu 2,667 mg/L.

Teknik kolom ini berguna untuk mengestimasi aplikasi pemakaian bahan di lapangan dalam upaya merancang suatu sistim Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL). Misalnya, untuk mengolah limbah yang mengandung 20 mg/L fenol menjadi 9,12 mg/L, dibutuhkan volume sebesar 1.550 mL dengan kolom yang berisi 5 gram adsorben. Dengan teknik yang sedikit dimodifikasi, Sutrisno (2007) berhasil menurunkan COD (87%), BOD (56%), TSS (98%) dan fenol (78%). Sementara Asyhar dkk (2006) berhasil menetralkan pH limbah industri batik yang semula mempunyai pH 4,5, menurunkan TDS dari 13.300 mg/L menjadi 30 mg/L, menurunkan fenol total dari 68,0 mejadi kecil dari 2 mg/L, dibandingkan dengan tanpa menggunakan aktivator.

4.4. Pengujian Daya Serap terhadap Ion Pb.

4.4.1. Kurva Kalibrasi Standar.

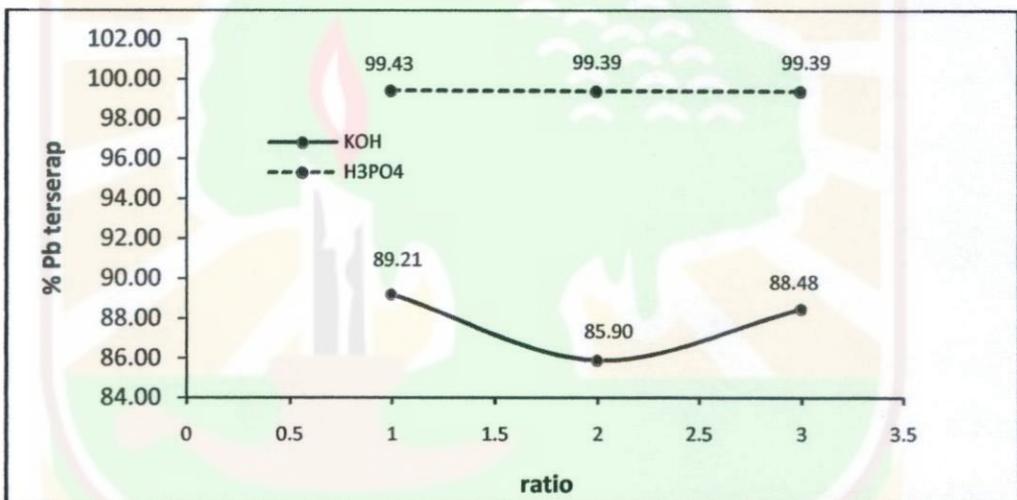
Dengan larutan standar yang dibuat pada rentang 1 s/d 10 mg/L, didapatkan absorbannya, dan setelah dihitung, didapatkan persamaan garis regresi sebagaimana terlihat pada gambar 10 dengan harga $r = 0,983$. Namun dalam pengukuran sampel, data yang keluar sudah berupa konsentrasi.



Gambar 10. Kurva kalibrasi standar Pb

4.4.2. Penentuan ratio optimum.

Dalam hal penyerapan terhadap ion Pb, sebagaimana terlihat pada gambar 11, ternyata aktivator H_3PO_4 lebih baik, yaitu 99,43% dibandingkan dengan KOH yang hanya 89,21%. Namun hasil terbaik tetap diperoleh pada ratio 1:1 untuk kedua aktivator ini. Sementara itu, tanpa menggunakan aktivator hanya mampu menyerap sebesar 85,63%. Hal ini dimungkinkan karena suasana asam akan mendukung logam timbal berada dalam keadaan terion, dilain pihak bila larutan lebih basa maka timbal akan mengendap dalam bentuk hidroksida.



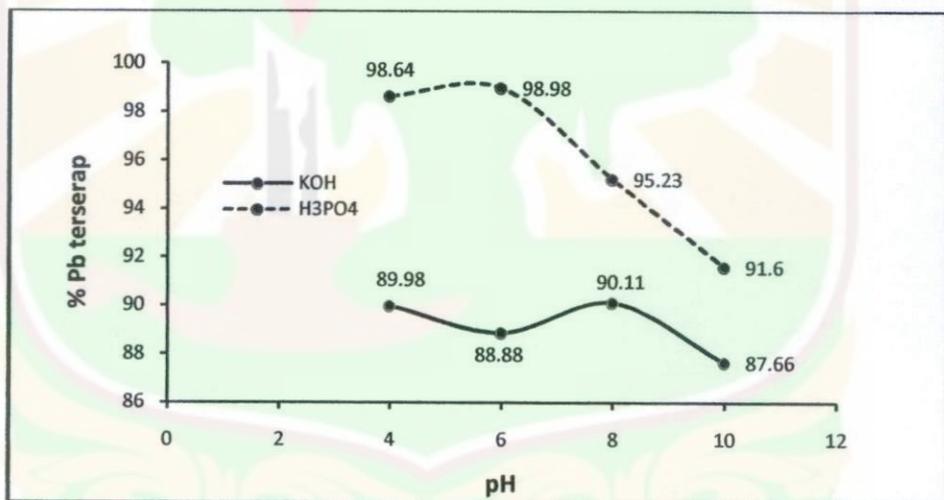
Gambar 11. Kurva ratio (berat batubara : aktivator) terhadap penyerapan Pb. (Uji : $W = 1$ gr, $C_{Pb} = 10$ mg/L, $V = 100$ mL, AAS)
 1 = ratio 1 : 1
 2 = ratio 1,5 : 1
 3 = ratio 2 : 1

4.4.3. Penentuan pH optimum.

Pada gambar 12 terlihat, bahwa puncak penyerapan ion Pb (98,98%) terjadi pada pH=6 dengan aktivator H_3PO_4 , dan penyerapan itu menurun tajam pada suasana yang lebih basa. Namun dengan KOH, puncak penyerapan hanya 90,11% pada pH=8

dan juga menurun tajam pada suasana yang lebih basa. Malah pada pH=10, aktivator KOH hanya mampu menyerap 87,66% saja.

