

**EFEKTIVITAS ADSORPSI DENGAN VARIASI GRADASI
BUTIRAN KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN PADA
INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SEDERHANA
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**HEROISME BUNG TOMO
NIM. 0001060459 - 64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN PENGAIRAN
MALANG
2007**

**EFEKTIVITAS ADSORPSI DENGAN VARIASI GRADASI
BUTIRAN KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN PADA
INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SEDERHANA
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh:

**HEROISME BUNG TOMO
NIM. 0001060459 - 64**

DOSEN PEMBIMBING

ANDRE PRIMANTYO H.,ST, MT.
NIP. 132 296 278

Ir. USSY ANDAWAYANTI, MS.
NIP. 131 645 151

**EFEKTIVITAS ADSORPSI DENGAN VARIASI GRADASI
BUTIRAN KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN PADA
INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SEDERHANA
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

Disusun Oleh:

HEROISME BUNG TOMO
NIM. 0001060459 - 64

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal Juli 2007

DOSEN PENGUJI

ANDRE PRIMANTYO H.,ST, MT.
NIP. 132 296 278

Ir. USSY ANDAWAYANTI, MS
NIP. 131 645 151

DR.Ir. MOHAMMAD BISRI, MS.
NIP. 131 645 152

TRI BUDI PRAYOGO, ST, MT.
NIP.132 143 262

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Ir. RINI WAHYU SAYEKTI, MS
NIP. 131 629 862

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik dalam menempuh gelar sarjana (S1) di Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Ibu dan saudara-saudaraku atas doa, kasih sayang dan dukungannya.
2. Ibu Ir. Rini Wahyu Sayekti, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Janu Ismoyo, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya .
4. Bapak Andre Primantyo H.,ST, MT, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Ir. Ussy Andawayanti, MS, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Ir. Endang Purwati, MP, selaku Kepala Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Ibu Dr. Diah Mardiana, MS, selaku Kepala Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
8. Mas Prasetyo Rubiantoro, selaku Laboran Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
9. Mas Bambang Rianto, Msi, selaku Laboran Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
10. Seluruh saudara, sahabat dan teman atas semua bantuan dan dukungannya.
11. Semua pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusun menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi penyempurnaan lebih lanjut. Semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak yang mengambil manfaat dari kajian ini.

Malang, Juli 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
RINGKASAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan dan Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi dan Karakteristik Air Limbah	4
2.2 Pengolahan Air Limbah.....	9
2.2.1 Pengolahan Fisik.....	9
2.2.2 Pengolahan Kimia.....	10
2.2.3 Pengolahan Biologis	11
2.3 Pengolahan Limbah yang Mengandung Logam Berat	13
2.3.1 Definisi Logam Berat.....	15
2.3.2 Standar Kualitas Air Limbah yang Mengandung Logam Berat ...	17
2.4 Karakteristik Karbon Teraktivasi (Activated Carbon).....	18
2.5 Teori Adsorpsi Isotermis	20
2.5.1 Teori Adsorpsi Freundlich.....	23
2.5.2 Teori Adsorpsi Langmuir.....	25
2.5.3 Batch Adsorption Test	27
2.6 Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan menggunakan Adsorben	28
2.6.1 Kontaktor dengan Dasar Tetap (<i>Fixed-Bed</i>).....	28
2.6.2 Kontaktor dengan Dasar Tidak Tetap (<i>Expanded-Bed</i>).....	30
2.6.3 Analisis dan Desain Kontaktor Karbon Aktif tipe Butiran.....	30

BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Persiapan Bahan Adsorben, Sampel dan Peralatan Pengujian	35
3.2 Parameter-parameter yang Diukur	36
3.3 Tahapan Penelitian	36
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Kondisi Awal Sampel Polutan	43
4.1.1 Adsorbansi Larutan Pb	43
4.1.2 Nilai pH	45
4.2 Pengaruh Jumlah Adsorben Terhadap Penurunan Konsentrasi Polutan	47
4.3 Karakteristik Adsorpsi Karbon Aktif	50
4.3.1 Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Freundlich	50
4.3.2 Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Langmuir	53
4.2 Perencanaan Instalasi Pengolah Limbah Sederhana	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



RINGKASAN

HEROISME BUNG TOMO (0001060459-64), Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Juli 2007, ***Efektivitas Adsorpsi Dengan Variasi Gradasi Butiran Karbon Aktif Sebagai Adsorben Pada Alat Fixed-Bed Contactor Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat***. Dosen Pembimbing: Andre Primantyo H.,ST, MT dan Ir. Ussy Andawayanti, MS.

Perkembangan sektor industri menyebabkan peningkatan hasil limbah yang dapat mengganggu bahkan merugikan umat manusia. Limbah dengan kandungan logam berat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena sifat toksiknya yang tinggi dan potensi karsinogeniknya. Salah satu alternatif tindakan penanganan limbah dalam penelitian ini adalah menggunakan metode adsorpsi dengan bahan adsorben karbon aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas dan efektivitas adsorpsi karbon aktif dalam mengurangi kadar logam Pb pada larutan polutan buatan.

Langkah-langkah penelitian sebagai berikut ; larutan polutan Pb dengan variasi konsentrasi dicampur dengan adsorben karbon aktif, perlakuan pada variasi gradasi butiran karbon aktif dan variasi jumlah adsorben, sampel kemudian diaduk selama 4 jam dan didiamkan selama 24 jam, untuk selanjutnya dianalisis menggunakan metode *Atomic Adsorption Spectrophotometry* guna mengetahui kadar logam Pb yang terkandung.

Dari hasil dari penelitian didapatkan data pH dan konsentrasi keseimbangan Pb. Dengan data tersebut dilakukan interpretasi hasil penelitian dengan permodelan adsorpsi isotermis Freundlich dan adsorpsi isotermis Langmuir. Interpretasi hasil penelitian ini telah membuktikan bahwa semakin kecil gradasi butiran adsorben karbon aktif maka semakin baik tingkat adsorpsinya karena luas permukaan yang semakin besar. Kemudian merencanakan desain awal (*preliminary design*) alat *Fixed-Bed Contactor*. Dengan data kapasitas dan efektivitas karbon aktif dilakukan uji hipotetik instalasi pengolahan limbah cair sederhana dengan menggunakan alat *Fixed-Bed Contactor* karbon aktif tipe Butiran (GAC).

Kata kunci : Adsorpsi, karbon aktif, Logam Pb (Timbal), Atomic Adsorption Spectrophotometry , alat Fixed-Bed Contactor

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Manusia membutuhkan air dalam semua aspek kehidupan, untuk memasak, mandi, mencuci dan kebutuhan lainnya. Secara biologis air berperan dalam semua proses dalam tubuh manusia, misalnya pencernaan, metabolisme, transportasi, mengaur keseimbangan suhu tubuh. Pada air tercemar kandungan logam berat akan menyebabkan gangguan fisiologis secara menahun bahkan ada yang bersifat toksis. Jika kita mengkonsumsi air minum secara terus menerus dengan kandungan logam berat dalam jumlah melebihi baku mutu air maka dimungkinkan adanya akumulasi logam tersebut dalam tubuh. Oleh karena itu untuk menghindari akibat-akibat buruk yang tidak diinginkan tersebut, perlu dicari suatu teknik pengolahan air untuk menurunkan kadar logam berat dalam air sampai kadarnya dibawah ambang batas yang diperbolehkan.

Industri dan pabrik sebagai penghasil limbah logam berat yang utama kurang atau bahkan tidak memiliki instalasi pengolahan limbah yang memadai. Selain itu, mereka cenderung untuk membuang limbahnya langsung ke sungai dan lingkungan sekitar, dengan harapan mendapatkan biaya produksi yang rendah. Limbah dengan kandungan logam berat yang dibuang merupakan potensi besar penyumbang menurunnya kesehatan manusia saat ini. Sehingga diperlukan penanggulangan limbah yang serius, terutama untuk limbah logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena sifat toksiknya yang tinggi dan potensi karsinogeniknya. Untuk itu diperlukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi pada bahan adsorben yang biasa dipakai pada instalasi pengolahan limbah.

Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang digunakan dalam menurunkan kadar logam berat. Karbon aktif lebih efektif dalam mengadsorpsi, karena pembuatan karbon aktif dilakukan pada suhu dan tekanan yang tinggi, sehingga akan terbentuk rekahan-rekahan (rongga) yang sangat halus dengan jumlah yang sangat banyak dan menyebabkan luas permukaan arang menjadi besar (1 gram arang aktif umumnya memiliki luas permukaan $500 - 1500 \text{ m}^2$). Untuk lebih mengetahui kapasitas adsorpsi karbon aktif tersebut diperlukan suatu penelitian dengan menggunakan berbagai variasi gradasi butiran karbon aktif, sehingga dapat diketahui efektivitas dan kemampuan adsorpsi pada karbon aktif dalam mengurangi kadar logam berat.

1.2. Identifikasi Masalah

Perkembangan industri yang pesat dapat menimbulkan kenaikan limbah yang mengandung logam berat. Untuk memperoleh treatment yang tepat dalam menanggulangi masalah logam berat diperlukan penelitian pendahuluan terhadap karakteristik bahan – bahan (adsorben) yang dapat menurunkan kadar logam berat dalam suatu limbah.

Kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi dari adsorben itu. Semakin kecil gradasi suatu adsorben maka semakin baik tingkat adsorpsinya karena luas permukaan yang semakin besar.

Karbon aktif sebagai salah satu adsorben yang mudah ditemukan dipasaran mempunyai beberapa macam gradasi dan spesifikasi, karbon aktif juga dapat dibeli sesuai gradasi dan spesifikasi yang diminta oleh konsumen, ini perlu mendapatkan pengkajian lebih lanjut terhadap kemampuannya dalam mengadsorpsi ion logam berat dalam suatu limbah.

1.3. Rumusan Masalah

Dari identifikasi masalah yang telah dikemukakan diatas, maka permasalahan dalam penyusunan skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap ion logam berat bila ditinjau dari teori adsorpsi Freundlich dan teori adsorpsi Langmuir?
2. Bagaimana efektivitas adsorpsi pada karbon aktif sebagai adsorben dalam menyerap ion logam berat dilihat dari variasi gradasi butirannya?
3. Bagaimana perancangan desain awal (*preliminary design*) instalasi pengolahan limbah sederhana yang dapat mengurangi kadar limbah logam berat Pb^{2+} ?

1.4. Batasan Masalah

Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada kapasitas penyerapan karbon aktif terhadap ion logam berat Pb^{2+} . Batasan permasalahan yang diambil adalah :

1. Hanya membahas kemampuan adsorpsi pada karbon aktif
2. Adsorben menggunakan arang aktif dari tempurung kelapa komersial yang mudah diperoleh di pasaran.
3. Menggunakan limbah buatan yang diperoleh dari mencampurkan polutan pada aquades dengan konsentrasi tertentu.

4. Polutan yang digunakan adalah Pb dalam larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
5. Konsentrasi logam berat dalam larutan ditentukan dengan metode Atomic Adsorption Spectrophotometry.
6. Menggunakan teori adsorpsi isotermis Langmuir dan teori adsorpsi isotermis Freundlich sebagai dasar teori adsorpsi dan penghitungannya.
7. Variasi gradasi butiran karbon aktif :
 - a. Ukuran gradasi butiran kasar : lolos ayakan no. 10 ($\varnothing$ 2.000 mm).
 - b. Ukuran gradasi butiran halus : lolos ayakan no. 20 ($\varnothing$ 0.850 mm).
8. Adsorben karbon aktif digunakan pada desain awal (*preliminary design*) Instalasi Pengolahan Limbah Cair Sederhana.

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dilakukannya penelitian terhadap efektivitas adsorpsi pada variasi gradasi butiran karbon aktif sebagai adsorben dalam menyerap logam berat Pb^{2+} adalah untuk mengetahui spesifikasi karbon aktif yang lebih efektif dalam suatu alat instalasi pengolahan limbah. Serta dapat diketahui juga kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap ion logam berat Pb^{2+} bila ditinjau dari teori permodelan adsorpsi isotermis Freundlich dan teori permodelan isotermis adsorpsi Langmuir.

Manfaat penelitian adalah dapat mengetahui efektivitas dan kemampuan adsorpsi pada karbon aktif dalam mengurangi kadar logam berat Pb^{2+} , sehingga keberhasilan alat instalasi pengolahan limbah logam berat dapat dimaksimalkan.

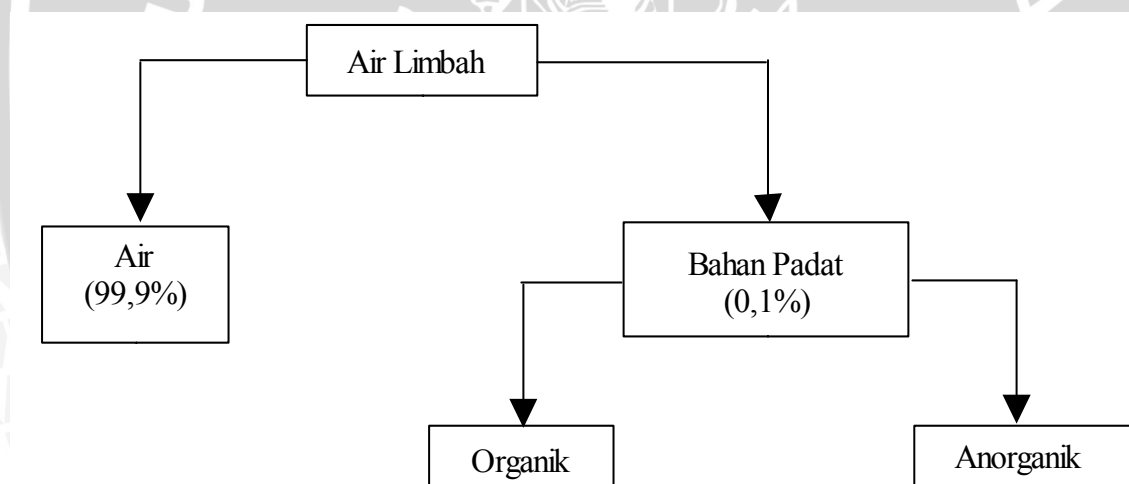
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Karakteristik Air Limbah

Limbah atau air buangan pada umumnya meliputi komposisi serta dari mana air tersebut berasal, misalnya air buangan industri, rumah tangga, daerah pertanian, perdagangan, dan lain-lain.

Menurut Eddy and Metcalf (1979), air buangan atau limbah adalah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang berasal dari daerah pemukiman, perdagangan, perkantoran, industri, bersama-sama dengan air tanah, air permukaan dan air hujan yang mungkin ada.

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Akan tetapi, secara garis besar zat-zat yang terdapat didalam air limbah dapat dikelompokkan seperti berikut :



Gambar 2.1. Skema pengelompokan bahan yang terkandung dalam air limbah
(Sumber : Eddy dan Metcalf, 1979)

Data mengenai sumber air limbah dapat dipergunakan untuk memperkirakan jumlah rata-rata aliran air limbah dari berbagai jenis perumahan, industri, dan aliran air tanah yang ada di sekitarnya. Semuanya ini dihitung perkembangannya atau pertumbuhannya sebelum membuat suatu bangunan pengolahan air limbah serta merencanakan pemasangan saluran pembawanya.

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik, Kimia, Biologis Air Limbah serta Sumber Asalnya

Sifat-sifat Air Limbah	Sumber Air Limbah
- Sifat Fisik :	
Warna	Air buangan rumah tangga dan industri serta bangkai benda organis.
Bau	Pembusukan air limbah dan limbah industri.
Endapan	Penyediaan air minum, air limbah rumah tangga dan industri, erosi tanah, aliran air rembesan.
Temperatur	Air limbah rumah tangga dan industri.
- Sifat kimia	
a. Organik	
Karbohidrat	Air limbah rumah tangga, perdagangan serta limbah industri.
Minyak, lemak	Air limbah rumah tangga, perdagangan serta limbah industri.
Pestisida	Air limbah pertanian.
Fenol	Air limbah industri.
Protein	Air limbah rumah tangga, perdagangan.
Deterjen	Air limbah rumah tangga, industri.
Lain-lain	Bahan bangkai organik alamiah.
b. Anorganik	
Kesadahan	Air limbah dan air minum rumah tangga serta rembesan air tanah.
Klorida	Air limbah dan air minum rumah tangga, rembesan air tanah dan pelunak air.
Logam berat	Air limbah industri.
Nitrogen	Air limbah rumah tangga dan pertanian.
pH	Air limbah industri.
Fosfor	Air limbah rumah tangga dan industri serta limpahan air hujan.
Belerang	Air limbah dan air minum rumah tangga, limbah industri.
c. Gas-gas	
Hidrogen sulfida	Pembusukan limbah rumah tangga.
Metan	Pembusukan limbah rumah tangga.
Oksigen	Penyediaan air minum rumah tangga serta perembesan air permukaan.
- Sifat biologis	
Binatang	Saluran terbuka dan bangunan pengolah.
Tumbuh-tumbuhan	Saluran terbuka dan bangunan pelimpah.
Protista	Air limbah rumah tangga dan bangunan pengolah.
Virus	Air limbah rumah tangga.

Sumber : Sugiharto, 1987

2.2 Pengolahan Air Limbah

Menurut sifat limbah, maka proses pengolahannya dapat digolongkan menjadi 3 proses, yaitu proses fisika, kimia dan biologis. Proses ini tidak berjalan sendiri-sendiri, namun terkadang harus dilaksanakan secara kombinasi.

2.2.1 Pengolahan Fisik

Metode ini meliputi penyaringan, pengecilan ukuran, pembuangan serpih, pengendapan dan filtrasi.

1. Penyaringan

Tujuan pertama dari penyaringan adalah memisahkan padatan tidak terlarut dan bahan kasar lain dengan ukuran yang cukup besar. Ukuran saringan juga bervariasi, yaitu saringan kasar ($\varnothing$ 50 mm), saringan sedang ($\varnothing$ 12mm - $\varnothing$ 40 mm), dan saringan halus ($\varnothing$ 1,6mm - $\varnothing$ 3 mm). Bahan saringan umumnya adalah kawat baja yang dianyam atau jeruji besi. Penyaringan akan membuang sekitar 20 % bahan padat terapung yang ada dalam air limbah.

2. Pengecilan Ukuran

Padatan kasar dihaluskan agar menjadi kecil dengan menggunakan alat pencacah. Karena ukuran bahan padat diperkecil, maka mereka akan lolos melalui saringan menuju pengolahan selanjutnya.

3. Pembuangan Serpih

Kolam serpih yang direncanakan secara khusus digunakan untuk membuang partikel-partikel anorganik (berat jenis kira-kira 1.6 - 2.65), misalnya pasir, kulit telur, kerikil, tulang dan lain-lain. Tujuan kolam ini lebih utama untuk mencegah kerusakan pompa dan untuk mencegah penumpukan bahan tersebut di dalam kolam lumpur aktif.

4. Pengendapan

Fungsi utama dari kolam pengendapan adalah untuk membuang bahan terlarut dari air limbah yang masuk.

Proses pengendapan dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

- *Discrete Settling*

Proses pengendapan yang terjadi yaitu pengendapan partikel tanpa mengalami perubahan bentuk, ukuran maupun berat partikel. Kecepatan pengendapan dari partikel dapat didekati dengan rumus persamaan Stoke :

$$v_s = \frac{\rho_s - \rho_t}{18\mu} \cdot g \cdot D \quad (2-1)$$

- Dengan :
- v = kecepatan partikel mengendap (m/dt)
 - ρ_s = spesifik gravity partikel
 - ρ_t = spesifik gravity cair
 - g = percepatan gravitasi
 - ν = viskositas kinematik (m²/dt)
 - D = diameter partikel (m)

– Flocculent Settling

Proses pengendapan ini pada dasarnya sama dengan discrete settling, namun perhitungan secara matematis sulit dilakukan. Hal ini terutama mengingat sulitnya menetapkan diameter partikel yang ukurannya bervariasi karena selama partikel bergerak akan menarik partikel lain untuk bergabung sehingga kecepatan pengendapannya berbeda-beda. Kebanyakan partikel tersuspensi yang berasal dari limbah industri umumnya mengandung sifat ini.

– Zone Settling

Zone Settling merupakan proses pengendapan secara kimia karena tahap ini digunakan zat kimia yang bersifat koagulan. Proses ini adalah proses pengendapan partikel saat mengendap terjadi secara serentak dan bersamaan. Bahan koagulan yang umum dipakai adalah *Alum* [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$].

2.2.2 Pengolahan Kimia

Proses pengolahan secara kimia adalah menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar dalam limbah. Proses utama dilakukan dalam metode ini adalah pengendapan kimiawi dan klorinasi.