Sebagaimana sifat-sifat logam pada umumnya, Pb memang semakin eksis berbentuk ion pada pH asam, namun pada pH yang lebih basa Pb akan mengendap dalam bentuk hidroksida. Mengutip pendapat Matheichal dan Yu (1999) dalam Chasiah (2008), pada pH di atas ion timbal menggantikan posisi kation yang melepaskan diri dari anion pada gugus fungsi, namun pada pH rendah ion H^+ disekitar gugus fungsi adsorben akan menghambat ion timbal untuk mendekati gugus fungsi tersebut sehingga kapasitas penyerapannya menjadi rendah. Oleh karena itu, aplikasi rancangan IPAL mesti memeperhatikan kondisi pH, karena jika dilakukan pada kondisi basa, maka arang aktif yang digunakan akan cepat jenuh.



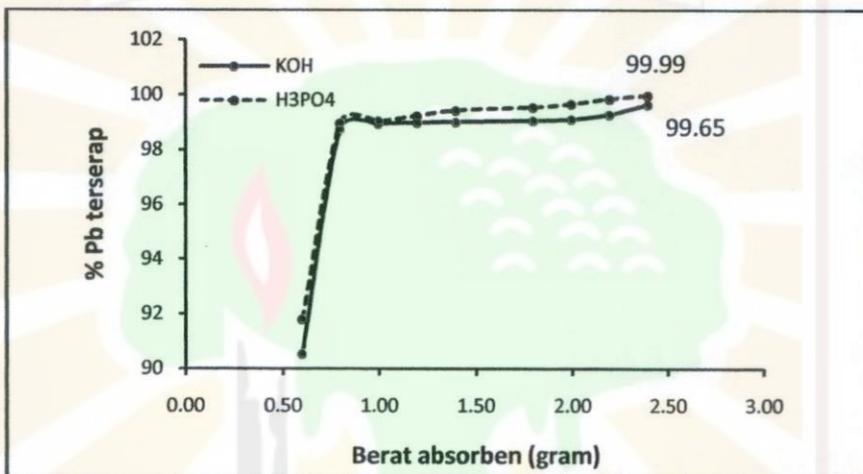
Gambar 12. Kurva variasi pH terhadap penyerapan Pb.
(Uji : $W = 1$ gr, $C_{Pb} = 10$ mg/L, $v = 100$ mL, AAS)

4.4.4. Penentuan berat adsorben maksimum.

Diawali dengan berat 0,6 sampai dengan 1,0 gram, kedua aktivator menunjukkan daya daya serap yang relative sama, namun setelah itu secara perlahan

semakin naik. Asam fosfat sudah mencapai penyerapan maksimal ketika berat yang digunakan sebanyak 2,4 gram, namun aktivator KOH masih membutuhkan berat lebih.

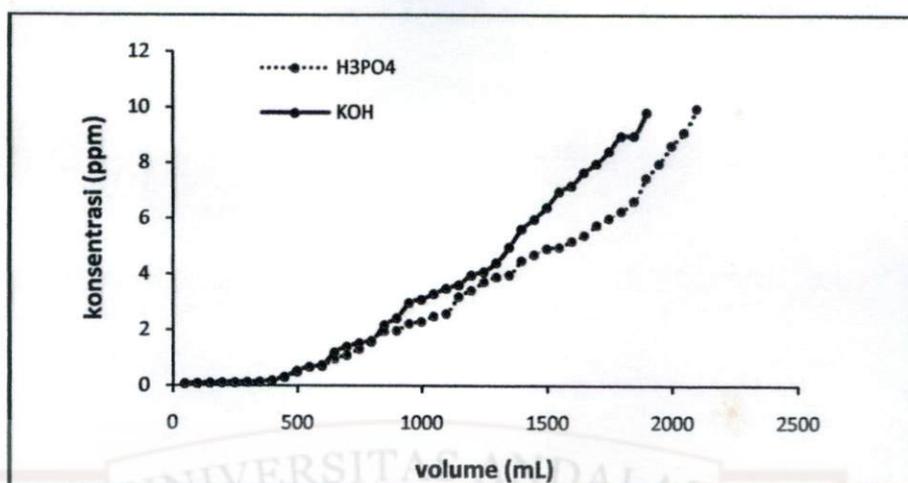
Berbeda dengan fenol, aktivator asam fosfat ternyata lebih baik daripada KOH. Hal ini disebabkan karena arang aktif relatif bermuatan positif akibat intervensi asam fosfat, dan menurut teori salah satu yang menyebabkan peningkatan adsorpsi adalah adanya muatan antara adsorben dengan adsorbat. Semakin terion suatu adsorben, maka semakin besar pula penyerapannya terhadap adsorbat yang terion.