Pengendapan kimiawi dapat digunakan untuk meningkatkan pembuangan bahan tersuspensi atau jika pengendapan secara fisik tidak berfungsi secara optimal. Bahan koagulan yang sering dipakai adalah *Alum* atau dikenal dengan tawas dan *lime* (kapur) CaO .

Pengendapan kimiawi akan berhasil dengan baik jika perbandingan antara koagulan dengan air tepat. Manfaat tahap ini adalah sebagai usaha untuk meningkatkan kapasitas dari bak pengendap biasa yang kelebihan beban namun kerugiannya adalah menambah biaya operasional.

Klorinasi digunakan untuk mengurangi bakteri yang bersifat patogen. Mekanisme yaitu dengan merusak enzim utama yang ada dalam sel bakteri sehingga dinding selnya menjadi rusak atau bahkan hancur. Akibatnya bakteri akan mati.

2.2.3 Pengolahan Biologis

Untuk mengolah air limbah yang mengandung senyawa organik umumnya menggunakan teknologi pengolahan air limbah secara biologis atau gabungan antara proses biologis dengan proses kimia dan fisika. Tujuannya mengurangi zat organik melalui biokimia oksidasi dengan cara memanfaatkan mikroorganisme. Pengolahan limbah dengan cara ini terdiri dari 3 kondisi, yaitu :

1. Proses secara *aerob* yang merupakan pengolahan limbah pada kondisi tersedia oksigen bagi bakteri untuk menguraikan limbah. Proses biologis *aerob* biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar. Pengolahan air limbah secara biologis *aerob* secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

a. Proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*)

Adalah sistem dengan menggunakan aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Contoh proses pengolahan dengan sistem ini adalah proses lumpur aktif.

b. Proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*)

Proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) adalah proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *trickling filter* atau biofilter, *rotating biological contractor* (RBC).

c. Proses biologis dengan kolam atau lagoon

Proses pengolahan air limbah dengan kolam atau lagoon adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikroorganisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai.

2. Proses secara *anaerob*, yaitu pengolahan pada kondisi tanpa adanya oksigen sehingga bakteri *anaerob* menguraikan zat organik menjadi gas metan dan gas CO₂.

3. Proses fakultatif, yaitu pengolahan limbah dimana bakteri yang ada mempunyai kemampuan adaptasi tinggi, dimana bakteri tersebut mampu bertahan pada kondisi *aerob* maupun *anaerob*.

Tabel 2.2 Karakteristik Operasional Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis.

JENIS PROSES	EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)	KETERANGAN
1. PROSES BIOMASSA TERSUSPENSI		
- LUMPUR AKTIF STANDAR	85 – 95	
- STEP AERATION	85 – 95	Digunakan untuk beban pengolahan yang besar.
- MODIFIED AERATION	60 – 75	Untuk pengolahan dengan kualitas air olahan sedang.
- CONTACT STABILIZATION	80 – 90	Digunakan untuk pengolahan paket. Untuk mereduksi lumpur.
- HIGH RATE AERATION	75 – 90	Untuk pengolahan paket, bak aerasi dan bak pengendap akhir merupakan satu paket. Memerlukan area yang kecil.
- PURE OXYGEN PROCESS	85 – 95	Untuk pengolahan air limbah yang sulit diuraikan secara biologis. Luas area yang dibutuhkan kecil.
- OXIDATION DITCH	75 – 95	Konstruksinya mudah, tetapi memerlukan area yang luas.
2. PROSES BIOMASSA MELEKAT		
- TRICKLING FILTER	80 – 90	Sering timbul lalat dan bau. Proses operasinya mudah.
- ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR	80 – 95	Konsumsi energi rendah, produksi lumpur kecil. Tidak memerlukan proses aerasi.
- CONTACT AERATION PROCESS	80 – 95	Memungkinkan untuk penghilangan nitrogen dan fospor.
- BIOFILTER ANAEROBIC	65 – 80	Memungkinkan waktu tinggal yang lama, lumpur yang terjadi kecil.
3. LAGOON	60 – 80	Memerlukan waktu tinggal yang lama dan area yang dibutuhkan sangat luas.

Sumber : Direktorat jenderal PPM & PL Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2003

Unit yang digunakan dalam pengolahan secara biologis yaitu unit aerasi (reaktor lumpur aktif) dan kolam stabilisasi.

1. Unit aerasi

Sebuah kolam aerasi pada dasarnya merupakan unit pengolahan limbah dimana oksigen dimasukkan dengan menggunakan aerator mekanik sehingga tidak mengandalkan produksi oksigen dari udara bebas ataupun hasil fotosintesis.

Fungsi dari kolam aerasi adalah ;

- Sebagai tambahan oksigen
- Untuk membuang CO₂ dan gas-gas terlarut lainnya
- Untuk membuang H₂S guna mengurangi bau serta mereduksi Fe

Untuk memenuhi fungsi tersebut maka diperlukan transfer oksigen yang cukup dalam air limbah. Transfer oksigen adalah perpindahan oksigen dari wujud gas menjadi cair sehingga dapat meningkatkan kandungan oksigen terlarut. Aerator berfungsi mempercepat proses transfer. Aerator digunakan jika kadar BOD > 50 mg/liter. Kapasitas dalam mentransfer oksigen dengan suhu 20° C (kw/jam). Besar kecilnya oksigen yang terlarut dalam air limbah dipengaruhi:

- Suhu
- Pergolakan permukaan air
- Luas daerah permukaan
- Tekanan atmosfer dan prosentase oksigen di udara

2. Kolam Stabilisasi

Dalam kondisi ini terjadi hubungan simbiosis mutualisme antara ganggang dan mikroorganisme. Ganggang melalui proses fotosintesis menghasilkan oksigen. Dari oksigen yang dihasilkan digunakan bakteri untuk oksidasi bahan organik yang nantinya dapat digunakan sebagai makanan ganggang dan oksigen tersebut dapat pula digunakan untuk proses respirasi atau pernafasan ganggang itu sendiri. Hasil akhirnya adalah karbondioksida, amonia, dan fosfat. Kolam stabilisasi sebaiknya tidak dibangun di dekat pemukiman penduduk untuk menghindari keluhan baunya.

2.3 Pengolahan Limbah yang mengandung logam berat

Untuk mengurangi konsentrasi kontaminan pada limbah yang mengandung kontaminan logam berat terlarut ada banyak cara teknik pengolahan . Antara lain yang

umum digunakan adalah teknik *presipitasi*, diikuti proses yang lain. Beberapa cara dapat dilakukan untuk mencapai tujuan ini, terutama berkaitan dengan reaksi redoks, misalnya :

- Mengatur nilai pH, misalnya dengan menambah kapur (*lime*) sehingga logam dalam bentuk hidroksidanya akan terpresipitasi. Setelah terjadi presipitat, maka presipitat diendapkan dalam sedimentasi atau *clarifier*, yang dilanjutkan dengan penyaringan (filtrasi). Penggunaan koagulan seperti aluminium sulfat atau poly aluminium sulfat dapat dilakukan untuk mempercepat dan meningkatkan efisiensi pengendapan sehingga mengurangi beban filter.
- Besi terlarut (ferrous, Fe^{2+}) dapat dioksidasi untuk membentuk feri hidroksida yang mengendap. Aerasi diikuti dengan koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi merupakan proses yang umum dilakukan untuk mengurangi kadar besi.
- Cr^{6+} harus direduksi menjadi Cr^{3+} , yang dapat diendapkan. Caranya dengan menurunkan nilai pH menjadi 3, kemudian menambahkan pereduksi seperti misalnya SO_2 . Cr^{3+} dalam bentuk hidroksidanya dapat dipresipitasi pada nilai pH diatas 7.
- Arsenik dapat dikurangi kadarnya melalui mekanisme ko-presipitasi dengan besi. Besi terlarut ditambahkan pada nilai pH 5 sampai 6, kemudian pH dinaikkan dengan menambahkan kapur sampai kisaran 8-9, dimana besi akan mengendap bersama arsenik.

Teknik lain yang juga umum digunakan adalah dengan **pertukaran ion** (*ion-exchange*) dan sorpsi. Teknik ini dapat digunakan untuk kontaminan anorganik yang sulit dihilangkan dengan proses presipitasi, misalnya untuk senyawa nitrat dan khlorida. Material organik, seperti misalnya biomassa mikroorganisme juga dapat digunakan untuk mensorpsi logam terlarut. Selain itu, teknik **nano filtrasi (reverse osmosis)** dan **elektrodialisis** dapat digunakan untuk kontaminan anorganik dengan kadar rendah yang tidak dapat diturunkan kadarnya dengan proses presipitasi.

Teknik sorpsi dengan menggunakan karbon aktif, teknik ini cocok untuk kontaminan yang mempunyai volatilitas rendah dan kadar rendah. Air yang terkontaminasi dialirkan ke dalam tabung yang berisi karbon aktif dalam bentuk butiran (*granular*). Kontaminan tersebut akan tersorpsi pada permukaan karbon aktif tersebut, sampai kapasitas sorpsi maksimum (*jenuh*). Karbon aktif tersebut harus diganti bila *jenuh* atau diregenerasi dengan pemanasan.

2.3.1 Definisi logam berat

Logam berat merupakan komponen alami tanah. Elemen ini tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia lewat makanan, air minum, atau melalui udara. Logam-logam berat seperti tembaga, selenium, atau seng dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja metabolisme tubuh. Logam-logam tersebut berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh tinggi.

Logam berat dapat ditemui juga pada tubuh manusia, alat-alat rumah tangga (misalnya baterai), obat-obatan, rokok, alat-alat elektronik, insektisida, pipa air, bensin, udara, keramik, serta material lainnya. Konsentrasi logam berat pada barang-barang tersebut kecil dan tidak berbahaya. Namun menjadi berbahaya bila terakumulasi dalam tubuh sehingga mengakibatkan keracunan, bahkan lebih fatal hingga berakibat kematian. Disebut logam berat berbahaya karena umumnya memiliki rapat massa tinggi dan sejumlah konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya. Yang termasuk golongan logam berat adalah seluruh elemen logam kimia. Merkuri atau raksa (Hg), kadmium (Cd), arsen (As), kromium (Cr), Talium (Tl), dan timbal (Pb) adalah beberapa contoh logam berat berbahaya.

Menurut Watts, (1998), logam didefinisikan sebagai elemen yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Menghantarkan listrik,
- Mempunyai konduktifitas terhadap panas (thermal) yang tinggi,
- Mempunyai densitas yang tinggi, dan
- Mempunyai karakteristik *malleability* dan kelenturan.

Kehadiran logam, terutama logam berat dalam tanah dan air patut mendapat perhatian yang serius paling tidak karena tiga hal berikut :

- Sifat racun logam dan potensi karsinogeniknya.
- Mobilitas logam dalam tanah bisa dengan cepat berubah, dari yang tadinya *immobile* atau dalam bentuk logamnya menjadi bentuk terlarut dalam spesies yang dengan mudah bisa berubah.
- Logam mempunyai sifat konservatif dan cenderung kumulatif dalam tubuh manusia.

Dengan sifat tersebut di atas, maka keberadaan logam, terutama logam berat dalam air mempunyai potensi yang sangat tinggi sebagai sumber polutan yang berbahaya.

Logam berat menjadi berbahaya disebabkan sistem bioakumulasi. Bioakumulasi berarti peningkatan konsentrasi unsur kimia tersebut dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida makanan. Akumulasi atau peningkatan konsentrasi logam berat di alam mengakibatkan penumpukan konsentrasi logam berat di tubuh manusia, hal ini disebabkan karena manusia menempati posisi tertinggi dalam piramida makanan. Jumlah logam berat yang terakumulasi lebih cepat dibandingkan dengan jumlah yang tereskresi dan terdegradasi.

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang banyak dijumpai pada limbah di lingkungan sekitar. Logam ini memiliki berat atom 207,19. Logam ini mempunyai valensi II dan IV. Seperti halnya logam yang lain, Pb berasal dari pelapukan batuan asal. Umumnya peningkatan kadar Pb di alam disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar mobil (TEL), peleburan dan pertambangan timah, serta buangan limbah industri (baterai) maupun limbah domestik (sewage). Secara umum, keberadaan Pb di alam dikontrol oleh komposisi tanah, mineralogi tanah, kandungan zat organik, dan pH.

Timbal mempunyai efek racun pada susunan saraf pusat, terutama pada anak – anak (balita). Timbal masuk ke dalam tubuh melalui berbagai cara. Selain melalui pernapasan dalam bentuk partikulat, timbal dapat juga masuk melalui absorpsi oleh kulit dan saluran pencernaan. Fisik timbal sangat mirip dengan kalsium, sehingga timbal dapat masuk ke peredaran darah dan sel saraf menggantikan kalsium.

Adanya timbal dalam peredaran darah dan dalam otak mengakibatkan berbagai gangguan fungsi jaringan dan metabolisme. Gangguan mulai dari sintesis hemoglobin darah, gangguan pada ginjal, sistem reproduksi, penyakit akut atau kronik sistem saraf, serta gangguan fungsi paru-paru. Riset di negara Inggris menyebutkan IQ seorang anak kecil dapat menurun dua poin jika terdapat 10-20 mikrogram/l dalam darah. Menurut lembaga kesehatan di Inggris, keracunan kronik dapat terjadi pada anak-anak jika terdapat lebih dari 1,4 mikromol timbal per liter darah.

Tabel 2.3. Kontaminan logam dan kation

Jenis kontaminan	Sumber kegiatan
Aluminium	Campuran logam (<i>alloy</i>), industri listrik, bahan bangunan, cat dan perlengkapan mesin
Antimon	Campuran logam, <i>solder</i> , mesin-mesin untuk temperatur tinggi
Arsen	Campuran logam, zat warna, insektisida, herbisida dan racun tikus
Barium	Campuran logam, pelumas
Beryllium	Campuran logam untuk teknologi ruang angkasa, reaktor nuklir, bahan aditif untuk bahan bakar roket
Kadmium (Cadmium)	Campuran logam, pelapis (<i>coating</i>), bahan untuk baterai, perlengkapan elektrik, cat, fotografi dan fungisida
Kapur (Calcium)	Campuran logam, pupuk, bahan pereduksi
Khrom (Chromium)	Campuran logam, lapisan pelindung, cat, penelitian bidang nuklir dan temperatur tinggi
Kobalt (Cobalt)	Campuran logam, keramik, minuman, cat, gelas/kaca, katalis, percetakan, dan <i>electroplating</i>
Tembaga (Copper)	Campuran logam, cat, kabel listrik, mesin-mesin, <i>electroplating</i> , jaringan pipa, dan insektisida
Besi	Campuran logam, mesin dan bahan konstruksi
Timbal (Lead, Plumbum)	Campuran logam, baterai, aditif pada bensin, cat, pelindung radiasi
Lithium	Campuran logam, industri farmasi, baterai, <i>solder</i> , dan propellant
Magnesium	Campuran logam, baterai, pyroteknik, alat-alat presisi, dan cermin optic
Mangan	Campuran logam, katalis
Air raksa (Mercury)	Campuran logam, industri tambang emas rakyat, perlengkapan elektrik, industri farmasi
Molybdenum	Campuran logam, pigmen, dan pelumas
Nikel	Campuran logam, <i>electroplating</i> , keramik, baterai, dan katalis
Palladium	Katalis, campuran logam, lapisan pelindung, industri perhiasan (<i>jewelry</i>), dan perlengkapan listrik
Kalium (Potassium)	Campuran logam, katalis, pupuk
Selenium	Campuran logam, katalis, keramik dan elektronik
Perak (Silver)	Campuran logam, fotografi, industri kimia, perhiasan, katalis
Natrium (Sodium)	Industri, katalis, pendingin dan reagen dalam laboratorium kimia
Thallium	Campuran logam, industri gelas/kaca, fotoelektrik, pestisida
Titanium	Campuran logam, material, lapisan pelindung
Vanadium	Campuran logam, <i>electroplating</i> , katalis, sinar X
Seng (Zinc)	Campuran logam, <i>electroplating</i> , elektronik, otomotif, fungisida, atap

Sumber : OTA (1984) dalam Fetter (1999) dan dari berbagai sumber

2.3.2 Standar kualitas air Limbah yang Mengandung Logam Berat

Standar kualitas air limbah dimaksudkan untuk mencegah timbulnya pencemaran air lebih dini. Standar kualitas air limbah dibuat dalam standar air buangan (*effluent standart*), yaitu karakteristik air yang diisyaratkan bagi air buangan yang akan disalurkan ke sumber air, sawah, tanah, dan tempat lainnya, didalam penyusunannya telah dipertimbangkan pengaruh terhadap pemanfaatan sumber air yang menampungnya dan faktor ekonomis pengolahan air buangannya.

Aspek hukum dan institusi yang mendukung dalam pengelolaan air menjadi salah satu komponen yang sangat penting. Secara khusus, belum ada undang-undang yang mengatur pencemaran air. Aspek hukum dari pencemaran air termasuk dalam aspek pencemaran lingkungan secara keseluruhan. Lebih rinci lagi, hal ini terkait dengan peraturan daerah yang mungkin ada, dan berbeda untuk setiap daerah. Demikian halnya dengan masing-masing departemen teknis yang terkait.

Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur, No. 45 tahun 2002 Pasal 5, maka baku mutu air buangan ditetapkan sebagai berikut:

1. Golongan I : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas I

Air kelas I adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2. Golongan II : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas II

Air kelas II adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana / sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3. Golongan III : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas III

Air kelas III adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. Golongan IV : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas IV

Air kelas IV adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama

dengan kegunaan tersebut.

Peraturan lain yang relevan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, parameter kriteria mutu air berdasarkan kelas yang dicantumkan pada lampiran skripsi ini.

Untuk lumpur endapan yang boleh dibuang ke tempat pembuangan bahan buangan berbahaya (*hazardous waste landfill*), berlaku Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, yaitu SK Kepkabapedal 004/IX/1995, yang intinya sebagai berikut :

- Lumpur endapan (*sludge*) tidak cair, yang dinyatakan dengan tidak adanya cairan yang lolos dalam *Paint Filter Test*.
- Mempunyai kekuatan tekan "*unconfine compressive strength*" $\geq 1 \text{ kg/cm}^2$.
- Lolos kriteria **TCLP** (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), yaitu suatu testing untuk mengetahui apakah *leachate* atau lindi dari endapan lumpur atau limbah padat mengandung zat-zat berbahaya dengan kadar yang melebihi batas tertentu yang diizinkan (*regulatory level*), seperti yang tercantum dalam lampiran. Tidak mengandung kadar organik $\geq 10\%$. TCLP dilakukan pada kisaran pH lapangan, seperti misalnya pada pH dari lindi.
- Tidak mengandung bahan peledak (*ignitable materials*) atau mudah terbakar dan sifat-sifat korosivitas serta reaktivitas seperti yang dikategorikan dalam limbah atau bahan beracun dan berbahaya.
- Tidak mengandung PCB, Dioxin, Furan, dan bahan buangan berbahaya serta beracun (B3) lainnya. Sedangkan untuk material atau zat yang dikategorikan sebagai B3 telah ditentukan dalam daftar sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) No: PP 18/99 dan PP 85/99. Daftar bahan berbahaya tersebut dapat dilihat dalam lampiran.

2.4 Karakteristik Karbon Teraktivasi (Activated Carbon)

Karbon aktif berfungsi untuk meningkatkan *adsorpsi* (penyerapan). Pada tahap ini kotoran, partikel-partikel besar atau molekul-molekul organik akan diserap oleh karbon aktif. Makin kecil ukuran matriks makin besar kemampuannya dalam mengikat partikel. Karbon aktif sering digunakan untuk menyerap bau, warna dan bahan-bahan organik yang dapat menimbulkan rasa pada air. Namun demikian, daya serap karbon

aktif ini terbatas, semakin banyak bahan-bahan yang diserap maka semakin berkurang efektivitas karbon aktif yang digunakan. Selain itu walaupun karbon aktif ini dapat menghilangkan warna, bau dan rasa yang tidak diinginkan dalam air, bahan ini tidak dapat menghilangkan bakteri dan mineral-mineral berlebihan yang terdapat dalam air.

Karbon aktif dapat terbuat dari bahan yang mengandung karbon baik organik maupun anorganik, tetapi yang beredar di pasaran berasal dari tempurung kelapa, kayu dan batu-bara. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa terdiri dari 2 tahapan yaitu: proses pembuatan arang dari tempurung kelapa dan proses pembuatan arang aktif dari arang. Proses pembuatan arang aktif dilakukan dengan cara destilasi kering yaitu pembakaran tanpa adanya oksigen pada temperatur tinggi (suhu antara 600 – 2000°C). Untuk kegiatan ini dibutuhkan *prototype* tungku aktivasi (alat destilasi) yang merupakan kisi-kisi tempat arang yang diaktifkan dengan kapasitas 250 kg arang. Proses aktivasi dilakukan hanya dengan mengontrol temperatur selama waktu tertentu.