Gambar 13. Kurva variasi berat adsorben yang digunakan terhadap penyerapan Pb.
(Uji : pH=6, $C_{Pb} = 10$ mg/L, $v = 100$ mL, AAS)

4.4.5. Pengukuran Service Volume dan Breakthrough

Pada 50 mL pertama, kedua aktivator memperlihatkan daya serap yang relative sama, dan konsentrasi Pb sisa masih dibawah ambang baku mutu limbah cair berdasarkan Keputusan Menteri KLH No. Kep-03/KLH/II/1991.



Gambar 14. Service Volume dan Breakthrough yang digunakan terhadap penyerapan Pb.

(Uji : pH=6, $C_{Pb} = 10 \text{ mg/L}$, $W = 5 \text{ gr}$, AAS)

Sepuluh dari konsentrasi awal diperoleh aktivator KOH pada saat mengalirkan larutan Pb sebanyak 1350 mL. Namun aktivator H₃PO₄ menunjukkan kapasitas volume yang lebih banyak untuk mencapai kondisi serupa, yaitu 1500 mL larutan.

Kemampuan daya serap adsorben dengan teknik kolom ini ternyata menunjukkan fenomena yang sama dengan teknik bath sebelumnya. Dalam hal penyerapan ion Pb, penggunaan aktivator H₃PO₄ lebih baik dari KOH. Sama dengan analisis pada fenol, diharapkan data yang diperoleh ini dapat dijadikan dasar dalam upaya merancang suatu sistim Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL). Contoh, dengan menggunakan 5 gram adsorben sudah dapat membersihkan 576,9 liter air sesuai dengan ambang batas kadar timbal menurut PP No. 82 Tahun 2001.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan,

1. Aktivasi dengan menggunakan H_3PO_4 menghasilkan arang aktif rata-rata 35%, dan ini hasil lebih banyak dibandingkan aktivasi pakai KOH, yaitu rata-rata 30% berat kering awal.
2. Dengan menggunakan fenol sebagai larutan uji, ternyata penyerapan terbesar diperoleh pada ratio 1:1, baik dengan menggunakan aktivator KOH maupun H_3PO_4 . Namun secara menyeluruh, persen penyerapan dengan menggunakan KOH lebih baik dari H_3PO_4 , yaitu berturut-turut 97,53 dan 95,23%. Sementara itu, dengan menggunakan ion Pb sebagai larutan model, ternyata aktivator H_3PO_4 lebih baik, yaitu 99,43% dibandingkan dengan KOH yang hanya 89,21%. Namun hasil terbaik tetap diperoleh pada ratio 1:1 untuk kedua aktivator ini. Sementara itu, tanpa menggunakan aktivator hanya mampu menyerap sebesar 85,63%.
3. Dengan menggunakan aktivator KOH diperoleh kondisi optimum pada pH 10 dimana 97,44% fenol terserap. Namun kondisi optimum dengan aktivator H_3PO_4 diperoleh pada pH 8 dimana 96,11% fenol yang terserap. Sementara itu, dengan menggunakan ion Pb sebagai larutan model puncak penyerapan ion (98,98%) terjadi pada pH=6. Namun dengan KOH, puncak penyerapan hanya 90,11% pada pH=8 dan juga menurun tajam pada suasana yang lebih basa. Malah pada pH=10,

aktivator KOH hanya mampu menyerap 87,66% saja.

4. Aktivator KOH ternyata lebih baik dari H_3PO_4 . Pemakaian aktivator KOH dapat menyerap fenol sebanyak 99 % pada berat adsorben 2,0 gram, dan daya serap yang sama baru dapat dicapai oleh aktivator H_3PO_4 pada berat adsorben 2,3 gram. Untuk penyerapan ion Pb, H_3PO_4 sudah mencapai penyerapan maksimal ketika berat yang digunakan sebanyak 2,4 gram, namun aktivator KOH masih membutuhkan berat lebih.
5. Teknik kolom dapat digunakan untuk mengestimasi aplikasi pemakaian bahan di lapangan dalam upaya merancang suatu sistim Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL) yang sederhana.

5.2. Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui mekanisme reaksi bahan aktivator dengan arang batubara, serta uji adsorpsi terhadap bahan-bahan lain, baik ion logam maupun senyawa-senyawa organik.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan system larutan multikomponen, karena campuran senyawa akan menunjukkan kompetisi dalam proses adsorpsi.
3. Perlu ditelusuri metoda aktivasi lain yang lebih baik mengingat cukup tingginya kadar mineral, terutama oksida logam dalam batubara, misalnya dengan menggunakan asam-asam secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyhar, R., (2002c), Activation of Petroleum Coke and Its Application for the Removal of Phenols and Dyes from Waste Water, *S-3 Dissertation*, Tecnicl University Braunschweig, Germany.
- Asyhar, R., Wichmann, H., Bahadir, M., (2002), *Untersuchungen zur Entfernung organischer Schadstoffe vom Abwaessers mittels konditioniertem Petrolkoks*, Umwelt Jahrestagung, 8-9 Oktober 2002 in Braunschweig, Germany.
- Asyhar, R., Idiasari, R., Padliah, Melly, (2005), Studi Komparasi Daya Adsorpsi Arang Cangkang Sawit, Sekam Padi dan Batubara yang Diaktifkan dengan Aktivator Kimia, *Jurnal Kimia Universitas Jambi*, 2 (1), (dalam cetakan).
- Asyhar, R. dkk (2006), Pemanfaatan Minyak Bumi Sebagai Adsorben Pada Proses Pengolahan Air Limbah Industri Batik, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*. Universitas Jambi.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (2006), Laporan Pemantauan Kualitas Sungai Batanghari Di Provinsi Jambi.
- Chasiah (2008), Karakterisasi Penyerapan ion timbal dan Nikel Oleh Alga Chlorophyta, Tesis S2, Program Pascasarjana Universitas Andalas, Padang.
- Connell W, 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI Press. Jakarta.
- Deswati, dkk (2000), Pemanfaatan Lumut (Musci) sebagai Penyerap Ion Logam Besi, Cadmum, Tembaga, Crom, dan Zn Dalam Air Limbah, *Jurnal Kimia Andalas*, Vol. 6, No. 1, Hal 14-10.
- Dinas Pertambangan (2006), Cadangan Dan Spesifikasi Bahan Galian Batubara di Propinsi Jambi.
- Dinas Perindustrian dan Perdagangan (2006), Realisasi Ekspor Provinsi Jambi 2005-2006.
- Lu FC., 1995. Toksokologi Dasar : Asas, organ sasaran dan penilaian resiko. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Munaf, E dkk (1999), Penyerapan Ion Crom Dalam Air Limbah Oleh Adsorben Kulit Kacang Dengan Pendeteksi AAS, *Jurnal Kimia Andalas*, Vol 5, No. 2, Hal 71-74.
- Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (PUSARPEDAL-BAPEDAL) (2001), Pengkajian Kandungan Merkuri