Karbon atau arang aktif ini lebih efektif dalam mengadsorpsi dibandingkan dengan arang biasa, karena pembuatan karbon aktif dilakukan pada suhu dan tekanan yang tinggi, sehingga akan terbentuk rekahan-rekahan (rongga) yang sangat halus dengan jumlah yang sangat banyak dan menyebabkan luas permukaan arang menjadi besar. Jika karbon aktif diperiksa dibawah Scanning Electron Microscopy, akan terlihat pori-pori dalam jumlah yang sangat besar. Pori-pori ini mempunyai ukuran yang bermacam-macam. Pori-pori yang berukuran lebih dari 50 nm disebut macropores, 2 nm – 50 nm mesopores, dan di bawah 2 nm micropores. Maka 1 gram karbon aktif memiliki luas permukaan 500 – 1500 m², sedangkan proses pembuatan arang biasa tidak serumit pembuatan arang aktif yang harus dengan suhu dan tekanan tinggi, oleh karena itu rekahan-rekahan (rongga) yang terbentuk tidak sebanyak pada karbon aktif sehingga pori-pori dalam arang tempurung yang bisa mengadsorpsi juga sedikit, selain itu bentuk karbon aktif yang granular menyebabkan arang aktif mempunyai luas permukaan atau bidang sentuh yang lebih besar dan menyebabkan proses penyerapan mikroorganisme menjadi lebih cepat.

Dengan gaya Van der Waals yang dimilikinya, pori-pori yang sangat luas ini mampu menangkap berbagai macam bahan, termasuk bahan beracun. Oleh karena itu karbon aktif dapat digunakan pada kasus overdosis obat, keracunan makanan, atau tertelan bahan beracun. Namun, kemampuannya menangkap racun ini hanya terjadi di lambung dan usus, ketika zat beracun belum terserap dan masuk ke dalam peredaran

darah. Sehingga, semakin cepat diberikan, semakin banyak racun yang dapat diserap.

Tidak semua bahan dapat diserap oleh karbon aktif. Beberapa diantaranya yang tidak dapat diserap adalah litium, asam atau basa kuat, alkohol (misalnya etanol, metanol, isoprofil alkohol, glikol, dan aseton), dan hidrokarbon (seperti minyak tanah, bensin, oli, dan hidrokarbon tumbuhan seperti minyak pinus).

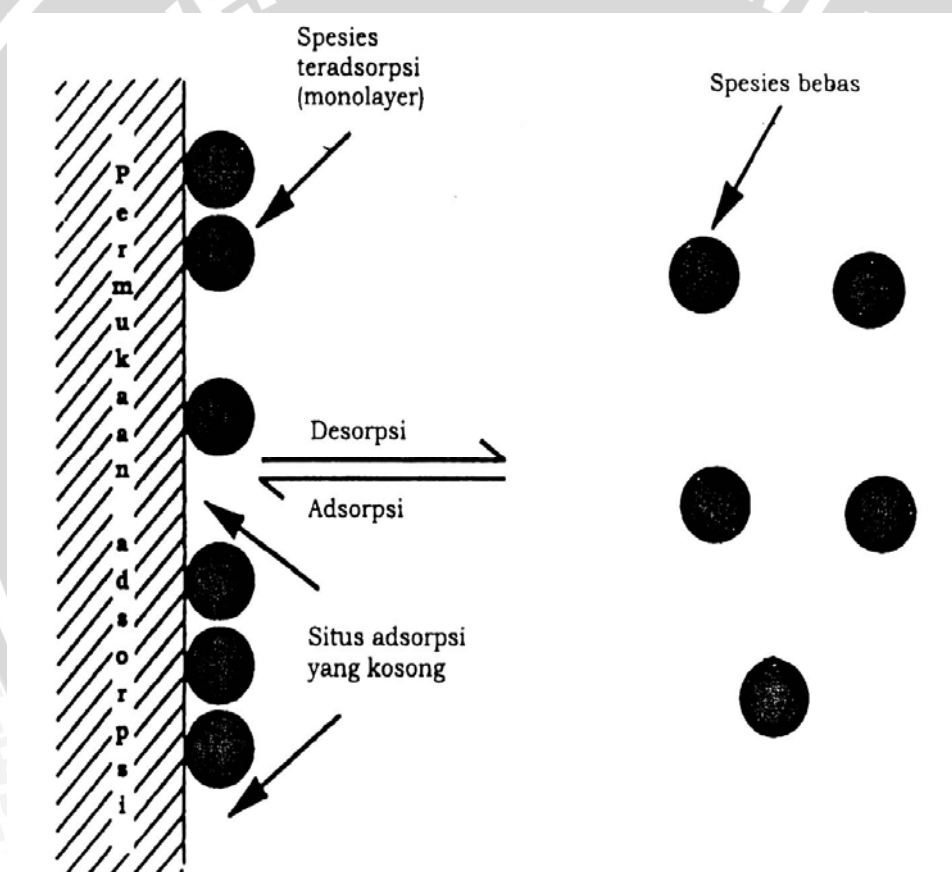
Karbon aktif atau arang aktif adalah arang yang diolah lebih lanjut pada suhu tinggi sehingga pori-porinya terbuka dan dapat digunakan sebagai bahan adsorben. Proses yang digunakan sebagian besar menggunakan cara kimia dimana bahan baku direndam dalam larutan, CaCl_2 , MgCl_2 , ZnCl_2 selanjutnya dipanaskan dengan jalan dibakar pada suhu 500°C . Sesuai dengan perkembangan teknologi dan persyaratan standar yang makin ketat serta isu lingkungan, teknologi ini sudah tidak memungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut terutama untuk pemakaian bahan pengaktif ZnCl_2 yang dapat mengeluarkan gas khlor pada saat aktivasi.

Menyikapi kasus tersebut diatas, telah dilakukan perbaikan teknologi pembuatan arang aktif dengan cara oksidasi gas pada suhu tinggi dan kombinasi antara cara kimia dengan menggunakan H_3PO_4 sebagai bahan pengaktif dan oksidasi gas. Hasil penelitian Pari (1996) menyimpulkan bahwa arang aktif dari serbuk gergajian sengon yang dibuat secara kimia dapat digunakan untuk menarik logam Zn, Fe, Mn, Cl, PO_4 dan SO_4 yang terdapat dalam air sumur yang terkontaminasi dan juga dapat digunakan untuk menjernihkan air limbah industri pulp kertas (Pari, 1996). Arang aktif yang diaktivasi dengan bahan pengaktif NH_4HCO_3 menghasilkan arang aktif yang memenuhi Standar Jepang dengan daya serap yodium lebih dari 1050 mg/g dan rendaman arang aktifnya sebesar 38,5% (Pari, 1996). Harga jual arang aktif bervariasi antara Rp.6.500,00 – Rp.15.000,00/kg tergantung pada kualitas yang diinginkan. Untuk arang aktif buatan Jerman harganya mencapai Rp.65.000,00/0,5 kg.

2.5 Teori Adsorpsi Isotermis

Menurut Yaron *et al* (1996), **adsorpsi** didefinisikan sebagai terjadinya konsentrasi suatu zat (pencemar, polutan) yang berlebih pada permukaan partikel atau koloid tanah, dibandingkan dengan konsentrasi polutan tersebut dalam fasa cair atau gasnya. Lokasi tempat konsentrasi berlebih tersebut, tepatnya pada bidang kontak (*interface*) partikel atau koloid. Sedangkan Watts (1998) menyebutkan bahwa adsorpsi adalah pemisahan suatu senyawa dari larutannya yang kemudian terdeposisi pada

permukaan padatan, pada bidang kontak antara padatan dengan larutan, sedangkan desorpsi merupakan kebalikan dari adsorpsi, yaitu pelepasan senyawa dari padatan dimana senyawa terdeposisi atau menempel ke dalam larutannya. Stumm dan Morgan (1996) mendefinisikan adsorpsi sebagai akumulasi zat pada permukaan padatan, yaitu pada bidang kontak antara padatan-air. Proses **desorpsi**, merupakan kebalikan dari proses sorpsi. Proses sorpsi dan desorpsi terjadi secara bersamaan. Bila laju sorpsi sama dengan desorpsi, maka kondisi tersebut dianggap sebagai kondisi tercapainya **keseimbangan** (equilibrium). Gambar berikut memperlihatkan secara skematis proses adsorpsi-desorpsi yang dikembangkan sebagai dasar untuk menurunkan persamaan isoterm oleh Langmuir (Weber dan DiGiano, 1996).



Gambar 2.2. Skematis adsorpsi-desorpsi. Sumber : Weber dan DiGiano (1996)

Proses adsorpsi dianggap sebagai proses fisikokimia, dimana molekul atau ion-ion sorbat “diikat” oleh permukaan partikel yang reaktif seperti gugus hidroksil ataupun hydrogen dari sorbent (*sorbent motivated adsorption*). Ion atau molekul zat pencemar

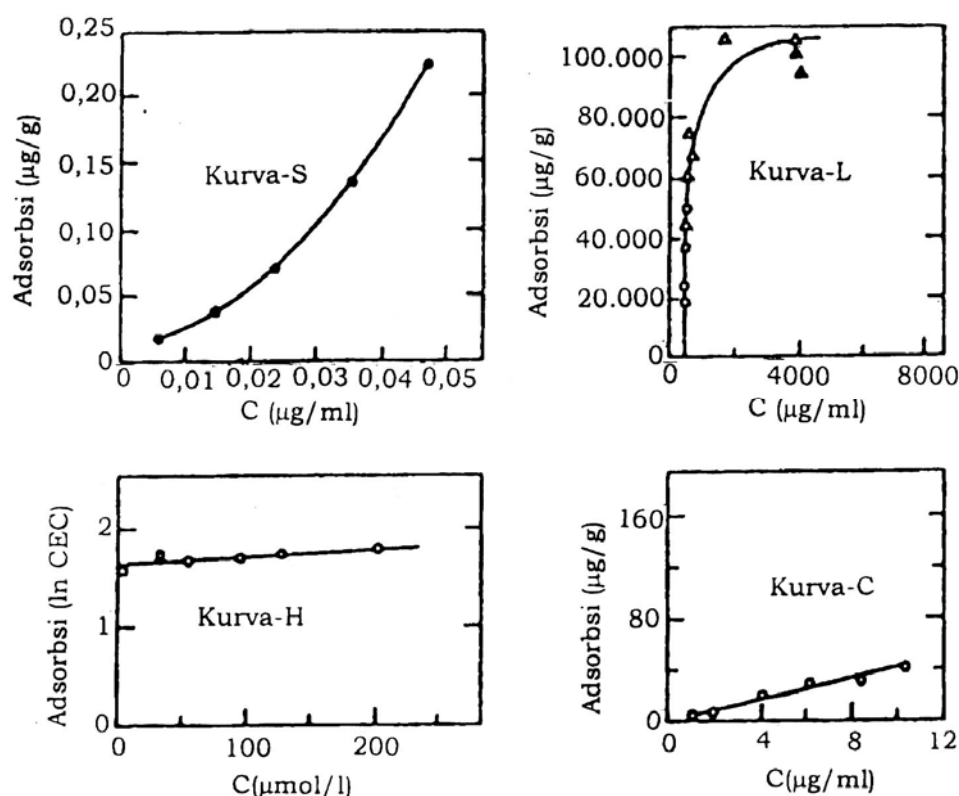
akan “diikat” pada permukaan partikel tanah, oleh gugus hidroksil atau gugus radikal lainnya, baik pada permukaan kristal mineral atau oleh zat organik, ataupun melalui *substitusi isomorfik* ke dalam struktur kristal ataupun ruang antarlapis kristal. Molekul atau ion juga dapat menempel atau terikat pada permukaan padatan seperti partikel lempung akibat gaya fisik, seperti gaya tarik Van der Waals, ataupun gaya elektrostatis. Fraksi *organik* juga berperan dalam sorpsi senyawa hidrofobik dalam larutan non-polar. Selain itu ada kemungkinan ion, terutama kation akan membentuk senyawa kompleks dengan *zat organik tanah*, *oksida logam*, dan *hidroksida logam* seperti misalnya oksida besi dan aluminium.

Proses **sorpsi** pada dasarnya merupakan suatu fenomena yang kompleks, di mana beberapa kemungkinan reaksi seperti tersebut di atas dapat terjadi. Karena sulit untuk membedakan fenomena yang terjadi antara proses adsorpsi, absorpsi, dan presipitasi yang mungkin terjadi dalam kontak antara tanah dengan kontaminan atau *solute*, maka proses-proses tersebut digabung dan disebut sebagai proses sorpsi.

Fenomena sorpsi dideteksi melalui berapa jumlah zat yang terserap oleh suatu massa tanah dengan menganalisa penurunan konsentrasi fasa larutan setelah periode kontak tertentu, dalam skala laboratorium. Data tersebut umumnya dilakukan dalam kondisi lingkungan yang terkontrol, seperti misalnya temperatur yang sama. Bila data sorpsi pada sorbat diplot terhadap konsentrasi keseimbangan pada kondisi lingkungan yang sama, maka plot itu disebut isoterm. Bentuk yang paling sederhana dari isoterm sorpsi adalah bentuk linier. Selain itu, beberapa tipikal bentuk isoterm telah diusulkan oleh Giles (1960). Menurut Giles, selain bentuk linier, isoterm diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bentuk kurva S,
2. Bentuk kurva L,
3. Bentuk kurva H, dan
4. Bentuk kurva C

Gambar dibawah menunjukkan bentuk kurva dari masing-masing kelas atau bentuk kurva seperti yang disarankan oleh Giles (Yaron *et al*,1996). Bentuk kurva mengindikasikan afinitas dari zat atau substansi terhadap sorbent. Semakin curam kemiringan isoterm, afinitas senyawa tersebut semakin tinggi.



Gambar 2.3. Ragam bentuk kurva isoterm sorpsi. Sumber : Giles (1960)

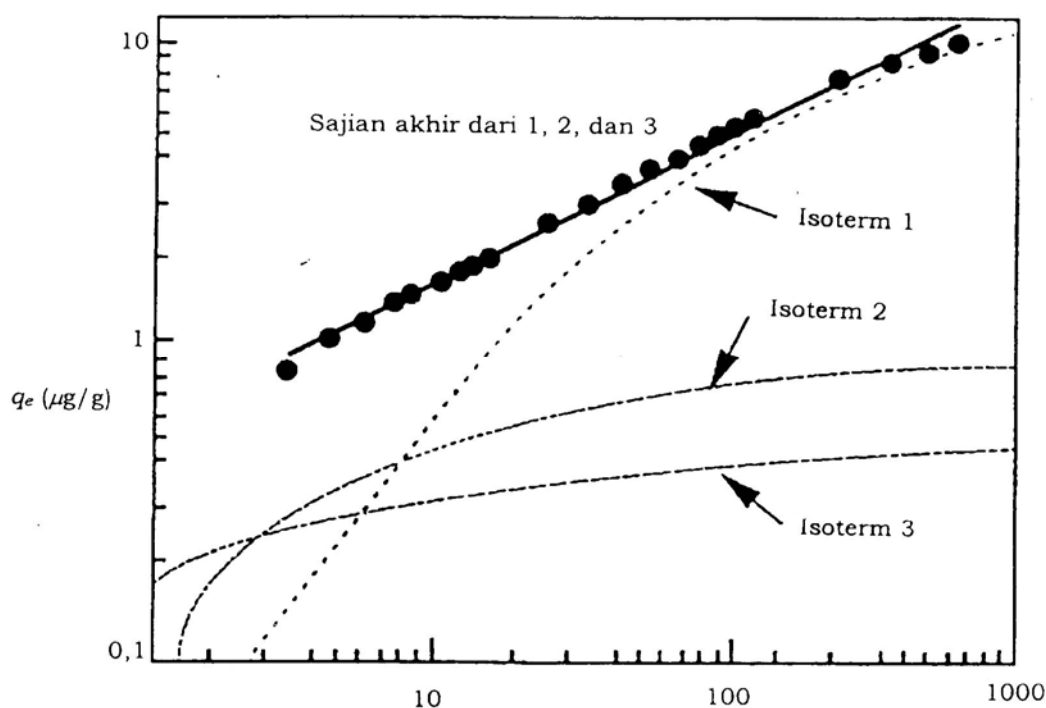
Sebetulnya keseimbangan yang dimaksud, yaitu laju sorpsi sama dengan laju desorpsi pada beberapa larutan hampir tidak pernah tercapai, karena proses yang terjadi adalah proses kinetik. Proses sorpsi ini pada awalnya berjalan dengan cepat, kemudian perlahan-lahan akan menurun, yang disebut sebagai kondisi keseimbangan. Bila proses keseimbangan itu dianggap terjadi dalam tempo relatif singkat, maka proses sorpsi tersebut dianggap seketika (*instantaneous*). Pada beberapa zat, bila waktu kontak atau waktu ekuilibrasi telah 18 atau 24 jam, maka kondisi keseimbangan telah tercapai atau dianggap tercapai.

Fenomena sorpsi ini digambarkan melalui suatu hubungan antara jumlah zat terlarut yang diserap (sorbit) per satuan berat atau massa tanah (sorbent) dengan konsentrasi keseimbangan, yaitu konsentrasi larutan setelah waktu ekuilibrasi selama 18 atau 24 jam. Dengan menjaga agar tidak terjadi perubahan temperatur pada waktu proses, hubungan tersebut diatas disebut sebagai **isoterm sorpsi**. Telah banyak isoterm sorpsi yang dikembangkan untuk menggambarkan atau mendeskripsikan interaksi antara tanah dengan zat terlarut.

Pada awalnya, isoterm dikembangkan untuk proses adsorptif permukaan, tetapi dalam praktiknya, rumusan dalam adsorpsi tersebut dapat digunakan untuk mendeskripsikan data pada fenomena sorpsi. Pada data dengan rentang waktu pengamatan yang pendek, hal ini diperkirakan tidak begitu berbeda. Beberapa isoterm yang sering digunakan diantaranya adalah yang diusulkan oleh Freundlich dan Langmuir.

2.5.1 Teori Adsorpsi Freundlich

Freundlich (1926) mengajukan suatu isoterm yang dikembangkan secara empiris, walaupun kemudian penjelasan ilmiah dari formula empiris matematikanya dapat disajikan oleh Henry (Weber dan DiGiano, 1996). Ada dua pendekatan untuk menjelaskan mekanisme isoterm Freundlich, yaitu yang didekati berdasarkan persamaan Gibbs untuk kondisi larutan encer, atau dengan menganggap isoterm Freundlich tersusun dari beberapa isoterm Langmuir untuk permukaan yang heterogen. karena bentuknya yang sederhana, formula Freundlich banyak digunakan untuk menganalisa fenomena transport zat pencemar dalam tanah.



Gambar 2.4. Isoterm Freundlich yang tersusun oleh beberapa isoterm Langmuir.

Sumber : Weber Et al. (1992)

Persamaan matematis dari isoterm Freundlich adalah sebagai berikut :

$$S = K_f C_e^n \quad (2-2)$$

di mana S = jumlah zat yang tersorpsi per satuan massa atau berat tanah (mg / g atau mol / g)

K_f = suatu konstanta, yang bila $n = 1$ sering disebut sebagai koefisien distribusi, dan ekuivalen dengan K_d

C_e = konsentrasi keseimbangan sorbat dalam larutan (mg/L, atau mol/L)

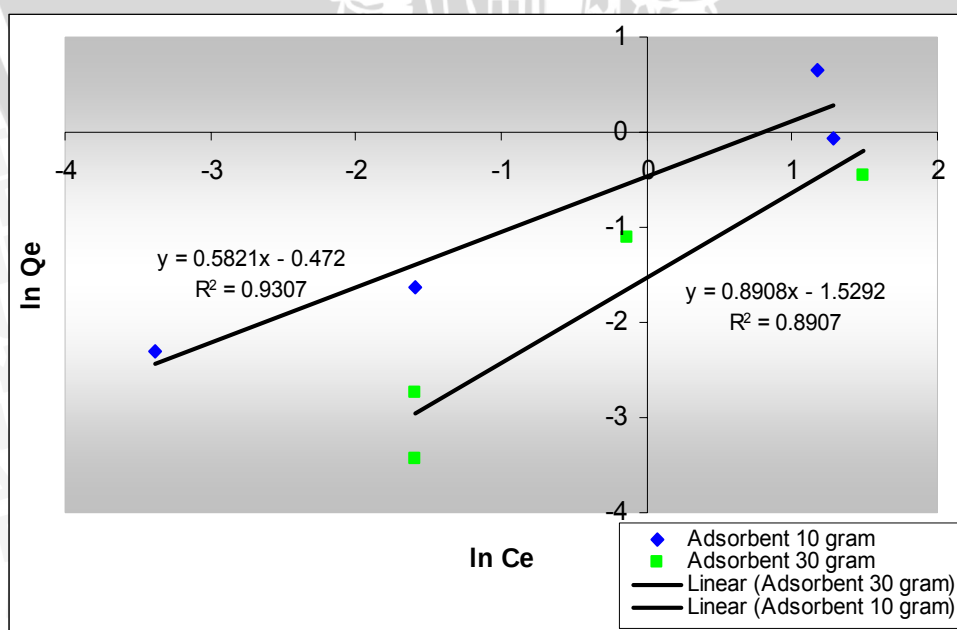
n = satuan konstanta yang umumnya mempunyai harga lebih kecil dari 1.

Satuan dari K_f adalah $(L/g)^{1/n}$ atau $(L/mol)^{1/n}$.

Bentuk linier dari persamaan Freundlich yang memudahkan untuk mencari nilai parameter-parameter dalam persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\log S = \log K_f + n \log C \quad (2-3)$$

Dalam masalah pencemaran tanah dan air tanah sering dijumpai kisaran konsentrasi zat pencemar yang bervariasi dari konsentrasi sangat rendah, sampai dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Walaupun demikian penggunaan isoterm Freundlich untuk mendeskripsikan data cukup efektif, terutama untuk permukaan yang heterogen, seperti permukaan butiran tanah alami. Banyak hasil penelitian yang cocok dengan isoterm Freundlich . Kecocokan tersebut bukan berarti model isoterm Freundlich merupakan model yang paling benar, karena sejauh ini belum ada model isoterm yang berlaku umum.



Gambar 2.5 Contoh grafik isoterm Freundlich.

2.5.2 Teori Adsorpsi Langmuir

Langmuir (1916 – 1918) mengusulkan suatu isoterm yang dikembangkan berdasarkan adsorpsi yang terjadi pada gas yang teradsorpsi oleh permukaan padat. Pada gambar menunjukkan konseptual dari mekanisme adsorpsi yang dijadikan sebagai dasar dalam pengembangan isoterm Langmuir. Model isoterm tersebut dikembangkan berdasarkan serapan atau adsorpsi oleh “lapisan pertama” (monolayer) gas oleh fasa padat, kemudian diperluas untuk digunakan pada adsorpsi zat terlarut oleh sorbent padat.

Adapun persamaan matematik dari isoterm Langmuir merupakan transformasi dengan mengubah fraksi permukaan *site* yang bereaksi, yang pada dasarnya merupakan konsentrasi pada permukaan padatan, menjadi massa atau berat sorbat yang teradsorpsi per satuan massa atau berat padatan ($S = \Gamma$). Selain itu, parameter yang menunjukkan konsentrasi permukaan maksimum juga ditulis sebagai $q_m = \Gamma_{\text{maks}}$. Persamaan Langmuir untuk adsorpsi sorbat dalam bentuk larutan adalah sebagai berikut :

$$S = q_m K_{\text{ads}} C_e / (1 + K_{\text{ads}} C_e) \quad (2-4)$$

atau dalam bentuk liniernya sebagai berikut :

$$1/S = 1/q_m + 1/(K_{\text{ads}} q_m) (1/C_e) = 1/q_m [1 + (1/K_{\text{ads}}) (1/C_e)] \quad (2-5)$$

$$C_e/S = [1/q_m K_{\text{ads}}] + C_e/q_m \quad (2-6)$$

$$S = q_m - S / (K_{\text{ads}} C_e) \quad (2-7)$$

dimana S = jumlah (massa) zat teradsorpsi per satuan berat (massa) sorbent, (mol/g, atau mg/g sorbent),

K_{ads} = tetapan atau konstanta yang berhubungan dengan energi ikatan (*binding energy*), mol^{-1}L , atau mg^{-1}L ,

q_m = tetapan yang menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum atau jenuh di mana semua *sorption sites* telah “penuh” (mol/g sorbent, atau mg/g sorbent),

C_e = konsentrasi larutan setelah ekuilibrium (mol/L, atau mg/L).

Untuk konsentrasi ekuilibrium yang sangat tinggi, angka 1 dalam persamaan diatas dapat diabaikan, sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$S = q_m \quad (2-8)$$

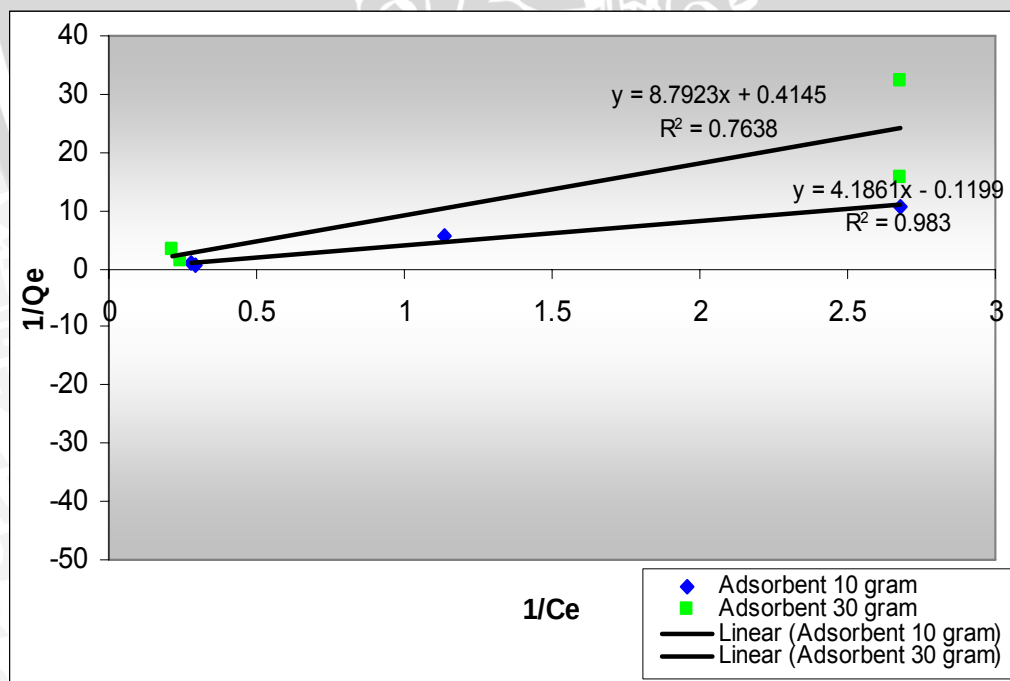
Persamaan diatas menjadikan harga S mempunyai batas maksimum (jenuh) sebesar q_m . Ini berarti secara teoritis ada kapasitas maksimum dari sorpsi. Adanya batas maksimum ini sejalan dengan konsep permukaan sorpsi monolayer yang terbatas kemampuannya, yaitu setelah semua permukaan sorpsi jenuh. K_{ads} merupakan konstanta yang mempunyai hubungan dengan energi atau entalpi adsorpsi. Hubungan antara K_{ads} dengan energi entalpi adsorpsi adalah sebagai berikut :

$$K_{ads} = \beta_{ah} \exp(-dH_a / RT) \text{ atau dalam bentuk liniernya} \quad (2-9)$$

$$\ln(K_{ads}) = \ln\beta_{ah} - dH_a / (RT) \quad (2-10)$$

dalam persamaan diatas, β_{ah} merupakan parameter entalpi adsorpsi yang nilainya spesifik untuk setiap proses adsorpsi. Nilai K_{ads} dapat dicari dengan melakukan eksperimen adsorpsi. Nilai K_{ads} diperoleh pada posisi dimana 50% dari kapasitas adsorpsi (*adsorption site*) telah dipenuhi. Dengan menggunakan persamaan, maka diperoleh :

$$K_{ads} = 1/C_e \text{ pada } S = 0,5q_m. \quad (2-11)$$



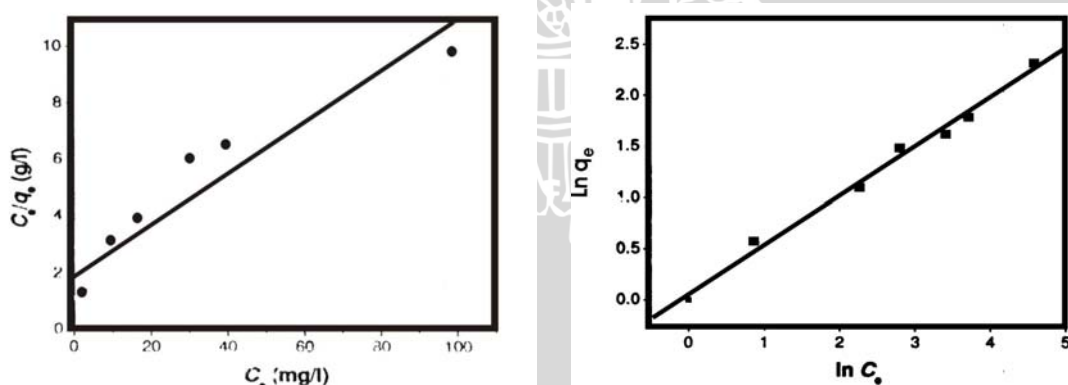
Gambar 2.6 Contoh grafik isoterm Langmuir.

2.5.3 Batch Adsorption Test

Batch Adsorption Test adalah suatu metode penelitian yang digunakan pada percobaan untuk menentukan tingkat efektifitas adsorpsi dari suatu adsorben dengan menggunakan teori adsorpsi isotermis yang telah ditentukan.

Metode yang dikembangkan oleh Ho (1995) yang digunakan pada batch adsorption test untuk menentukan kapasitas adsorpsi logam berat. Prosedur yang digunakan untuk tes ini adalah sebagai berikut:

1. 1 gram adsorben digunakan pada 250 ml larutan logam berat. Konsentrasi dari adsorben ini adalah 4 gram/liter.
2. Labu ukur ditutup rapat dan diguncangkan dengan alat dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam
3. Temperatur dari sampel ditetapkan sebesar 20°C dan pH dikontrol pada harga berkisar 7.
4. Dengan cara yang sama, dapat dibuat beberapa macam konsentrasi dari logam berat yang diujikan.
5. Sampel kemudian disaring melalui kertas penyaring Whatman 540 mm dan hasil saringan diukur konsentrasinya.
6. Q_e kemudian ditentukan serta grafik C_e vs C_e/Q_e dan $\ln C_e$ vs $\ln Q_e$ digambar.



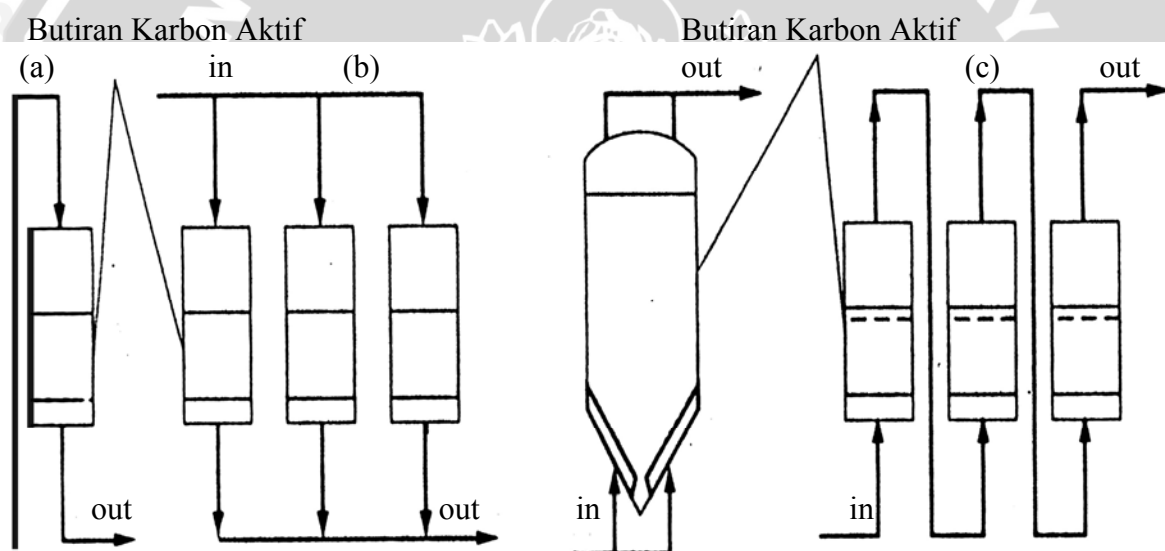
Gambar 2.7 Grafik C_e vs C_e/Q_e dan grafik $\ln C_e$ vs $\ln Q_e$.

Sumber : S. Gupta and B.V. Babu

Untuk memastikan isoterm adsorpsi dan menghitung kapasitas adsorpsi dari adsorben, logam berat yang berbeda diuji tiga kali untuk tiap jenisnya. Kemudian hasil yang diambil adalah rata-rata dari hasil tiga kali tes tersebut.

2.6 Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan menggunakan Adsorben

Instalasi pengolahan air limbah yang menggunakan adsorben pada dasarnya adalah melewati cairan yaitu limbah/polutan yang ingin diturunkan kadar logam beratnya melewati suatu adsorben yang sudah ditentukan dalam suatu *contactar*. Adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif berjenis butiran (*Granular Activated Carbon*), bukan yang berupa bubuk (*Powder Activated Carbon*). Beberapa jenis dari kontaktor yang biasa digunakan diantaranya adalah tipe gravitasi atau tekanan, dan juga terdapat tipe yang mempunyai dua atau tiga kolom pengolahan yang disusun secara paralel maupun seri untuk tempat lewatnya limbah yang akan diturunkan kadarnya (Gambar 2.8).



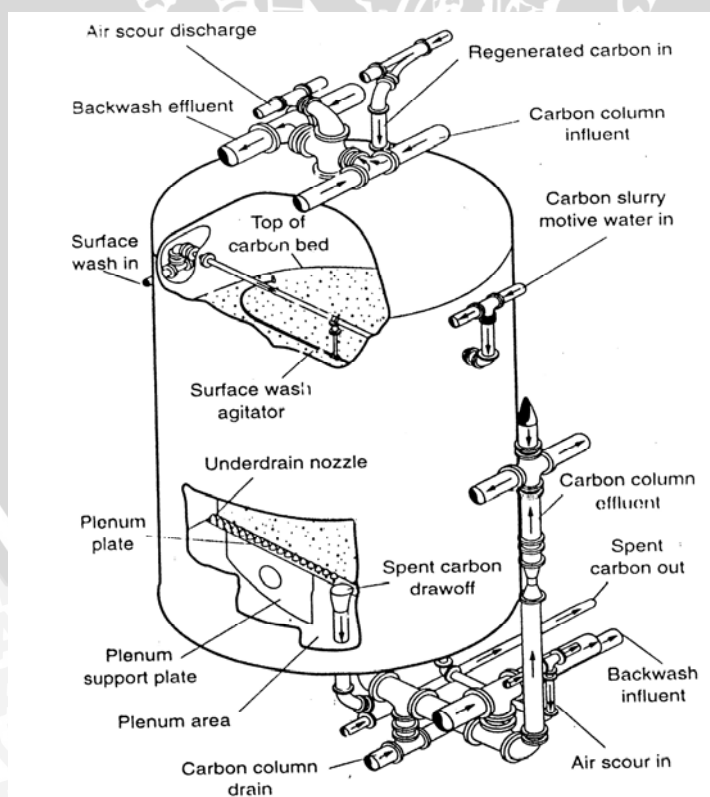
Gambar 2.8. Kontaktor karbon yang disusun secara (a) tunggal, (b) seri, dan (c) paralel
Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979

2.6.1. Kontaktor dengan Dasar Tetap (*Fixed-Bed*)

Kolom dengan dasar tetap digunakan pada umumnya untuk melakukan kontak air limbah dengan karbon aktif tipe butiran. Kolom dengan dasar tetap dapat dioperasikan secara tersendiri, secara seri atau secara paralel. Pada gambar 2.9 ditunjukkan sebuah kontaktor karbon aktif tipe butiran. Adsorben dengan butiran ukuran sedang sering digunakan pada hulu dari kontaktor karbon aktif untuk memisahkan bahan-bahan organik yang tercampur dengan endapan padat yang terdapat pada aliran keluar sekunder. Air yang akan diolah diletakkan pada bagian atas dari

kolom dan keluar dari dasar kolom. Karbon aktif ditahan di dalam kolom pada dasar kolom dengan suatu sistem buangan bawah. Batasan untuk penggelontoran dan pencucian permukaan sering dilakukan pada instalasi pengolahan limbah cair untuk mengurangi kehilangan tinggi tekan (*headloss*) yang terjadi karena perpindahan dari endapan padat yang terdapat pada kolom karbon aktif tersebut.

Keuntungan dari desain kontaktor yang bertipe gravitasi adalah adsorpsi dari bahan organik dan filtrasi dari endapan padat dilakukan dalam satu tahap saja. Meskipun kontaktor dasar tetap dengan tipe aliran naik telah digunakan, kontaktor tipe gravitasi (aliran ke bawah) secara umum lebih banyak digunakan untuk mengurangi kemungkinan dari akumulasi partikel material pada bagian bawah kontaktor, yang bila itu terjadi maka susah untuk dibersihkan dengan cara penggelontoran. Bila penurunan dari kadar cairan organik tidak dipertahankan pada tingkat tinggi, maka regenerasi dari karbon aktif yang lebih sering mungkin akan diperlukan. Kurangnya konsistensi dari pH, temperatur, dan kecepatan aliran juga dapat mempengaruhi efektivitas dari kontaktor karbon aktif.



Gambar 2.9. Kontaktor karbon aktif

Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979

2.6.2. Kontaktor dengan Dasar Tidak Tetap (*Expanded-Bed*)

Kontaktor dengan dasar tidak tetap telah dikembangkan oleh para peneliti untuk mengatasi masalah dari kehilangan tinggi tekan (*headloss*). Aliran masuk dilewatkan pada dasar dari kolom dan karbon aktif mengembang sebesar perkembangan dari filter dasar selama penggelontoran. Ketika kapasitas adsorpsi dari karbon aktif pada dasar kolom telah habis, karbon aktif pada bagian dasar dipindahkan dari kontaktor, dan karbon aktif baru yang sama jumlahnya diletakkan pada bagian atas dari kolom. Pada sistem ini kehilangan tinggi tekan tidak terjadi ketika titik puncak operasi telah dicapai. Pada umumnya kontaktor aliran naik dengan dasar tidak tetap dapat dikotori oleh karbon pada akhir aliran daripada kontaktor gravitasi karena pengembangan dari dasar kolom menimbulkan serbuk dari karbon ketika partikel dari karbon saling berbenturan, sehingga serbuk itu dapat lolos melewati jalan keluar dari kontaktor tersebut.

2.6.3. Analisis dan Desain Kontaktor Karbon Aktif tipe Butiran (GAC)

Dimensi dari kontaktor karbon aktif ditentukan oleh empat faktor yaitu waktu kontak, hidrolika aliran, ketebalan karbon aktif, dan jumlah dari kontaktor. Dua kontaktor karbon aktif yang disusun secara paralel adalah persyaratan minimum yang direkomendasikan untuk desain instalasi pengolahan air limbah.

Tabel 2.4. Nilai desain kontaktor

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Volume kecepatan aliran	V	m ³ /h	50 – 400
Volume dasar	V _b	m ³	10 – 50
Luas penampang melintang dasar	A _b	m ²	5 – 30
Panjang	D	m	1.8 – 4
Angka pori	α	m ³ /m ³	0.38 – 0.42
Massa jenis karbon aktif	ρ	kg/m ³	350 – 550
Kecepatan kontak	V _f	m/h	5 – 15
Waktu kontak efektif	t	min	2 – 10
Waktu kontak dasar kosong (EBCT)	EBCT	min	5 – 30
Waktu operasi	t	d	100 – 600
Volume keluaran	V _L	m ³	10 – 100
Besar keluaran spesifik	V _{sp}	m ³ /kg	50 – 200

Volume dasar	BV	m ³ /m ³	2000 - 20000
--------------	----	--------------------------------	--------------

Sumber : Sontheimer et al. (1998)

Empty-bed Contact Time (EBCT) disini adalah waktu yang diperlukan oleh larutan polutan untuk melewati kontaktor dari proses masuk ke dalam kontaktor melewati adsorben yang telah disiapkan dalam kontaktor dan keluar dari dalam kontaktor berupa larutan polutan yang telah berkurang kadarnya karena proses adsorpsi oleh adsorben sampai kontaktor kosong kembali.