dan Logam Berat Akibat Kegiatan Penambangan Emas dan Akumulasinya Di Perairan.

Sahat (2005), Pengendalian Limbah Cair Yang Mengandung Ion Logam Berat Crom Dan Cadmium Menggunakan Abu Terbang Batubara, Tesis S2, Program Pascasarjana Universitas Andalas, Padang.

Suin, N.M., 2004. Bahan Perkuliahan Ilmu Lingkungan. Program Studi Ilmu Lingkungan PPs Univ. Andalas. Padang.

Sunarno, dkk (2005), Adsorpsi Logam Berat Tembaga Dengan Serbuk Gergaji, Jurnal Natur Indonesia, Vol. 7, No. 2, Hal

Sutrisno, dkk (2007), Karakterisasi dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit, Batubara dan Tempurung Kelapa sebagai bahan Adsorben, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*. Universitas Jambi.

Zein, R. dkk (2001), Penyerapan Klorofenol Menggunakan Limbah Sekam Padi Dengan Pendeteksi Spektrofotometer UV, Jurnal Kimia Andalas, Vol 7, No. 2, Hal 85-89.



Lampiran 1. Sertifikat Analisis SEM X-ray Batubara

F 40013A



Laboratorium Pengujian tekMIRA

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung - 40211
 Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_uji@tekmira.esdm.go.id

Nomor : 442 /LFM/IV/2009

16 April 2009

SERTIFIKAT ANALISIS
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Dibuat untuk : Drs. Faizar Parid
Certified for : Kampus Pinang Masak, UNJA Mendalo Darat
 Jambi 36361

Jenis contoh : Batubara
Type of sample

Asal contoh : -
Origin of sample

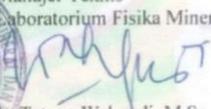
Jumlah contoh : 1 (satu)
Amount of sample

Nomor laboratorium : 1839/2009
Laboratory number

Contoh diterima : 06-04-2009
Sample received on

Hasil analisis : Hasil Analisis SEM X-Ray Mapping terlampir.
Analysis results



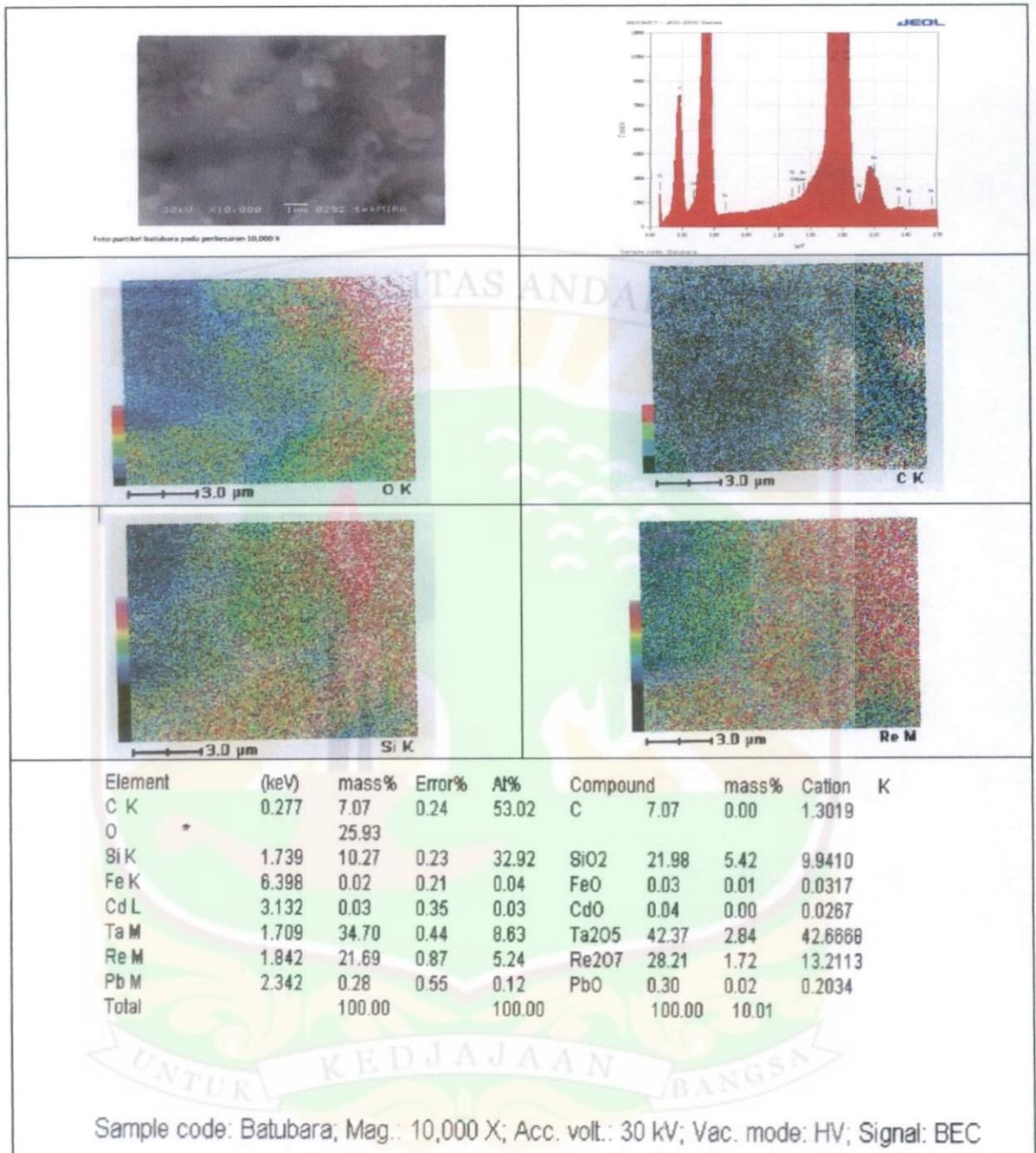
Manajer Teknis
 Laboratorium Fisika Mineral,