Dibawah ini adalah persamaan yang dapat menjelaskan tentang adsorpsi yang terjadi secara umum dalam sebuah kontaktor dalam proses adsorpsi larutan polutan tertentu, yang berasal dari persamaan umum bahwa :

Inflow = outflow + jumlah polutan yang terserap oleh adsorben, sehingga :

Akumulasi = inflow – outflow – jumlah yang terserap

$$0 = QC_o t - QC_e t - m_{GAC} q_e \quad (2-12)$$

Dimana :

Q = volume kecepatan aliran, L/jam

C_o = konsentrasi awal dari polutan, mg/L

t = waktu, jam

C_e = konsentrasi akhir dari polutan, mg/L

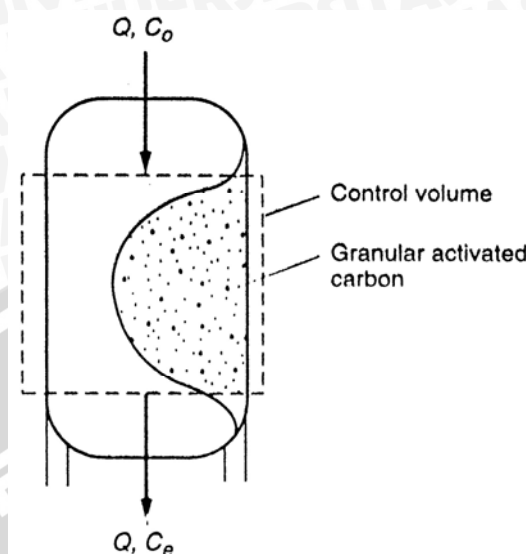
m_{GAC} = massa dari adsorben, g

q_e = konsentrasi adsorben setelah kondisi ekulibrium, mg/g

Tabel 2.5. Spesifikasi umum dari karbon aktif tipe butiran

Parameter	Satuan	Nilai
Luas permukaan total	m ² /g	700 - 1300 ^a
Massa jenis awal	kg/m ³	400 - 440 ^a
Massa jenis partikel, dalam larutan	kg/L	1.3 – 1.5 ^a
Ukuran efektif	mm	0.8 – 0.9 ^a
Koefisien bentuk	UC	≤ 1.9
Diameter partikel rata-rata	mm	1.5 – 1.7
Jumlah iodin		850 min
Jumlah abrasi		70 min
Debu	%	8 max
Kelembaban	%	1 – 6 max

^aTergantung dari bahan dasar pembuat karbon aktif. Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979



Gambar 2.10. Sketsa analisis adsorpsi karbon aktif
Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979

Kadar penggunaan karbon aktif secara umum dapat dirumuskan sebagai:

$$\frac{m_{GAC}}{Q_t} = \frac{C_o - C_e}{q_e} \quad (2-13)$$

Dapat diasumsikan bahwa massa dari polutan yang teradsorpsi yang terdapat dalam pori-pori karbon sangat kecil bila dibandingkan dengan jumlah yang teradsorpsi, maka rumus diatas dapat disederhanakan dan dapat dirumuskan sebagai:

$$\frac{m_{GAC}}{Q_t} \approx \frac{C_o}{q_e} \quad (2-14)$$

Untuk menghitung besarnya kemampuan dari kontaktor karbon aktif tipe butiran, beberapa rumus ini telah dikembangkan dan digunakan secara umum, yaitu:

1. Waktu kontak dengan dasar kosong (*Empty-bed contact time* (EBCT))

$$EBCT = \frac{V_b}{Q} = \frac{A_b D}{v_f A_b} = \frac{D}{v_f} \quad (2-15)$$

Dimana :

EBCT= waktu kontak dengan dasar kosong, jam

V_b = volume dari karbon aktif dalam kontaktor, m^3

Q = Volume kecepatan aliran, m^3/h

A_b = luas penampang dari dasar dengan karbon aktif, m^2

D = panjang dari karbon aktif dalam kontaktor, m

v_f = kecepatan aliran linear, m/jam

2. Massa jenis karbon aktif

$$\rho_{GAC} = \frac{m_{GAC}}{V_b} \quad (2-16)$$

Dimana :

ρ_{GAC} = massa jenis dari karbon aktif tipe butiran, g/L

m_{GAC} = massa dari karbon aktif tipe butiran, g

V_b = volume dari karbon aktif di dasar kontaktor, L

3. Aliran keluar spesifik, yaitu m^3 air yang diolah setiap gram dari karbonnya :

$$\text{Aliran keluar spesifik, } m^3 / g = \frac{Qt}{m_{GAC}} = \frac{V_b t}{EBCT \times m_{GAC}} \quad (2-17)$$

atau dapat juga dituliskan sebagai :

$$\text{Aliran keluar spesifik} = \frac{V_b t}{EBCT(\rho_{GAC} \times V_b)} = \frac{t}{EBCT \rho_{GAC}} \quad (2-18)$$

4. Kadar penggunaan karbon (*Carbon Usage Rate*), yaitu gram karbon per m^3 air:

$$CUR, g / m^3 = \frac{m_{GAC}}{Qt} = \frac{1}{sp} \quad (2-19)$$

5. Volume dari air yang dapat diolah untuk EBCT yang telah ditentukan :

$$\text{Volume air yang diolah, } L = \frac{\text{Massa dari GAC untuk EBCT tertentu}}{\text{Kadar penggunaan GAC}} \quad (2-20)$$

6. Umur dari karbon aktif, dalam hari, d:

Umur dari karbon aktif,

$$d = \frac{\text{Volume dari air yang diolah untuk EBCT tertentu}}{Q} \quad (2-21)$$

Langkah-langkah perancangan instalasi pengolahan limbah sederhana yang menggunakan adsorben karbon aktif dengan sebuah contoh aplikasi sebagai berikut:

Diketahui sebuah *contactor* dengan dasar tetap (*fixed-bed*) mempunyai debit *inflow* (Q) sebesar 1000 L/menit. Polutan logam berat Pb mempunyai konsentrasi awal (C_o) 1 mg/L dan diharapkan mempunyai konsentrasi akhir (C_e) setelah pengolahan sebesar 0,005 mg/L. Massa jenis karbon aktif tipe butiran (*Granular Activated Carbon*)

yang digunakan dalam *contactor* sebesar 450 g/L. Karbon aktif yang digunakan mempunyai faktor kapasitas Freundlich (K_f) 28 (mg/g)(L/mg)^{1/n}, dan parameter intensitas Freundlich (1/n) sebesar 0,62. Sedangkan dari desain *contactor* didapat *Empty Bed Contact Time* (EBCT) sebesar 10 menit.

Dari data-data diatas, dapat ditentukan:

1. Jumlah karbon aktif yang diperlukan dalam *contactor*
2. Umur karbon aktif pada dasar *contactor* (*bed life*)

Penyelesaian :

1. Menentukan laju/kadar penggunaan GAC untuk polutan tersebut.

Laju/kadar penggunaan GAC ditentukan dengan :

$$\begin{aligned}\frac{m_{GAC}}{Q_t} &= \frac{C_o - C_e}{q_e} = \frac{C_o - C_e}{(K_f C_o)^{1/n}} \\ &= \frac{(1,0^{mg/L})}{28(mg/g)(L/mg)^{0,62} (1,0^{mg/L})^{0,62}} \\ &= 0,036 \text{ grGAC/L}\end{aligned}$$

2. Menghitung massa karbon aktif yang digunakan untuk EBCT selama 10 menit.

$$\text{Massa GAC pada dasar} = V_b \rho_{GAC} = EBCT \times Q \times \rho_{GAC}$$

$$\begin{aligned}\text{Karbon aktif yang diperlukan} &= 10 \text{ menit} \cdot (1000 \text{ L/menit}) \cdot (450 \text{ g/L}) \\ &= 4,5 \times 10^6 \text{ gr}\end{aligned}$$

3. Menentukan volume air yang dapat diolah dengan EBCT selama 10 menit.

Volume air yang dapat diolah

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{massa karbon aktif yang diperlukan untuk EBCT tertentu}}{\text{laju penggunaan GAC}} \\ &= \frac{4,5 \times 10^6 \text{ g}}{(0,036 \text{ grGAC/L})} \\ &= 1,26 \times 10^8 \text{ L}\end{aligned}$$

4. Menghitung umur dari karbon aktif (*bed life*)

$$\begin{aligned}\text{Bed life} &= \frac{\text{volume dari air yang dapat diolah untuk EBCT tertentu}}{Q} \\ &= \frac{1,26 \times 10^8 \text{ L}}{(1000 \text{ L/menit})(1440 \text{ menit/hari})}\end{aligned}$$

= 87,5 hari



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Persiapan Bahan Adsorben, Sampel dan Peralatan Pengujian

Persiapan bahan adsorben dilakukan di Laboratorium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Bahan adsorben karbon aktif dibeli di toko kimia. Peralatan yang dipakai pada persiapan bahan adsorben ini adalah ayakan no.10 dan no.20, oven dan alat timbang digital AND tipe GF-200.

Persiapan sampel, peralatan pengujian dan tahapan pengujian penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Adapun persiapan sampel dan peralatan pengujian dijelaskan sebagai berikut :

1. Untuk persiapan sampel
 - Botol penampung larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang akan diteliti
 - Gelas ukur
 - Alat pengaduk Shaker Edmund Buhler SM 25
 - Alat sentrifuge Hettich EBA III Zentrifugen D-7200 Tuttlingen
2. Untuk pengukuran parameter kimia
 - pH meter ORION Model 420A untuk mengukur kadar atau derajat keasaman pH dari sampel polutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
 - Untuk menentukan konsentrasi larutan logam berat dipakai metode AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometry) dengan alat AAS merk SHIMADZU tipe AA-6200.
3. Alat penunjang lain dilaboratorium :
 - Pipet tetes dan pipet ukur
 - Bola hisap
 - Erlenmeyer
 - Labu ukur
 - Tabung reaksi
 - Beker gelas
 - Kertas saring Whatman 110 mm
 - Buret
 - Kuvet

3.2 Parameter yang diukur

Parameter yang diukur dalam pengujian sampel air ini adalah kadar logam berat Pb dalam limbah buatan larutan $Pb(NO_3)_2$. Limbah buatan ini diperoleh dari mencampurkan polutan logam berat $Pb(NO_3)_2$ pada aquades dengan konsentrasi tertentu. Kadar logam berat Pb diuji pada variasi gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no.10 dan no. 20.

3.3 Tahapan penelitian

Prinsip dari penelitian ini adalah pengolahan air limbah dalam hal ini menggunakan limbah buatan yang bertujuan untuk menurunkan kadar logam berat Pb dalam air limbah tersebut. Bahan adsorben menggunakan karbon aktif dari arang tempurung kelapa. Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Studi literatur ini adalah mempelajari dan mengkaji teori kemampuan kapasitas adsorpsi karbon aktif atau arang aktif.

2. Persiapan alat dan bahan.

- Persiapan alat

Semua alat yang diperlukan dalam penelitian ini sudah tersedia di Laboraturium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan di Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya sebagai tempat penelitian.

- Persiapan bahan adsorben

Persiapan bahan adsorben karbon aktif dilakukan di Laboraturium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya, tahapan persiapan yang dilakukan adalah :

- Bahan adsorben yaitu karbon aktif dari tempurung kelapa dicuci dan dibersihkan.
- Karbon aktif kemudian dikeringkan dengan cara dioven selama 24 jam.
- Karbon aktif kemudian diayak dengan ayakan no.10 dan no.20.
- Karbon aktif kemudian ditimbang per 10 gr dan 30 gr masing-masing 4 bungkus.

- Persiapan bahan polutan

Persiapan bahan polutan buatan dilakukan di Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Polutan buatan yang dipakai adalah logam berat Pb. Konsentrasi Pb^{2+} pada larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 500 ppm/1L pada 1500 ml larutan $Pb(NO_3)_2$, adapun perhitungan tiap konsentrasi yang dibutuhkan adalah :

➤ Beker Glass 1

$$5 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$$

$$X = 10 \text{ ml} \quad + 5 \text{ ml} \rightarrow 5 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$$

➤ Beker Glass 2

$$10 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$$

$$X = 20 \text{ ml} \quad + 10 \text{ ml} \rightarrow 10 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$$

➤ Beker Glass 3

$$50 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$$

$$X = 100 \text{ ml} \quad + 50 \text{ ml} \rightarrow 50 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$$

➤ Beker Glass 4

$$100 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$$

$$X = 200 \text{ ml} \quad + 100 \text{ ml} \rightarrow 100 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$$

Setiap konsentrasi tersebut dilarutkan dalam larutan aquades 200 ml.

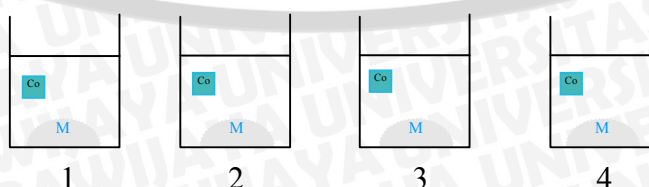
3. Melakukan uji variasi gradasi adsorben karbon aktif.

- Adsorben A yaitu ukuran gradasi kasar : lolos ayakan no. 10 (ϕ 2.000 mm).
- Adsorben B yaitu ukuran gradasi halus : lolos ayakan no. 20 (ϕ 0.850 mm).

Tiap 10 gr dan 30 gr adsorben karbon aktif dengan variasi gradasi di atas dicampurkan pada variasi konsentrasi $Pb(NO_3)_2$ dalam larutan aquades.

4. Melakukan Batch Adsorption Test.

➤ Persiapan Sampel dan Penambahan Bahan Adsorben



Gambar 3.1. Tabung Beker Glass tempat sampel larutan.

Keterangan :

Volume larutan = 200 ml

M₁ (adsorben) = 10 gr

M₂ (adsorben) = 30 gr

Adsorben yang dipakai adalah karbon aktif mesh 10 dan mesh 20.

Konsentrasi Polutan Pb(NO₃)₂ pada :

- Beker Glass 1 : 5 mg/l
 - Beker Glass 2 : 10 mg/l
 - Beker Glass 3 : 50 mg/l
 - Beker Glass 4 : 100 mg/l
- Keempat sampel pada beker glass diaduk dengan alat shaker dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam.
- Sampel kemudian didiamkan selama 24 jam.
- Sampel disaring dengan kertas saring Whatman 110 mm.
- Sampel diputar pada alat sentrifuge agar sampel benar-benar bersih dari bekas adsorben.
- Mengukur pH larutan.
5. Melakukan tes dengan metode AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometry) dengan memakai alat AAS SHIMADZU tipe AA-6200. Penjelasan tentang metode Atomic Adsorption Spectrophotometry adalah sebagai berikut :

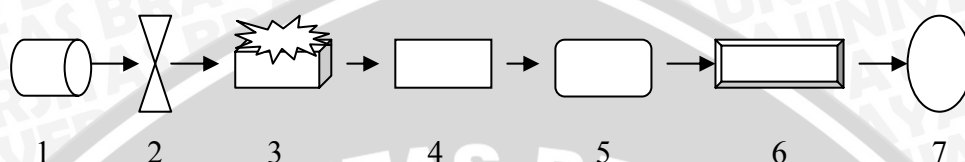
Metode Atomic Adsorption Spectrophotometry

Untuk menentukan unsur-unsur didalam suatu bahan dengan kepekaan, ketelitian dan selektifitas yang tinggi biasanya digunakan suatu metode analisis Atomic Adsorption Spectrophotometry yang didasarkan pada jumlah radiasi yang diserap oleh atom-atom bila sejumlah radiasi dilewatkan melalui sistem yang mengandung atom-atom itu. Jumlah radiasi yang terserap sangat tergantung pada jumlah atom-atom bebas yang terlibat dan pada kemampuan atom-atom itu untuk menyerap radiasi. (Narsito, 1992).

Prinsip dasar dari metode ini adalah interaksi energi radiasi elektromagnetik dengan atom-atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (ground state) dan bila energinya sesuai, maka energi tersebut akan diserap dan atom tersebut akan berinteraksi ke tingkat tenaga tertentu (eksitasi state). Penyerapan ini juga menyebabkan terjadinya pengurangan intensitas radiasi yang diberikan. Pengurangan intensitas yang diberikan sebanding dengan jumlah atom pada

tingkat tenaga dasar yang menyerap energi radiasi tersebut. Dengan mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (transmisi) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap (absorbansi), maka konsentrasi unsur dalam sampel dapat ditentukan.

Alat Atomic Adsorption Spectrophotometry terdiri dari rangkaian dalam diagram skematik berikut :



Gambar 3.2. Seperangkat Alat Atomic Adsorption Spectrophotometry.

(Skoog, 1985)

Keterangan :

1. Sumber sinar
2. Pemilih (chooper)
3. Nyala
4. Monokromator
5. Detektor
6. Amplifier
7. Meter atau Recorder

Komponen-komponen Atomic Adsorption Spectrophotometry :

a) Sumber cahaya.

Sumber cahaya yang digunakan adalah Hollow Cathode Lamp (HCL) atau Lampu katoda cekung, karena mempunyai kelebihan menganalisis unsur yang berbeda.

b) Sumber atomisasi.

Umumnya dibagi menjadi dua yaitu; sistem nyala dan sistem tanpa nyala. Untuk kebanyakan instrumen sumber atomisasi ini adalah sistem nyala dan sampel diintroduksi dalam bentuk larutan. Sampel masuk ke nyala dalam bentuk aerosol. Aerosol biasanya dihasilkan oleh pengkabut (*nebulizer*) yang dihubungkan ke nyala oleh ruang penyemprot (*chamber spray*). Adapun beberapa jenis nyala antara lain; nyala udara asetilen dan nitros ksion asetilen.

c) Monokromator.

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh lampu katoda cekung.

d) Detektor.

Detektor merupakan suatu alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, yang memberikan suatu isyarat listrik berhubungan dengan daya radiasi yang diserap oleh permukaan yang peka.

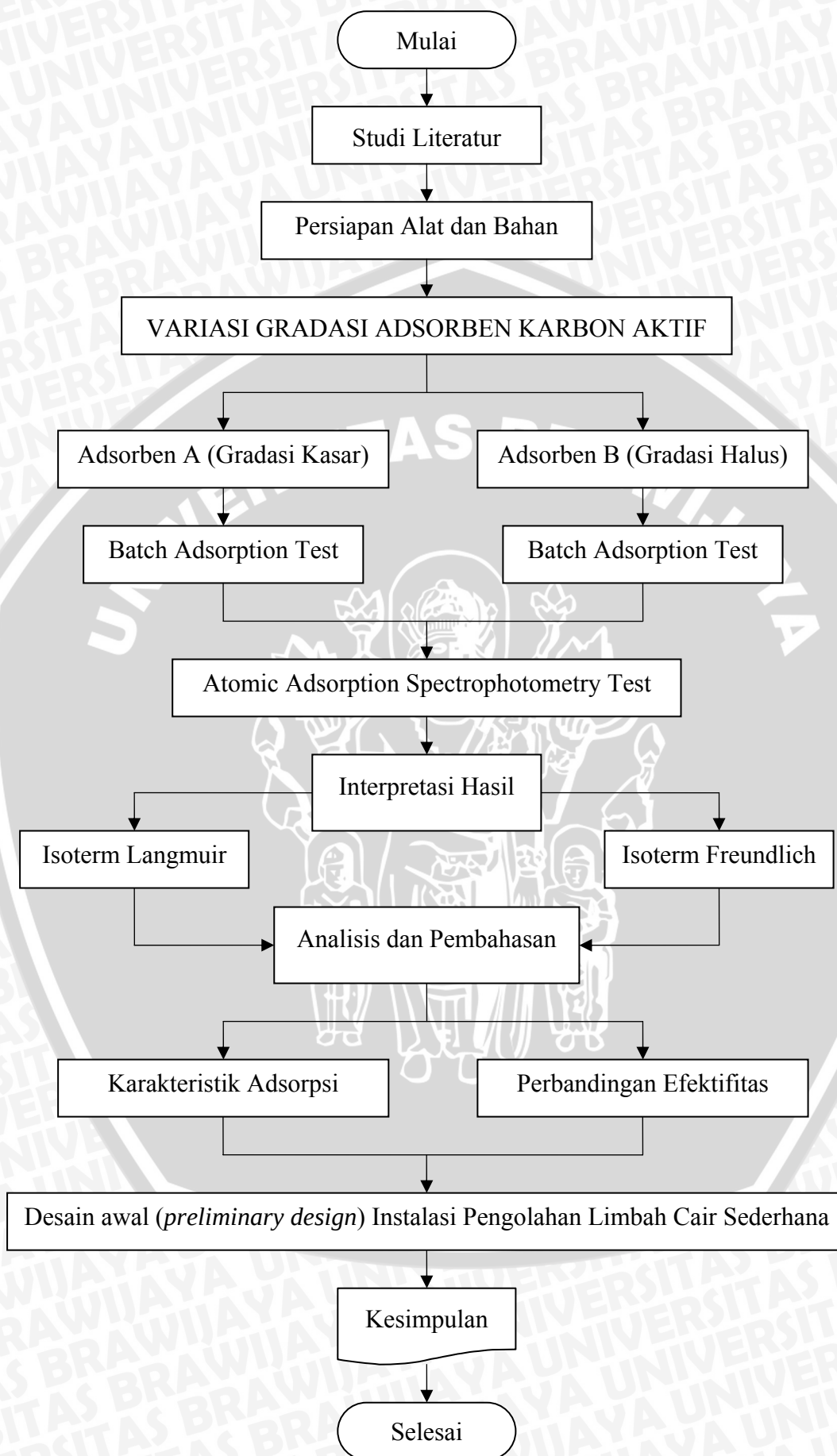
e) Sistem Pengolahan.

Sistem pengolahan berfungsi untuk mengolah kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah menjadi data dalam sistem pembacaan.

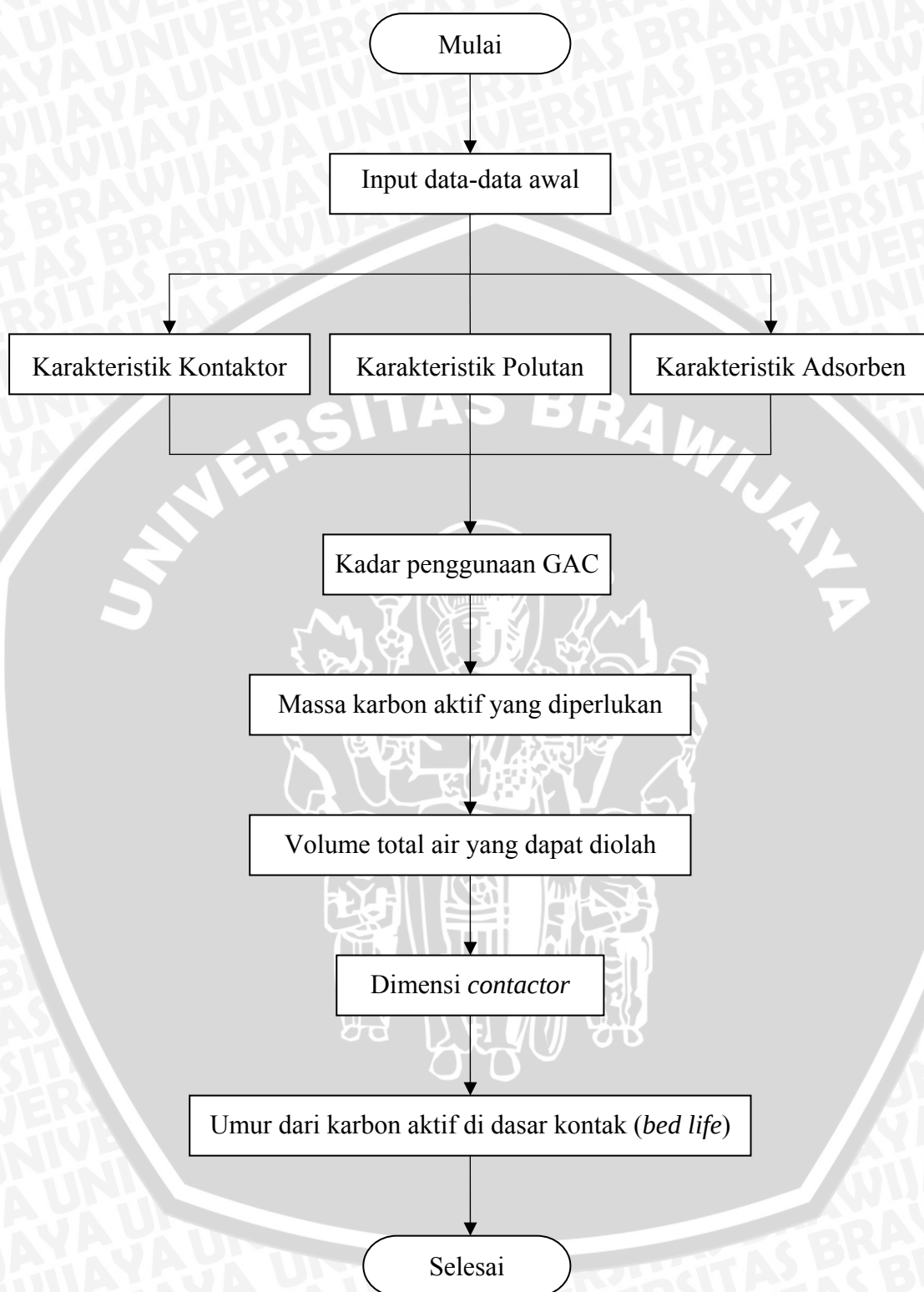
f) Sistem Pembacaan.

Sistem pembacaan merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca oleh mata.

6. Melakukan interpretasi hasil dengan teori Langmuir dan teori Freundlich.
7. Melakukan analisis pada interpretasi hasil penelitian.
8. Merencanakan desain awal (*preliminary design*) Instalasi Pengolahan Limbah Cair Sederhana.
9. Menyimpulkan hasil penelitian.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Desain awal (*preliminary design*) Instalasi Pengolahan Limbah Sederhana

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Awal Sampel Polutan

Sampel polutan Pb digunakan untuk meneliti efektivitas adsorpsi dengan variasi gradasi butiran karbon aktif sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Pb. Menggunakan sampel buatan yaitu empat variasi konsentrasi Pb dalam larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan pada aquades. Penambahan adsorben karbon aktif pada sampel polutan Pb dengan variasi gradasi butiran lolos ayakan no.10 dan lolos ayakan no.20 untuk mengetahui efektivitas adsorpsi karbon aktif sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Pb. Melakukan variasi jumlah adsorben 10 gram dan 30 gram dengan harapan akan mendapatkan pola penurunan polutan Pb yang ada.

Melakukan Batch Adsorption Test pada sampel polutan Pb. Larutan konsentrasi polutan dengan penambahan adsorben diaduk selama 4 jam dan didiamkan selama 24 jam diharapkan terjadi keseimbangan (*equilibrium*) pada suhu kamar skala laboratorium 25°C . Sampel konsentrasi setelah keseimbangan kemudian ditentukan dengan tes Atomic Adsorption Spectrophotometry.

4.1.1 Adsorbansi Larutan Pb

Sistem pembacaan pada tes Atomic Adsorption Spectrophotometry dalam penelitian ini adalah dengan pembacaan adsorbansi dan pembacaan kadar konsentrasi logam berat Pb. Dengan mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (transmisi) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap (absorbansi), maka konsentrasi unsur dalam sampel dapat ditentukan.

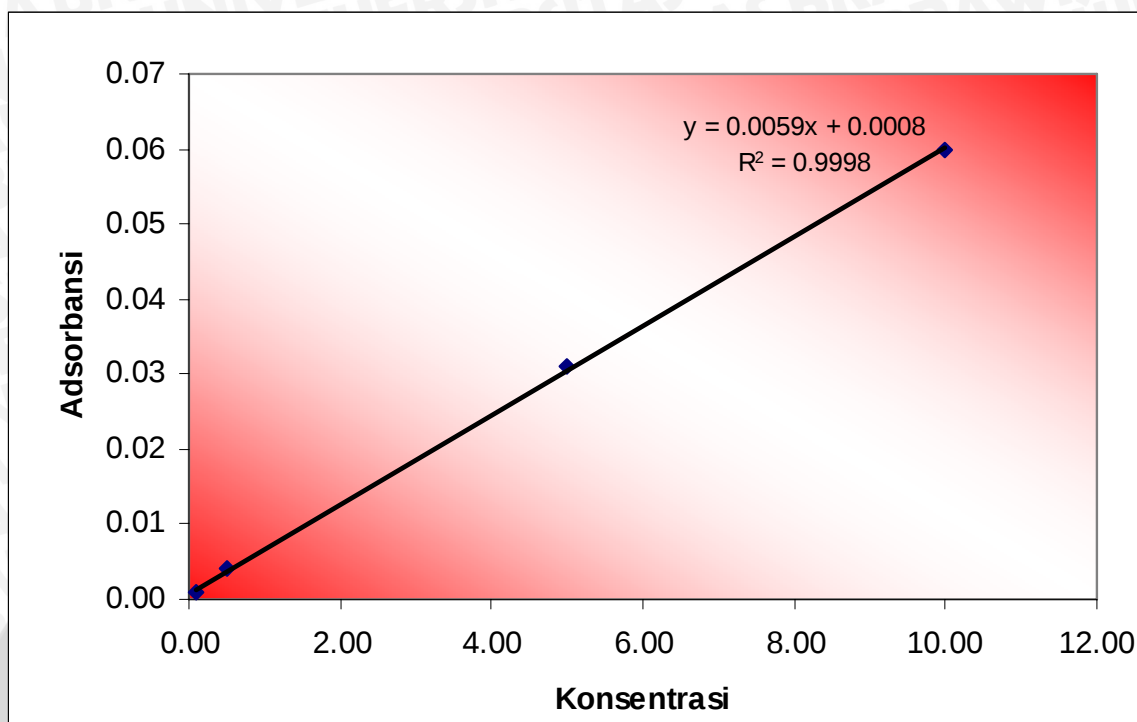
Adsorbansi adalah penentuan konsentrasi larutan dilakukan pada panjang gelombang yang mana larutan menunjukkan adsorpsi selektif yang maksimum atau transmitansi selektif yang minimum sehingga diperoleh kepekaan yang maksimal. Pembacaan konsentrasi Pb^{2+} dan nilai adsorbansi pada tes Atomic Adsorption Spectrophotometry :

Tabel 4.1. Nilai Adsorbansi Pb^{2+}

Konsentrasi (mg/l)	Adsorbansi (A)
0.100	0.001
0.500	0.004
5.000	0.031
10.000	0.060

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.2007

Pembacaan konsentrasi Pb^{2+} dan nilai adsorbansi pada tabel diatas digambarkan pada gambar Kurva Baku Larutan Pb^{2+} dibawah ini :



Gambar 4.1. Kurva Baku Larutan Pb^{2+}

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara besarnya pembacaan konsentrasi Pb^{2+} dengan pembacaan adsorbansi sehingga didapatkan persamaan yang bisa mewakili hubungan dari kedua variabel ini. Penghitungan konsentrasi keseimbangan (C_e) didapat dari data hasil laboratorium yang diperoleh pada awalnya adalah data adsorbansi yang merupakan data bacaan dari AAS (Atomic Adsorption Spectrofotometry), sedangkan untuk menentukan efektivitas dari adsorben yang diuji adalah konsentrasi dari larutan polutan yang telah diberi perlakuan dengan penambahan adsorben karbon aktif.

Dari grafik kurva baku larutan ini juga dapat dilihat bahwa kenaikan dari adsorbansi ditinjau dari kenaikan konsentrasi larutan polutan yang disini adalah larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, naik secara bertahap dan membentuk kurva yang cenderung linear. Kurva baku larutan ini digunakan untuk menghitung konsentrasi akhir dari larutan polutan yang telah diberi perlakuan dengan penambahan adsorben karbon aktif, sehingga pada akhirnya dapat diketahui efektivitas penurunan konsentrasi larutan polutan dengan penambahan adsorben karbon aktif pada variasi gradasi butiran karbon karbon aktif.

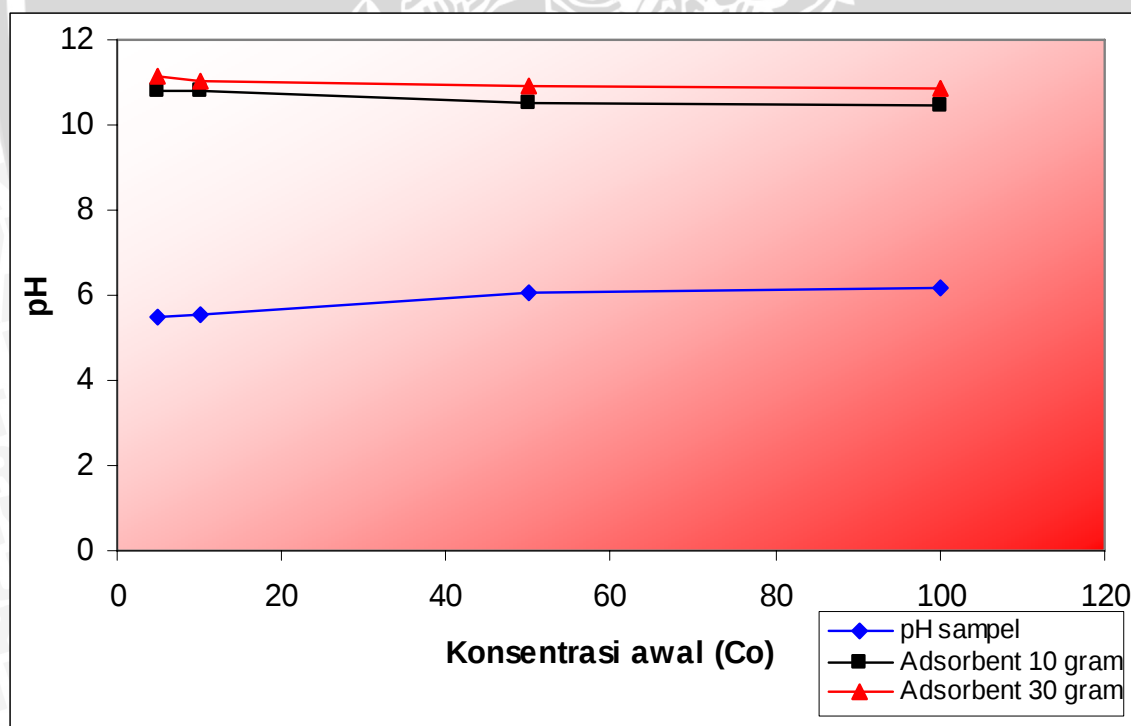
4.1.2 Nilai pH

Pada sampel polutan digunakan variasi konsentrasi logam berat Pb pada larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan atau dicampur pada larutan aquades. Sebelum dilakukan penambahan adsorben karbon aktif, sampel larutan diteliti kadar pHnya dan sampel larutan menunjukkan sifat asam ($\text{pH} < 7$) dengan kisaran pH 5 – 6. Hal ini karena aquades yang bersifat asam dengan nilai pH 4,28 lebih dominan dalam larutan. Setelah penambahan adsorben karbon aktif nilai pH larutan menunjukkan kenaikan pada kondisi basa ($\text{pH} > 7$). Berikut ini penjelasan pengaruh penambahan adsorben karbon aktif terhadap pH larutan :

Tabel 4.2. Nilai pH sebelum dan sesudah penambahan adsorben terhadap pH (gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no.10)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce 10 gram (mg/l)	0.37288	0.88136	3.59322	3.42373
Konsentrasi keseimbangan Ce 30 gram (mg/l)	0.37288	0.37288	4.61017	4.10169
pH sampel	5.490	5.570	6.070	6.160
pH sampel + karbon aktif 10 gram	10.800	10.780	10.540	10.450
pH sampel + karbon aktif 30 gram	11.160	11.020	10.940	10.870

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.2007



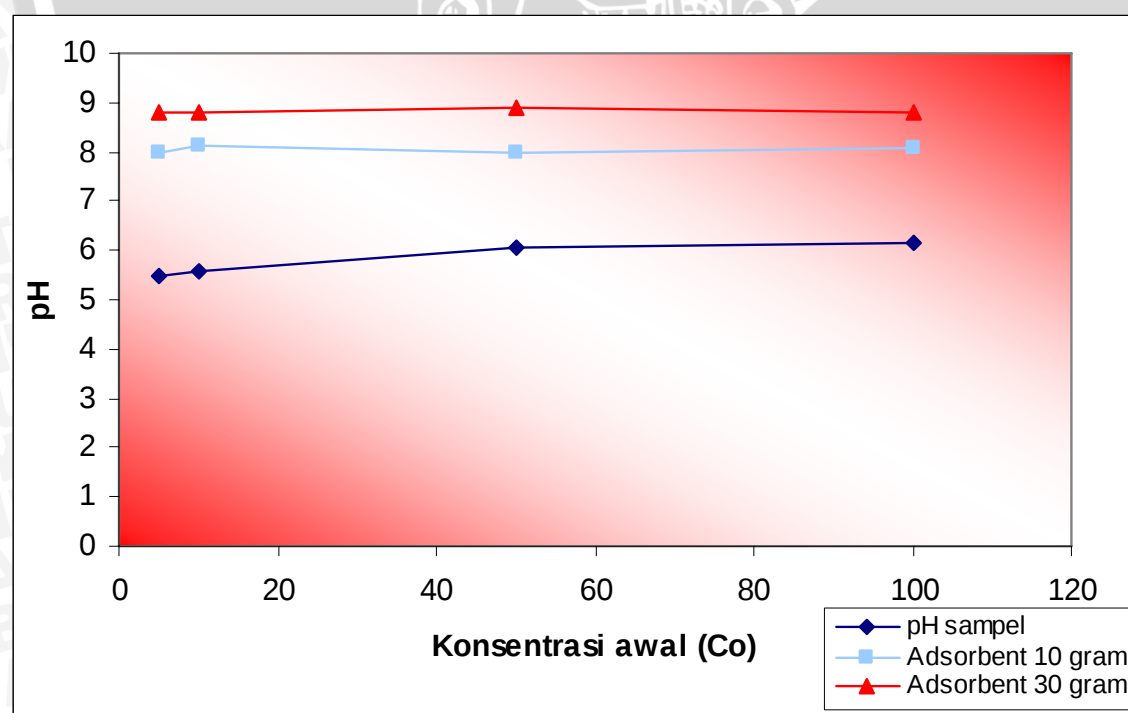
Gambar 4.2. Grafik nilai pH pada tiap konsentrasi awal (Co) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.10)

Dengan data nilai pH pada penambahan adsorben dengan karbon aktif lolos ayakan no.10 menunjukkan adanya perubahan nilai pH pada sampel konsentrasi awal (C_0) tetapi perubahan tersebut relatif kecil dan menunjukkan nilai pH tetap stabil. Nilai pH pada sampel awal tiap konsentrasi minimal 5,49 dan maksimal 6,16 yang menunjukkan sifat asam ($pH < 7$). Setelah penambahan adsorben karbon aktif nilai pH naik pada kondisi basa. Pada penambahan adsorben karbon aktif jumlah 10 gram menunjukkan kisaran nilai pH 10. Pada penambahan adsorbent karbon aktif jumlah 30 gram menunjukkan kisaran nilai pH 10 - 11. Hal ini menunjukkan jumlah adsorben menaikkan nilai pH larutan pada kondisi basa dan terjadi pelepasan ion OH^- dari adsorben yang bereaksi dengan ion Pb^{2+} sehingga menimbulkan endapan $Pb(OH)_2$ yang mengakibatkan penurunan konsentrasi OH^- dalam larutan sehingga larutan mengalami kenaikan pH dan bersifat basa.

Tabel 4.3. Nilai pH sebelum dan sesudah penambahan adsorben terhadap pH (gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no.20)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal C_0 (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan C_e 10 gram (mg/l)	0.03390	0.20339	3.59322	3.25424
Konsentrasi keseimbangan C_e 30 gram (mg/l)	0.20339	0.20339	0.88136	4.44068
pH sampel	5.49	5.57	6.07	6.16
pH sampel + karbon aktif 10 gram	7.99	8.14	7.98	8.07
pH sampel + karbon aktif 30 gram	8.78	8.81	8.89	8.78

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia-Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.2007



Gambar 4.3. Grafik nilai pH pada tiap konsentrasi awal (C_0) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.20)

Pada pengaruh penambahan adsorben terhadap pH yang menggunakan karbon aktif dengan gradasi lebih kecil yaitu lolos ayakan no.20 juga terlihat peningkatan pada nilai pH larutan karena penambahan jumlah adsorben. Pada penambahan adsorbent karbon aktif jumlah 10 gram menunjukkan kisaran nilai pH 7 - 8. Pada penambahan adsorben karbon aktif jumlah 30 gram menunjukkan kisaran nilai pH 8. Pada perlakuan ini peningkatan nilai pH lebih kecil dari perlakuan dengan karbon aktif gradasi lolos ayakan 10. Hal ini menunjukkan jumlah adsorben menaikkan nilai pH larutan pada kondisi basa dan terjadi pelepasan ion OH^- dari adsorben yang bereaksi dengan ion Pb^{2+} sehingga menimbulkan endapan $\text{Pb}(\text{OH})_2$ yang mengakibatkan penurunan konsentrasi OH^- dalam larutan sehingga larutan mengalami kenaikan pH dan bersifat basa.

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ disini pada awalnya bersifat asam karena larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ terdiri dari kation Pb^{2+} dan NO_3^- yang berasal dari asam nitrat (HNO_3) yang merupakan asam kuat ($\text{pH} < 7$) sehingga pada awalnya larutan polutan bersifat asam. Kemudian setelah diberi perlakuan dengan penambahan adsorben yang bersifat basa karena pada permukaan dari adsorben karbon aktif terdapat banyak terdapat ion OH^- yang dapat berfungsi sebagai penukar ion dengan menangkap ion polutan logam berat dimana disini yaitu Pb^{2+} sehingga membentuk endapan yang telah dijelaskan di atas.