 Ir. Tatang Wahyudi, M.Sc.
 NIP. 100008362

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Notes : These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis
 These Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical Manager

Lampiran 2. Foto SEM X-ray Batubara



Lampiran 3. Sertifikat Analisis SEM X-ray Arang Aktif

F 40015A



Laboratorium Pengujian tekMIRA

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung - 40211
 Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_uji@tekmira.esdm.go.id

Nomor: 696 /LFM/VI/2009

18 Juni 2009

SERTIFIKAT ANALISIS
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Dibuat untuk
Certified for

Jenis contoh
Type of sample

Asal contoh
Origin of sample

Jumlah contoh
Amount of sample

Nomor laboratorium
Laboratory number

Contoh diterima
Sample received on

Hasil analisis
Analysis results

: Drs. Faizar Farid
FKIP Univ. Jambi
Kampus Pinang Masak
Mendalo Darat 36361

: Carbon

: -

: 1 (satu)

: 3073/2009

: 15-06-2009

: Hasil Analisis SEM X-Ray Mapping terlampir.



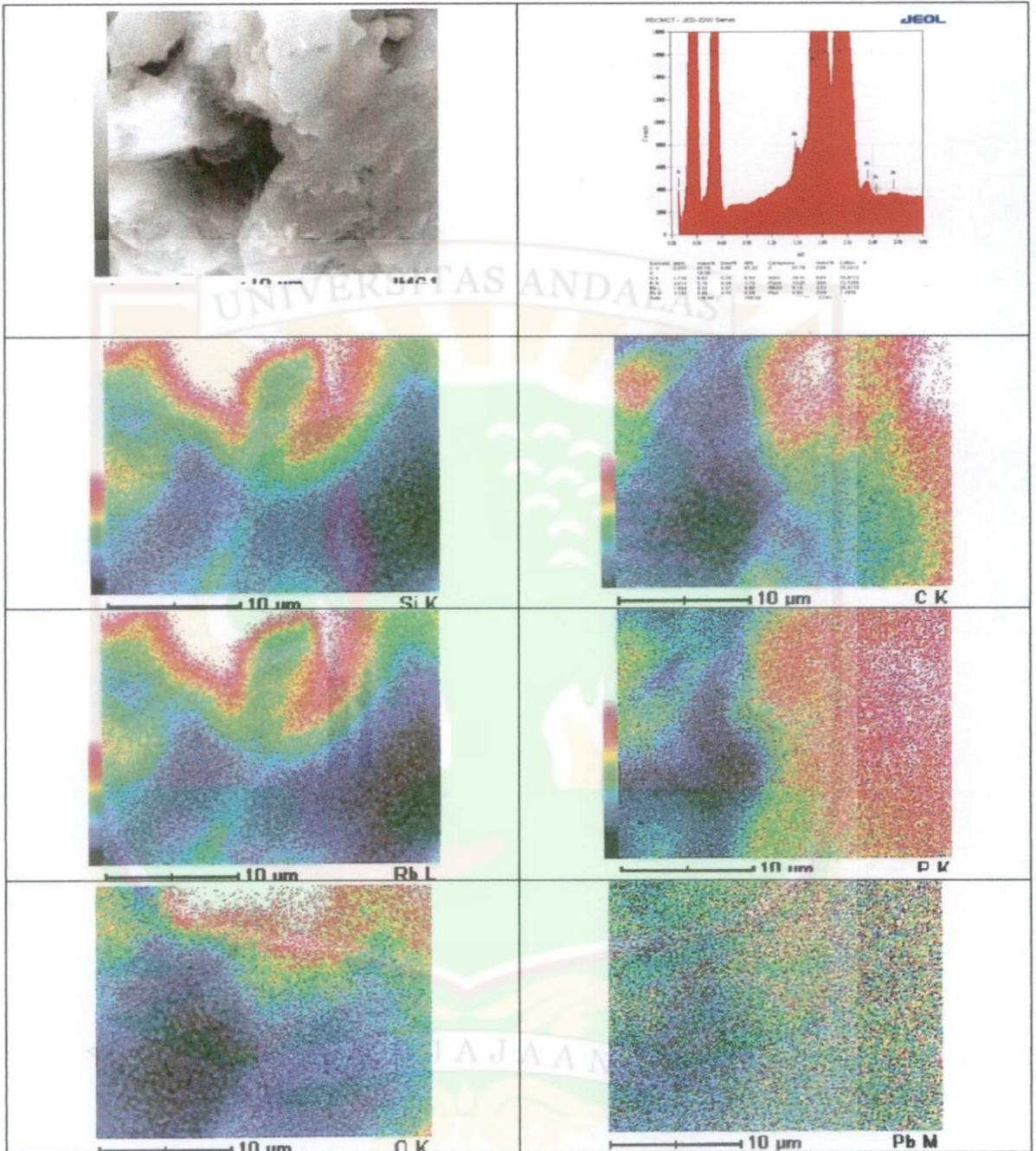
Manajer Teknis
Laboratorium Fisika Mineral,
[Signature]
 Ir. Tatang Wahyudi, M.Sc.
 NIP. 100008362