Besarnya pH akhir dari beberapa konsentrasi yang telah ditetapkan tidak terlalu banyak berubah dan cenderung membentuk garis datar (flat), sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi awal dari polutan tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai pH dari larutan polutan baik setelah larutan diberi adsorben dengan jumlah 10 gram dan jumlah 30 gram. Perbedaan yang terjadi hanya pada adsorben 30 gram kenaikan pH yang dihasilkan lebih besar daripada kenaikan pH sampel yang diberi perlakuan dengan penambahan adsorben 10 gram walaupun tidak signifikan.

Dapat dilihat juga pH yang terjadi setelah penambahan adsorben karbon aktif membantu proses adsorpsi dengan mengikat ion logam berat Pb^{2+} dengan ion OH^- yang banyak berada pada permukaan adsorben karbon aktif sehingga membentuk endapan yang dapat mengurangi konsentrasi polutan yang ada pada sampel tersebut.

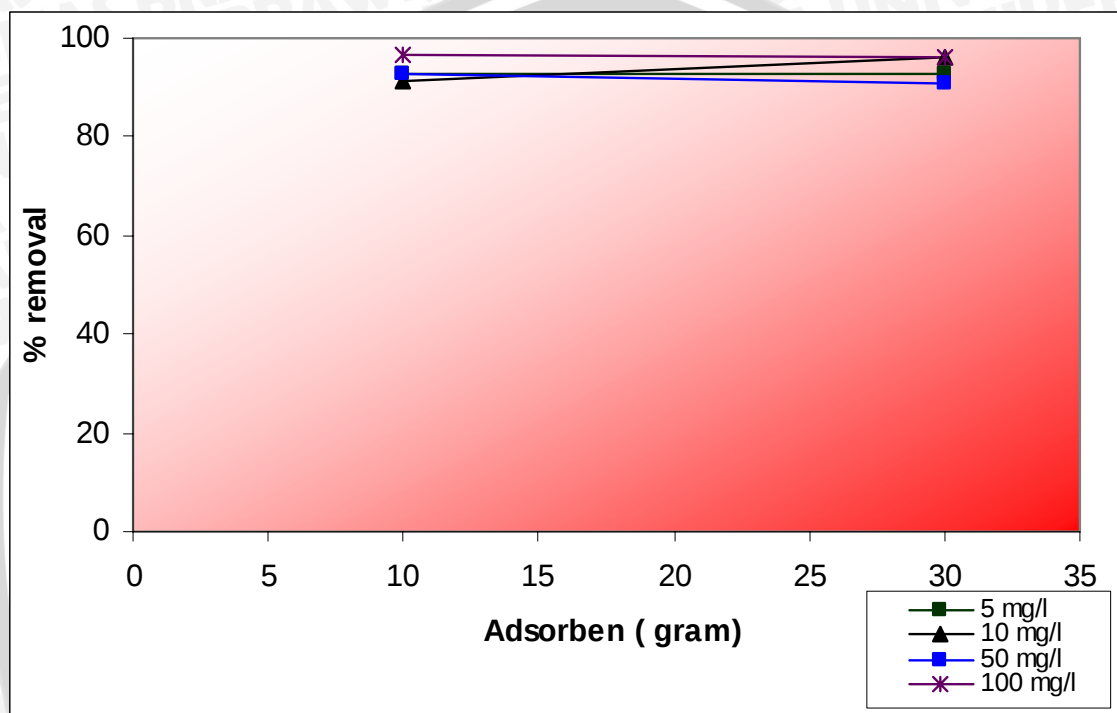
4.2 Pengaruh Jumlah Adsorben Terhadap Penurunan Konsentrasi Polutan

Variasi jumlah adsorben karbon aktif juga digunakan dalam penelitian efektivitas adsorpsi dengan variasi gradasi butiran karbon aktif sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Pb. Pola penurunan kadar logam berat Pb dilihat dari variasi jumlah adsorben ini yaitu dengan jumlah 10 gram dan jumlah 30 gram.

Tabel 4.4. Penurunan Konsentrasi Pb setelah penambahan adsorben
(gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 10)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce 10 gram (mg/l)	0.37288	0.88136	3.59322	3.42373
Konsentrasi keseimbangan Ce 30 gram (mg/l)	0.37288	0.37288	4.61017	4.10169
% removal 10 gram	92.542	91.186	92.814	96.576
% removal 30 gram	92.542	96.271	90.780	95.898

Sumber: Hasil Perhitungan



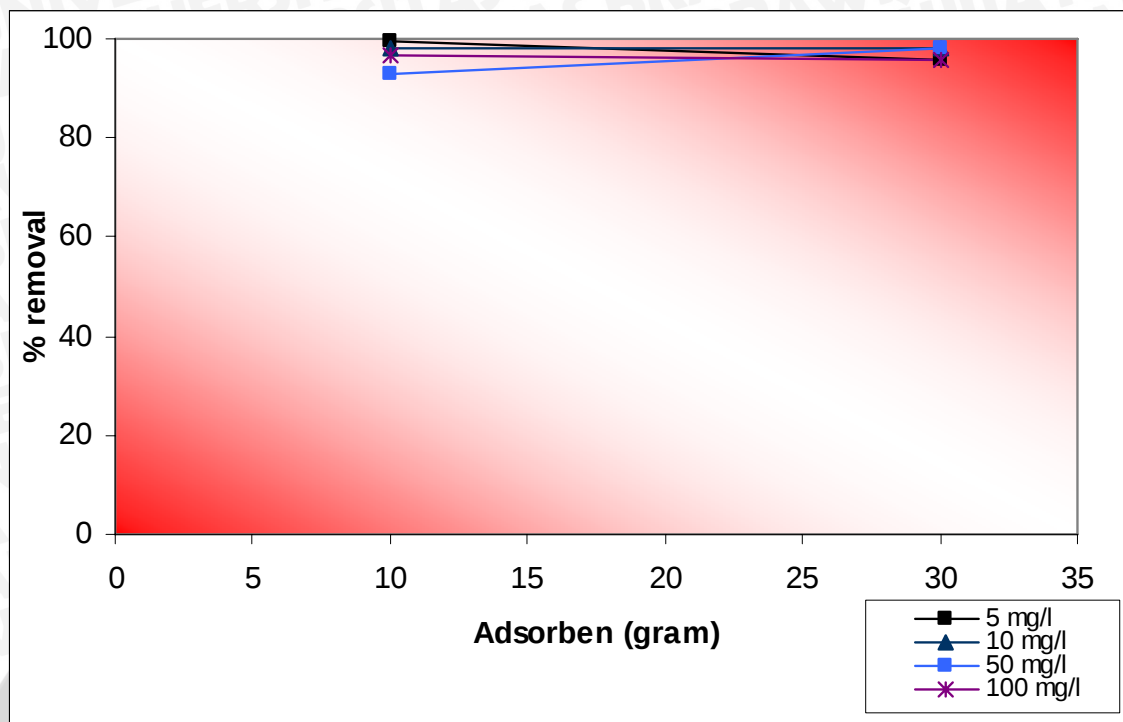
Gambar 4.4. Pengaruh Jumlah Adsorben terhadap penurunan Pb²⁺
(pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.10)

Pada pengaruh jumlah adsorben terhadap penurunan konsentrasi Pb²⁺ dengan karbon aktif lolos ayakan no.10 terjadi pola penurunan konsentrasi Pb²⁺ relatif stabil pada kisaran lebih dari 90 %. Pada jumlah adsorben 10 gram prosentase penurunan konsentrasi maksimum sebesar 96,58% terjadi pada konsentrasi awal (Co) 100 mg/l. Pada jumlah adsorben 30 gram prosentase penurunan konsentrasi maksimum sebesar 96,27 % terjadi pada konsentrasi awal (Co) 10 mg/l.

Tabel 4.5 Penurunan Konsentrasi Pb setelah penambahan adsorben
(gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 20)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce 10 gram (mg/l)	0.03390	0.20339	3.59322	3.25424
Konsentrasi keseimbangan Ce 30 gram (mg/l)	0.20339	0.20339	0.88136	4.44068
% removal 10 gram	99.3220	97.9661	92.8136	96.7458
% removal 30 gram	95.9322	97.9661	98.2373	95.5593

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.5 Pengaruh Jumlah Adsorben terhadap penurunan Pb^{2+} (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.20)

Pada pengaruh jumlah adsorben terhadap penurunan konsentrasi Pb^{2+} dengan karbon aktif lolos ayakan no.20 juga terjadi pola penurunan konsentrasi Pb^{2+} relatif stabil pada kisaran lebih dari 92 %. Pada jumlah adsorben 10 gram prosentase penurunan konsentrasi maksimum sebesar 99,32 % terjadi pada konsentrasi awal (C_0) 5 mg/l. Pada jumlah adsorben 30 gram prosentase penurunan konsentrasi maksimum sebesar 98,24 % terjadi pada konsentrasi awal (C_0) 50 mg/l.

Jumlah dari adsorben karbon aktif tidak mempengaruhi secara signifikan dalam prosentase penurunan konsentrasi polutan yang diuji. Ini terlihat dari hampir samanya prosentase penurunan setiap konsentrasi pada penambahan adsorben dengan jumlah 10 gram dan jumlah 30 gram. Dengan pola prosentase penurunan konsentrasi Pb^{2+} pada adsorben 10 gram yang lebih stabil di tiap penambahan konsentrasi menunjukkan efektivitas pada perlakuan dengan adsorben 10 gram. Jumlah adsorben 30 gram terlalu banyak dibandingkan dengan tiap penambahan konsentrasi sehingga bisa terjadi pengendapan polutan Pb^{2+} setelah larutan pada kondisi jenuh.

Dengan pola prosentase penurunan konsentrasi Pb^{2+} pada gradasi adsorben karbon aktif lolos ayakan no.20 yang lebih baik yaitu hampir 100% menunjukkan perlakuan dengan karbon aktif lolos ayakan no.20 lebih efektif, hal ini membuktikan

bahwa butiran karbon aktif lebih kecil mempunyai luas permukaan lebih besar dalam proses adsorpsi sehingga penyerapan polutan oleh adsorben tersebut lebih efektif.

4.3 Karakteristik Adsorpsi Kabon Aktif

Penelitian efektivitas adsorpsi dengan variasi gradasi butiran karbon aktif sebagai adsorben melihat karakteristik adsorpsi karbon aktif yang diteliti. Hasil percobaan laboratorium tentang karakteristik adsorpsi isothermis dievaluasi dengan model isotherm Freundlich dan isotherm Langmuir.

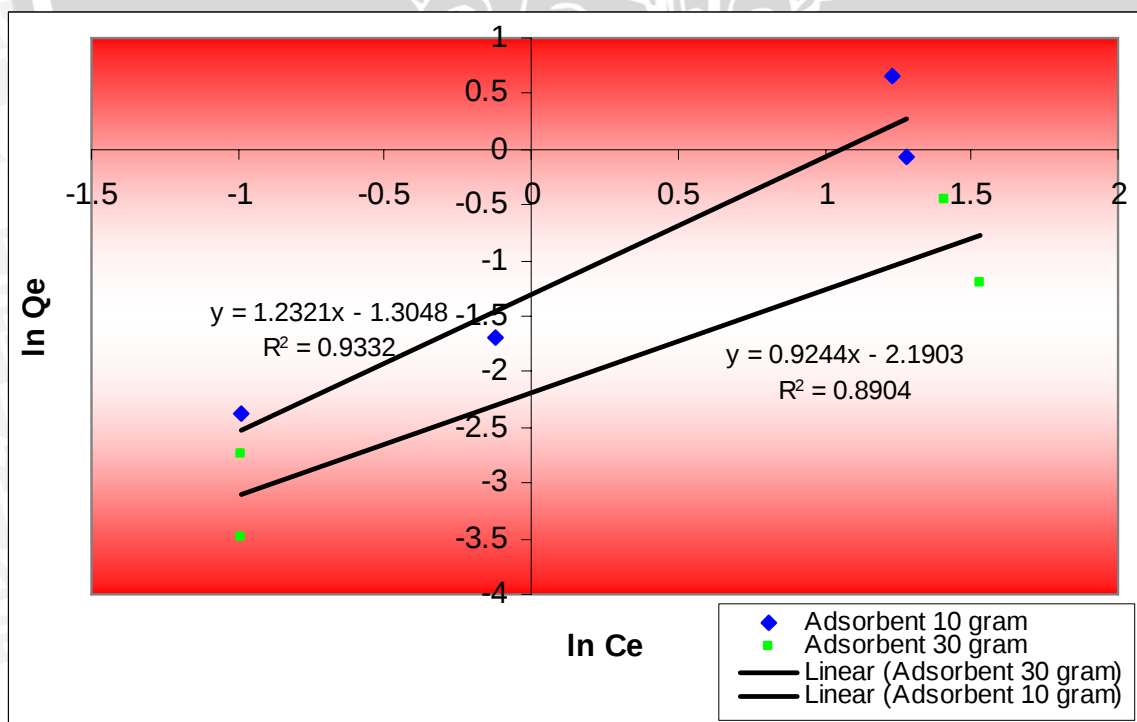
4.3.1 Karakteristik Adsorpsi Isothermis Sesuai Teori Freundlich

Parameter dan perhitungan yang digunakan dalam permodelan isotherm Freundlich dijelaskan pada tabel perhitungan dan gambar grafik :

Tabel 4.6 Penentuan karakteristik adsorpsi isothermis Freundlich (gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 10)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce 10 gram (mg/l)	0.37288	0.88136	3.59322	3.42373
Konsentrasi keseimbangan Ce 30 gram (mg/l)	0.37288	0.37288	4.61017	4.10169
Qe 10 gram	0.09254	0.18237	0.92814	1.93153
Qe 30 gram	0.03085	0.06418	0.30260	0.63932
ln Qe 10 gram	-2.38009	-1.70170	-0.07458	0.65831
ln Ce 10 gram	-0.98649	-0.12629	1.27905	1.23073
ln Qe 30 gram	-3.47870	-2.74605	-1.19535	-0.44735
ln Ce 30 gram	-0.9865	-0.9865	1.52826	1.4114

Sumber: Hasil Perhitungan



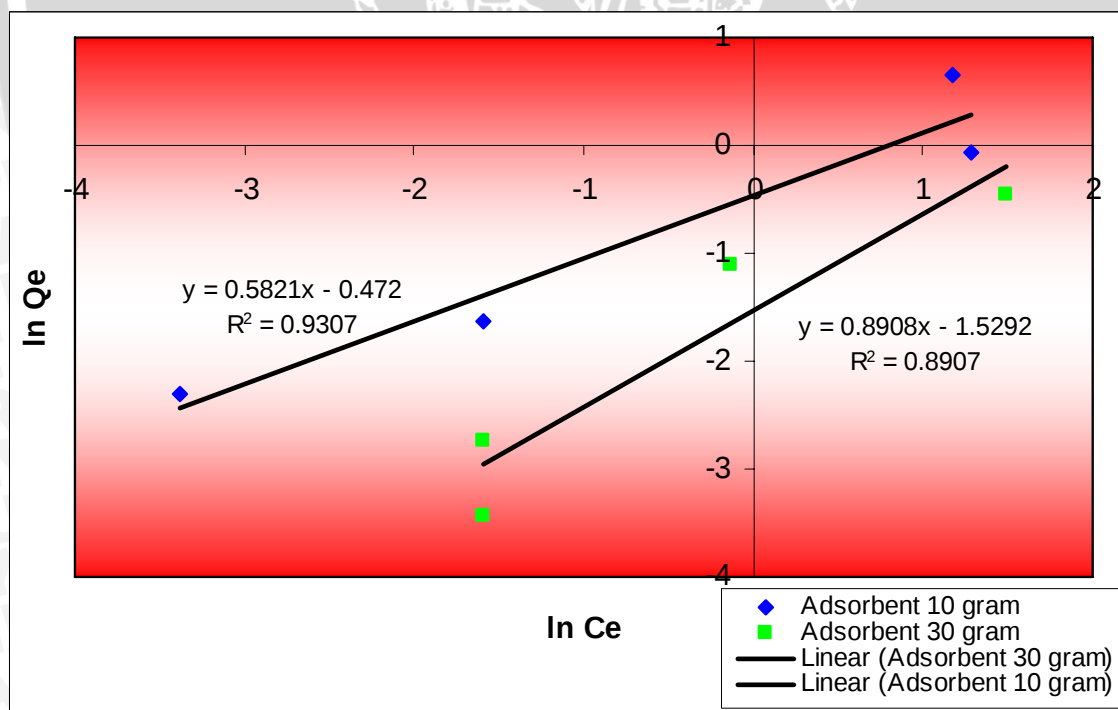
Gambar 4.6 Grafik linear konsentrasi keseimbangan(C_e) pada daya adsorpsi (Q_e) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.10)

Melihat karakteristik adsorpsi isoteremis Freundlich pada perlakuan dengan karbon aktif lolos ayakan no.10 menunjukkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram pada nilai $\ln C_e=0$ memiliki nilai intersep -1,305 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,932 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram pada nilai $\ln C_e=0$ memiliki nilai intersep -2,190 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,639 mg/g. Ini menunjukkan bahwa karbon aktif dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Tabel 4.7 Penentuan karakteristik adsorpsi isoteremis Freundlich (gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 20)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal C_o (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan C_e 10 gram (mg/l)	0.03390	0.20339	3.59322	3.25424
Konsentrasi keseimbangan C_e 30 gram (mg/l)	0.20339	0.20339	0.88136	4.44068
Q_e 10 gram	0.09932	0.19593	0.92814	1.93492
Q_e 30 gram	0.03198	0.06531	0.32746	0.63706
$\ln Q_e$ 10 gram	-2.3094	-1.63	-0.0746	0.66006
$\ln C_e$ 10 gram	-3.3844	-1.5926	1.27905	1.17996
$\ln Q_e$ 30 gram	-3.4427	-2.7286	-1.1164	-0.4509
$\ln C_e$ 30 gram	-1.5926	-1.5926	-0.1263	1.49081

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.7 Grafik linear konsentrasi keseimbangan(C_e) pada daya adsorpsi (Q_e) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.20)

Melihat karakteristik adsorpsi isotermis Freundlich pada perlakuan dengan karbon aktif lolos ayakan no.20 menunjukkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram pada nilai $\ln C_e=0$ memiliki nilai intersep -0,472 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,935 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram pada nilai $\ln C_e=0$ memiliki nilai intersep -1,529 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,637 mg/g. Ini menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Hal tersebut dapat disebabkan oleh adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram tidak terlalu efektif dalam menyerap logam berat Pb^{2+} , karena adsorben menjadi berlebihan dan tidak efektif dalam proses adsorpsinya. Sedangkan karbon aktif dengan jumlah 10 gram dapat dikatakan cukup efektif dalam proses adsorpsi diatas karena memiliki daya adsorpsi maksimum yang melebihi karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Tabel 4.8 Nilai parameter persamaan isoterm Freundlich

Sampel penelitian	Persamaan linier	Koefisien korelasi (R^2)	K_f	n
A	$y=1.2321x-1.3048$	0.9332	0.271227	0.81162
B	$y=0.9244x-2.1903$	0.8904	0.111883	1.08178
C	$y=0.5821x-0.472$	0.9307	0.623754	1.71792
D	$y=0.8908x-1.5292$	0.8907	0.216709	1.12259

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan sampel penelitian:

A = Adsorben karbon aktif gradasi 10 jumlah 10 gram

B = Adsorben karbon aktif gradasi 10 jumlah 30 gram

C = Adsorben karbon aktif gradasi 20 jumlah 10 gram

D = Adsorben karbon aktif gradasi 20 jumlah 30 gram

Dari gambar dan perhitungan diperoleh nilai parameter persamaan isoterm Freundlich yaitu konstanta K_f dan nilai n sehingga persamaan isoterm Freundlich untuk data penelitian adalah :

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

$$\text{Sampel A : } Q_e = 0,271 C_e^{1,232}$$

$$\text{Sampel B : } Q_e = 0,112 C_e^{0,924}$$

$$\text{Sampel C : } Q_e = 0,624 C_e^{0,582}$$

$$\text{Sampel D : } Q_e = 0,217 C_e^{0,891}$$

Nilai n yang didapat dari nilai slope pada kedua persamaan tersebut yang menunjukkan kekuatan daya tarik-menarik antara adsorben dan polutan (logam berat

Pb^{2+}), didapat bahwa nilai n untuk karbon aktif gradasi 10 sebesar 0,812 lebih kecil dari karbon aktif gradasi 20 yaitu sebesar 1,718.