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Notes These analysis result are only valid for the tested samples

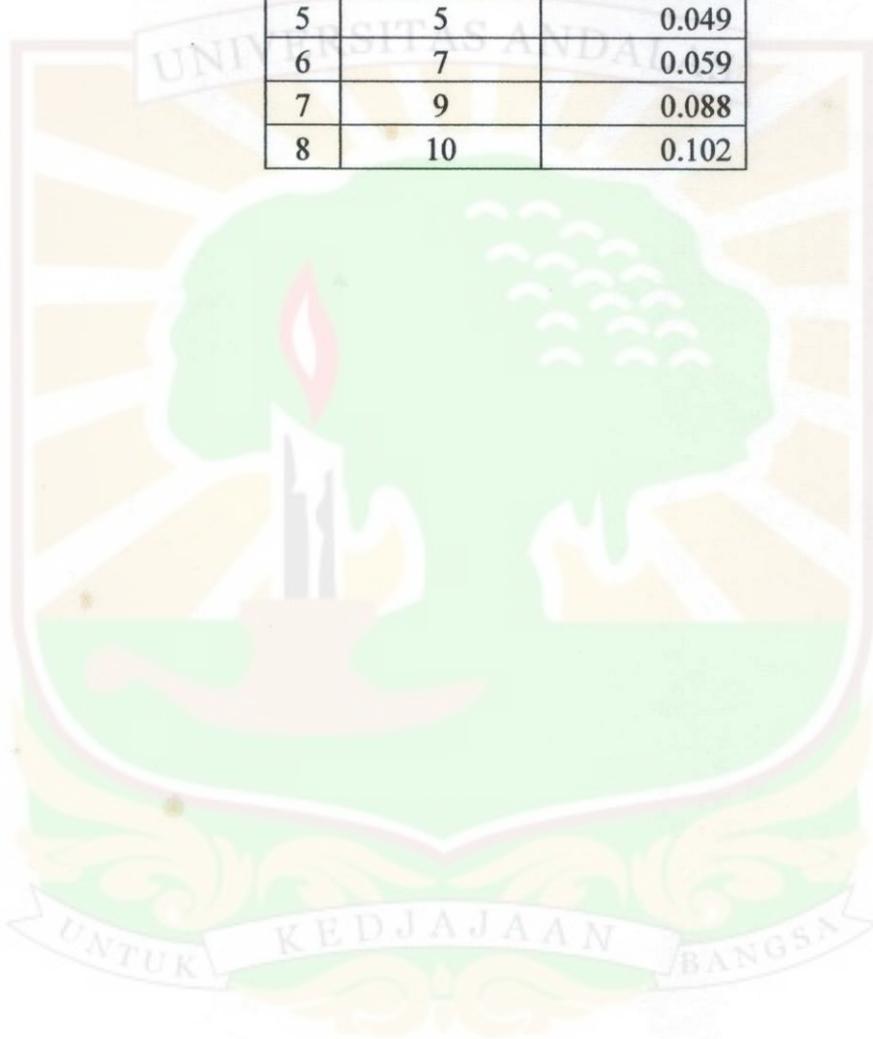
2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis
These Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical Manager

Lampiran 4. Foto SEM X-ray Arang Aktif



Lampiran 5. Hasil Pengukuran Absorban Larutan Standar Fenol

NO	Konsentrasi (mg/l)	Absorban
1	0.2	0.003
2	0.5	0.006
3	1	0.013
4	3	0.031
5	5	0.049
6	7	0.059
7	9	0.088
8	10	0.102



Lampiran 6. Penelusuran Kondisi Optimum Penyerapan Fenol

1. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Ratio Penggunaan Aktivator

NO	Ratio	Absorban		Konsentrasi		% terserap		Keterangan
		KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	
1	1 + 0	0.028		2.999		70.01		Berat adsorben = 1 gram pH = netral Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	1 + 1	0.0032	0.0053	0.247	0.477	97.53	95.23	
3	1,5 + 1	0.0037	0.0055	0.296	0.498	97.04	95.02	
4	2 + 1	0.0041	0.0062	0.342	0.576	96.58	94.24	

2. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Variasi pH

NO	pH	Absorban		Konsentrasi		% terserap		Keterangan
		KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	
1	4	0.0052	0.0051	0.4667	0.4556	95.33	95.44	Berat adsorben = 1 gram Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	6	0.0049	0.0047	0.4333	0.4111	95.67	95.89	
3	8	0.0048	0.0045	0.4222	0.3889	95.78	96.11	
4	10	0.0033	0.0046	0.2556	0.4	97.44	96	

3. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Berat Maksimal

NO	Berat (gr)	Absorban		Konsentrasi		% terserap		Keterangan
		KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	
1	0.8	0.0051	0.0078	0.456	0.756	95.44	92.44	pH = 8 Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	1	0.0034	0.0069	0.267	0.656	97.33	93.44	
3	1.2	0.0027	0.0058	0.189	0.533	98.11	94.67	
4	1.4	0.0024	0.0041	0.156	0.344	98.44	96.56	
5	1.8	0.0021	0.0031	0.122	0.233	98.78	97.67	
6	2	0.0018	0.002	0.089	0.111	99.11	98.89	
7	2.2	0.0015	0.0019	0.056	0.1	99.44	99	
8	2.4	0.0012	0.0014	0.022	0.044	99.78	99.56	
9	2.6	0.001	0.0012	0	0.022	100	99.78	

Lampiran 7. Hasil Pengukuran Servis Volume Larutan Fenol

pH : 8

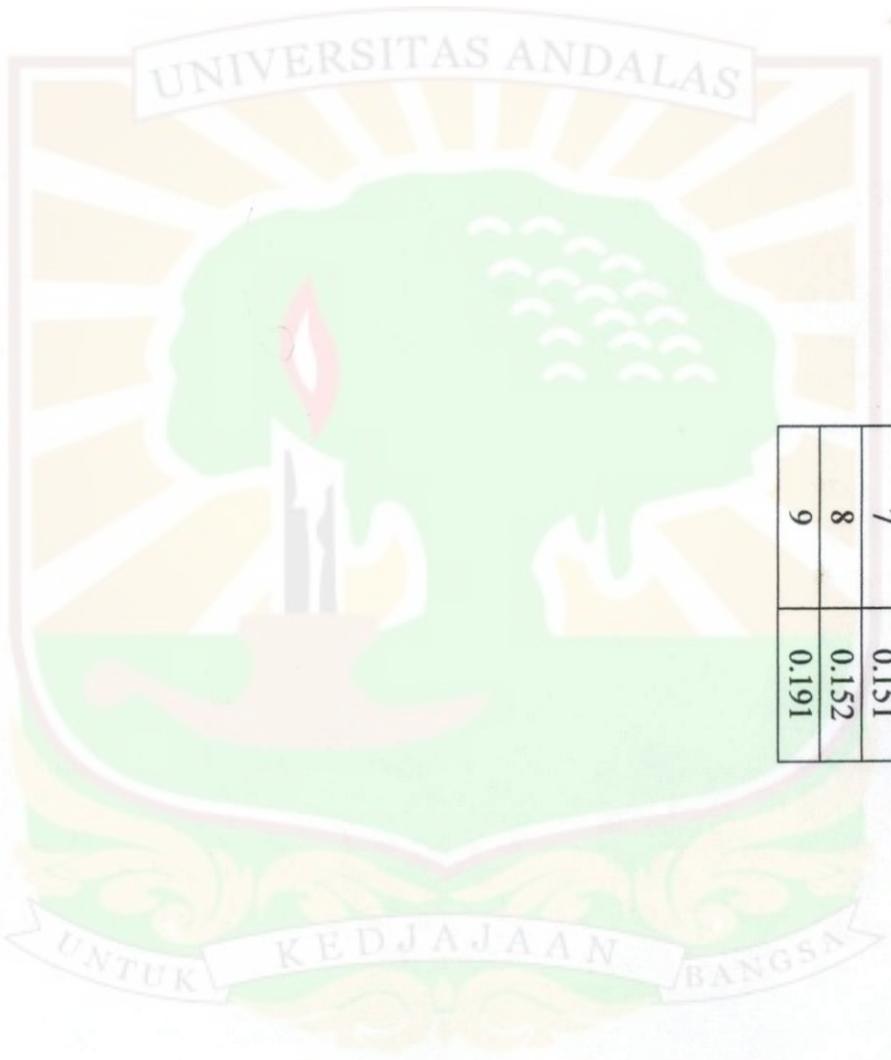
Konsentrasi awal : 20 mg/l

Berat adsorben : 5 gram

No	Vol (ml)	Absorban		Konsentrasi		% terserap	
		KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄	KOH	H ₃ PO ₄
1	50	-0.002	-0.002	0.257	0.258	98.72	98.71
2	100	-0.001	-0.001	0.29	0.289	98.55	98.56
3	150	0.000	0.000	0.378	0.379	98.11	98.11
4	200	0.001	0.001	0.46	0.457	97.70	97.72
5	250	0.002	0.002	0.523	0.519	97.39	97.41
6	300	0.003	0.003	0.651	0.649	96.75	96.76
7	350	0.004	0.004	0.727	0.728	96.37	96.36
8	400	0.006	0.006	0.845	0.85	95.78	95.75
9	450	0.007	0.007	0.901	0.899	95.50	95.51
10	500	0.007	0.009	0.936	1.111	95.32	94.45
11	550	0.009	0.011	1.045	1.209	94.78	93.96
12	600	0.011	0.012	1.201	1.302	94.00	93.49
13	650	0.011	0.012	1.229	1.324	93.86	93.38
14	700	0.011	0.014	1.24	1.487	93.80	92.57
15	750	0.012	0.015	1.342	1.54	93.29	92.30
16	800	0.014	0.017	1.468	1.699	92.66	91.51
17	850	0.014	0.018	1.489	1.787	92.56	91.07
18	900	0.015	0.021	1.539	1.97	92.31	90.15
19	950	0.017	0.027	1.702	2.444	91.49	87.78
20	1000	0.018	0.030	1.789	2.667	91.06	86.67
21	1050	0.021	0.031	1.968	2.799	90.16	86.01
22	1100	0.027	0.037	2.432	3.222	87.84	83.89
23	1150	0.030	0.049	2.702	4.12	86.49	79.40
24	1200	0.031	0.060	2.801	5.011	86.00	74.95
25	1250	0.037	0.073	3.21	5.998	83.95	70.01
26	1300	0.047	0.084	4.01	6.878	79.95	65.61
27	1350	0.060	0.099	5.002	7.988	74.99	60.06
28	1400	0.073	0.104	6.021	8.422	69.90	57.89
29	1450	0.087	0.112	7.112	8.965	64.44	55.18
30	1500	0.102	0.114	8.201	9.125	59.00	54.38
31	1550	0.107	0.125	8.652	10.001	56.74	50.00
32	1600	0.112	0.132	9.023	10.535	54.89	47.33
33	1650	0.119	0.138	9.567	11.005	52.17	44.98
34	1700	0.128	0.147	10.231	11.658	48.85	41.71
35	1750	0.133	0.153	10.635	12.123	46.83	39.39
36	1800	0.144	0.159	11.432	12.648	42.84	36.76
37	1850	0.151	0.164	11.987	13.012	40.07	34.94
38	1900	0.155	0.173	12.32	13.678	38.40	31.61
39	1950	0.161	0.177	12.789	14.002	36.06	29.99

Lampiran 8. Hasil Pengukuran Absorban Larutan Standar Pb

Konsentrasi (mg/l)	Absorban
1	0.027
2	0.045
3	0.072
4	0.079
5	0.11
6	0.118
7	0.151
8	0.152
9	0.191



MILIK
UPD PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS ANDALAS

Lampiran 9. Penelusuran Kondisi Optimum Penyerapan Pb

1. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Ratio Penggunaan Aktivator

NO	Ratio	Konsentrasi Pb		% terserap		Keterangan
		KOH	H3PO4	KOH	H3PO4	
1	1 + 0	1.437		85.63		Berat adsorben = 1 gram pH = netral Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	1 + 1	1.079	0.057	89.21	99.43	
3	1,5 + 1	1.41	0.061	85.9	99.39	
4	2 + 1	1.152	0.061	88.48	99.39	

2. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Variasi pH

NO	pH	Konsentrasi Pb		% terserap		Keterangan
		KOH	H3PO4	KOH	H3PO4	
1	4	1.002	0.136	89.98	98.64	Berat adsorben = 1 gram Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	6	1.112	0.102	88.88	98.98	
3	8	0.989	0.477	90.11	95.23	
4	10	1.234	0.84	87.66	91.6	

3. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Berat Maksimal

NO	Berat (gr)	Konsentrasi Pb		% terserap		Keterangan
		KOH	H3PO4	KOH	H3PO4	
1	0.6	0.945	0.82	90.55	91.8	pH = 6 Volume Fenol = 100 ml Konsentrasi awal = 10 mg/l
2	0.8	0.125	0.102	98.75	98.98	
3	1	0.105	0.095	98.95	99.05	
4	1.2	0.101	0.076	98.99	99.24	
5	1.4	0.098	0.056	99.02	99.44	
6	1.8	0.094	0.045	99.06	99.55	
7	2	0.089	0.033	99.11	99.67	
8	2.2	0.071	0.014	99.29	99.86	
9	2.4	0.035	0.001	99.65	99.99	

Lampiran 10. Hasil Pengukuran Servis Volume Larutan ion timbal (Pb)

pH : 6

Konsentrasi awal : 10 mg/l

Berat adsorben : 5 gram

NO	Vol (ml)	Konsentrasi Pb	
		H3PO4	KOH
1	50	0.085	0.092
2	100	0.089	0.099
3	150	0.104	0.112
4	200	0.125	0.131
5	250	0.136	0.14
6	300	0.145	0.152
7	350	0.156	0.163
8	400	0.203	0.214
9	450	0.326	0.339
10	500	0.512	0.563
11	550	0.699	0.701
12	600	0.728	0.768
13	650	0.997	1.223
14	700	1.123	1.425
15	750	1.356	1.563
16	800	1.602	1.645
17	850	1.988	2.211
18	900	2.003	2.458
19	950	2.256	2.998
20	1000	2.324	3.114
21	1050	2.522	3.325

NO	Vol (ml)	Konsentrasi Pb	
		H3PO4	KOH
22	1100	2.621	3.52
23	1150	3.222	3.658
24	1200	3.453	3.999
25	1250	3.756	4.123
26	1300	3.932	4.445
27	1350	4.001	5.002
28	1400	4.514	5.653
29	1450	4.732	6.001
30	1500	4.951	6.435
31	1550	5.001	6.999
32	1600	5.224	7.212
33	1650	5.431	7.687
34	1700	5.789	8.002
35	1750	6.041	8.452
36	1800	6.289	8.998
37	1850	6.659	9.012
38	1900	7.488	9.856
39	1950	8.003	
40	2000	8.654	
41	2050	9.125	
42	2100	9.989	