Perbandingan daya adsorpsi yang diwakili oleh besaran K_f dan nilai intersep dari persamaan linier antara adsorben karbon aktif gradasi 10 dengan adsorben karbon aktif gradasi 20. Nilai K_f dari sampel dengan jumlah adsorben 10 gram memiliki nilai K_f lebih besar dari jumlah adsorben 30 gram. Hal ini menunjukkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram tidak terlalu efektif dalam menyerap logam berat Pb^{2+} , karena adsorben menjadi berlebihan dan tidak efektif dalam proses adsorpsinya. Sedangkan karbon aktif dengan jumlah 10 gram dapat dikatakan cukup efektif dalam proses adsorpsi diatas karena memiliki daya adsorpsi maksimum yang melebihi karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Pada perlakuan jumlah adsorben 10 gram kemampuan adsorpsi adsorben karbon aktif gradasi 20 tampak lebih baik daripada adsorben karbon aktif gradasi 10. Hal ini dibuktikan dengan nilai K_f karbon aktif gradasi 20 yang mencapai 0,624 lebih besar daripada nilai K_f karbon aktif gradasi 10 yang besarnya 0,271. Lebih tingginya nilai K_f karbon aktif gradasi 20 dari nilai K_f karbon aktif gradasi 10 membuktikan lebih kecil gradasi butiran adsorben karbon aktif maka semakin baik tingkat adsorpsinya karena luas permukaan yang semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan adsorben karbon aktif gradasi 20 lebih efektif dalam penyerapan polutan Pb dari adsorben karbon aktif gradasi 10.

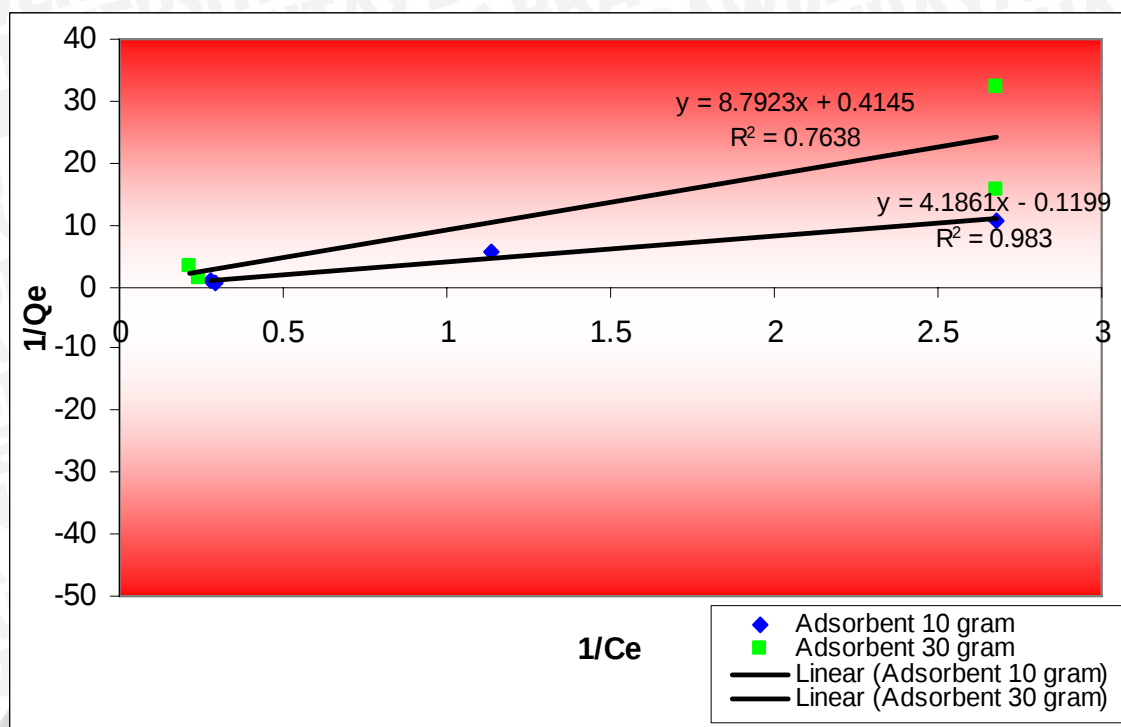
4.3.2 Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Langmuir

Parameter dan perhitungan yang digunakan dalam permodelan isoterm Langmuir dijelaskan pada tabel perhitungan dan gambar grafik :

Tabel 4.9 Penentuan karakteristik adsorpsi isotermis Langmuir
(gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 10)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal C_0 (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan C_e 10 gram (mg/l)	0.37288	0.88136	3.59322	3.42373
Konsentrasi keseimbangan C_e 30 gram (mg/l)	0.37288	0.37288	4.61017	4.10169
Q_e 10 gram	0.09254	0.18237	0.92814	1.93153
Q_e 30 gram	0.03085	0.06418	0.30260	0.63932
$1/C_e$ 10 gram	2.68182	1.13462	0.2783	0.29208
$1/Q_e$ 10 gram	10.8059	5.48327	1.07743	0.51773
$1/C_e$ 30 gram	2.68182	2.68182	0.21691	0.2438
$1/Q_e$ 30 gram	32.4176	15.581	3.30471	1.56416

Sumber: Hasil Perhitungan



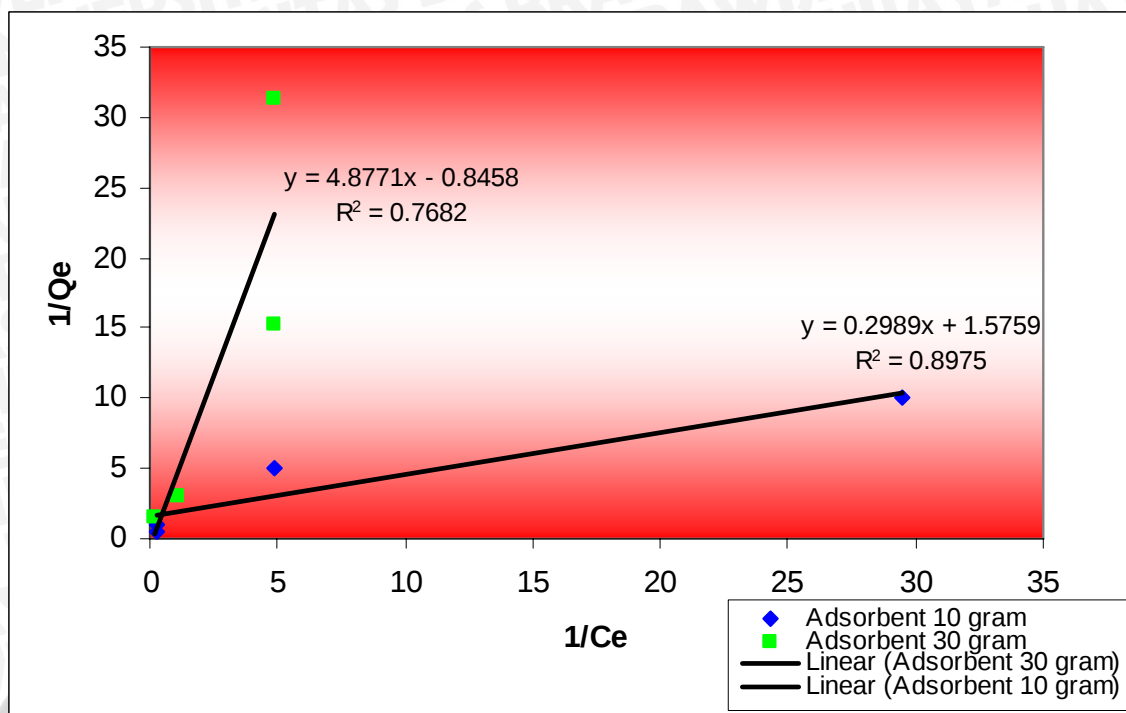
Gambar 4.8 Grafik linear konsentrasi keseimbangan(C_e) pada daya adsorpsi (Q_e) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.10)

Melihat karakteristik adsorpsi isotermis Langmuir pada perlakuan dengan karbon aktif lolos ayakan no.10 menunjukkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram pada nilai $1/C_e=0$ memiliki nilai intersep -0,119 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,932 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram pada nilai $1/C_e=0$ memiliki nilai intersep 0,415 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,639 mg/g. Ini menunjukkan bahwa karbon aktif dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Tabel 4.10 Penentuan karakteristik adsorpsi isotermis Langmuir (gradasi butiran karbon aktif lolos ayakan no. 20)

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal C_o (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan C_e 10 gram (mg/l)	0.03390	0.20339	3.59322	3.25424
Konsentrasi keseimbangan C_e 30 gram (mg/l)	0.20339	0.20339	0.88136	4.44068
Q_e 10 gram	0.09932	0.19593	0.92814	1.93492
Q_e 30 gram	0.03198	0.06531	0.32746	0.63706
$1/C_e$ 10 gram	29.5000	4.91667	0.2783	0.30729
$1/Q_e$ 10 gram	10.0683	5.10381	1.07743	0.51682
$1/C_e$ 30 gram	4.91667	4.91667	1.13462	0.22519
$1/Q_e$ 30 gram	31.2721	15.3114	3.05383	1.56971

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik linear konsentrasi keseimbangan(C_e) pada daya adsorpsi (Q_e) (pada perlakuan penambahan adsorben karbon aktif gradasi butiran lolos ayakan no.20)

Melihat karakteristik adsorpsi isotermis Langmuir pada perlakuan dengan karbon aktif lolos ayakan no.10 menunjukkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram pada nilai $1/C_e=0$ memiliki nilai intersep 1,576 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,936 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram pada nilai $1/C_e=0$ memiliki nilai intersep -0,846 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,637 mg/g. Ini menunjukkan bahwa karbon aktif dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif dengan jumlah 30 gram.

Tabel 4.11 Nilai parameter persamaan isoterm Langmuir

Sampel penelitian	Persamaan linier	Koefisien korelasi (R^2)	K_{ads}	q_m
A	$y=4.1861x-0.1199$	0.983	-0.02864	-8.34028
B	$y=8.7923x+0.4145$	0.7638	0.047144	2.41255
C	$y=0.2989x+1.5759$	0.8975	5.272332	0.63456
D	$y=4.8771x-0.8458$	0.7682	-0.17342	-1.18231

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan sampel penelitian:

- A = Adsorben karbon aktif gradasi 10 jumlah 10 gram
- B = Adsorben karbon aktif gradasi 10 jumlah 30 gram
- C = Adsorben karbon aktif gradasi 20 jumlah 10 gram
- D = Adsorben karbon aktif gradasi 20 jumlah 30 gram

Dari gambar dan perhitungan diperoleh nilai parameter persamaan isoterm Langmuir yaitu konstanta K_{ads} dan nilai q_m sehingga persamaan isoterm Langmuir untuk data penelitian adalah :

$$Q_e = q_m K_{ads} C_e / (1 + K_{ads} C_e)$$

$$\text{Sampel A : } Q_e = 0,239 C_e / (1 - 0,029 C_e)$$

$$\text{Sampel B : } Q_e = 0,114 C_e / (1 + 0,047 C_e)$$

$$\text{Sampel C : } Q_e = 3,346 C_e / (1 + 5,272 C_e)$$

$$\text{Sampel D : } Q_e = 0,205 C_e / (1 - 0,173 C_e)$$

Perbandingan daya adsorpsi yang diwakili oleh besaran K_{ads} dan nilai intersep dari persamaan linier antara adsorben karbon aktif gradasi 10 dengan adsorben karbon aktif gradasi 20. Pada jumlah adsorben 10 gram kemampuan adsorpsi adsorben karbon aktif gradasi 20 tampak lebih baik daripada adsorben karbon aktif gradasi 10. Hal ini dibuktikan dengan nilai K_{ads} karbon aktif gradasi 20 yang mencapai 5,272 lebih besar daripada nilai K_{ads} karbon aktif gradasi 10 yang besarnya -0,029 dan nilai intersep karbon aktif gradasi 20 yaitu 1,576 lebih besar daripada nilai intersep dari karbon aktif gradasi 10 yaitu sebesar -0,119. Lebih tingginya nilai K_{ads} karbon aktif gradasi 20 dari nilai K_{ads} karbon aktif gradasi 10 membuktikan lebih kecil gradasi butiran adsorben maka semakin baik tingkat adsorpsinya karena luas permukaan yang semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan adsorben karbon aktif gradasi 20 lebih efektif dalam penyerapan polutan Pb dari adsorben karbon aktif gradasi 10.

Jadi dari kedua perbandingan diatas dapat ditemukan kesesuaian antara metode Langmuir dan metode Freundlich bahwa adsorben karbon aktif gradasi 20 lebih baik dalam hal kemampuan mengadsorpsi ion logam berat Pb^{2+} bila dibandingkan dengan adsorben karbon aktif gradasi 10.

Isoterm Langmuir mengasumsikan adsorpsi terjadi secara lapis tunggal yang sesuai untuk adsorpsi kimia sedangkan isoterm Freundlich mengasumsikan adsorpsi terjadi secara lapis ganda yang sesuai untuk adsorpsi fisik. Kelinearan yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (R^2) menunjukkan kesesuaian isoterm tersebut dengan data penelitian. Sehingga adsorpsi karbon aktif terhadap ion logam berat Pb^{2+} dapat diasumsikan terjadi secara kimia dan fisik.

4.4 Perencanaan Instalasi Pengolah Limbah Sederhana

Setelah kemampuan adsorpsi dari adsorben telah diketahui dengan perhitungan menggunakan dua metode yaitu Freundlich dan Langmuir, dapat direncanakan suatu alat *contactor* sebagai alat pengolah limbah sederhana yang dapat menurunkan kadar

limbah logam berat Pb^{2+} dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben yang telah ditentukan.

Karbon aktif dengan spesifikasi gradasi butiran lolos ayakan no.20 terbukti lebih efektif berperan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi limbah logam berat Pb^{2+} , maka dalam perencanaan ini data dan jenis adsorben yang digunakan dalam perancangan adalah berasal dari adsorben karbon aktif gradasi 20. Setelah ini dapat dilihat langkah-langkah perancangan instalasi pengolah limbah sederhana yang menggunakan adsorben karbon aktif dengan sebuah contoh kasus hipotetik.

Contoh Kasus Hipotetik:

Data-data yang diketahui :

Diketahui sebuah *contactor* dengan dasar tetap (*fixed-bed*) mempunyai debit *inflow* (Q) sebesar 300 L/menit. Polutan logam berat Pb mempunyai konsentrasi awal (C_o) 1 mg/L dan diharapkan mempunyai konsentrasi akhir (C_e) setelah pengolahan sebesar 0,005 mg/L. Massa jenis karbon aktif tipe butiran (*Granular Activated Carbon*) yang digunakan dalam *contactor* sebesar 500 g/L. Karbon aktif yang digunakan mempunyai faktor kapasitas Freundlich (K_f) $0,624 \text{ (mg/g)(L/mg)}^{1/n}$, dan parameter intensitas Freundlich ($1/n$) sebesar 0,582. Sedangkan dari desain *contactor* didapat *Empty Bed Contact Time* (EBCT) sebesar 30 menit.

Dari data-data diatas, dapat ditentukan:

1. Jumlah karbon aktif yang diperlukan dalam *contactor*
2. Dimensi *contactor*
3. Umur karbon aktif pada dasar *contactor* (*bed life*)

Penyelesaian :

1. Menentukan laju/kadar penggunaan GAC untuk polutan.

$$\begin{aligned} \frac{m_{GAC}}{Q_t} &= \frac{C_o - C_e}{q_e} = \frac{C_o - C_e}{(K_f C_o)^{1/n}} \\ &= \frac{(1,0 \text{ mg/L})}{0.624(\text{mg/g})(\text{L/mg})^{0,582} (1,0 \text{ mg/L})^{0,582}} \\ &= 1,316 \text{ grGAC/L} \end{aligned}$$

2. Menentukan massa karbon aktif yang digunakan untuk EBCT selama 30 menit.

$$\text{Massa GAC pada dasar} = V_b \rho_{GAC} = \text{EBCT} \times Q \times \rho_{GAC}$$

$$\begin{aligned} \text{Karbon aktif yang diperlukan} &= 30 \text{ menit} \cdot (300 \text{ L/menit}) \cdot (500 \text{ g/L}) \\ &= 4,5 \times 10^6 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Menentukan volume karbon aktif dalam kontaktor.

$$EBCT = \frac{V_b}{Q}$$

$$\begin{aligned} V_b &= 30 \text{ menit} \times 300 \text{ L/menit} \\ &= 9000 \text{ L} \\ &= 9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4. Menentukan volume air yang dapat diolah dengan EBCT selama 10 menit.

Volume air yang dapat diolah

$$= \frac{\text{massa karbon aktif yang diperlukan untuk EBCT tertentu}}{\text{laju penggunaan GAC}}$$

$$= \frac{4,5 \times 10^6 \text{ g}}{(1,316 \text{ grGAC/L})}$$

$$= 3,42 \times 10^6 \text{ L}$$

5. Menentukan luas penampang dasar *contactor* dengan diameter 2 m

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 2^2 \\ &= 3,14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

6. Menentukan panjang dari karbon aktif dalam *contactor*

$$\begin{aligned} D &= \frac{V_b}{A_b} \\ &= \frac{9 \text{ m}^3}{3,14 \text{ m}^2} \\ &= 2,87 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Menentukan umur dari karbon aktif (*bed life*)

$$\text{Bed life} = \frac{\text{volume dari air yang dapat diolah untuk EBCT tertentu}}{Q}$$

$$= \frac{3,42 \times 10^6 \text{ L}}{(300 \text{ L/menit})(1440 \text{ menit/hari})}$$

$$= 7,9 \text{ hari}$$

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Adsorben karbon aktif memberikan bukti nyata, bahwa pengaruhnya dapat mengurangi kadar logam berat Pb dalam larutan polutan buatan. Dari hasil penelitian didapat persamaan isoterm Freundlich untuk adsorpsi ion logam berat Pb^{2+} oleh adsorben karbon aktif lolos ayakan no.10 yang mencapai maksimum adalah $y=1,2321x-1,3048$ dengan K_f sebesar 0,271 pada jumlah adsorben 10 gram sedangkan untuk adsorben karbon aktif lolos ayakan no.20 persamaan yang didapat adalah $y=0,5821x-0,472$ dengan K_f sebesar 0,624 pada jumlah adsorben 10 gram. Dan persamaan isoterm Langmuir untuk adsorpsi ion logam berat Pb^{2+} oleh adsorben karbon aktif lolos ayakan no.10 yang mencapai maksimum adalah $y=8,7923x+0,4145$ dengan K_{ads} sebesar 0,047 pada jumlah adsorben 30 gram sedangkan untuk adsorben karbon aktif lolos ayakan no.20 persamaan yang didapat adalah $y=0,2989x+1,5759$ dengan K_{ads} sebesar 5,272 pada jumlah adsorben 10 gram.
2. Efektivitas adsorpsi karbon aktif terjadi pada penambahan adsorben karbon aktif lolos ayakan no.20 yang ditunjukkan oleh pola prosentase penurunan polutan Pb^{2+} . Pada penambahan adsorben karbon aktif lolos ayakan no.10 kisaran prosentase penurunan polutan Pb^{2+} sebesar 90,78 % sampai 96,58 % sedangkan pada penambahan adsorben karbon aktif lolos ayakan no.20 kisaran prosentase penurunan polutan Pb^{2+} sebesar 92,81 % sampai 99,32 %. Fenomena ini membuktikan bahwa semakin kecil gradasi butiran adsorben maka semakin baik tingkat adsorpsinya karena luas permukaan yang semakin besar.
3. Perencanaan desain awal (*preliminary design*) instalasi pengolahan limbah sederhana yang dapat mengurangi kadar limbah logam berat Pb^{2+} adalah dengan alat *contactor* dengan dasar tetap (*fixed-bed*). Jumlah karbon aktif dan usia pemakaiannya ditentukan berdasarkan parameter adsorpsi isotermis dan data-data pelengkap, yaitu : debit *inflow* (Q) , konsentrasi awal (C_o) polutan logam berat Pb, konsentrasi akhir (C_e) yang diharapkan setelah pengolahan, massa jenis karbon aktif tipe butiran (*Granular Activated Carbon*), faktor kapasitas

Freundlich (K_f), dan parameter intensitas Freundlich ($1/n$). Sedangkan dari desain *contactor* didapat *Empty Bed Contact Time* (EBCT) sebesar 30 menit dan didapatkan dimensi dari *contactor*.

5.2 Saran

1. Penelitian ini adalah penelitian pendahuluan pada desain awal (*preliminary design*) instalasi pengolahan limbah cair sederhana sehingga perlu dikaji lebih lanjut dalam perencanaan instalasi pengolahan limbah.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kemampuan dan efektivitas adsorpsi karbon aktif ini dengan memperbanyak sampel penelitian, variasi jumlah adsorben dan variasi larutan polutan sehingga didapat data-data yang lebih akurat.
3. Untuk penelitian-penelitian berikutnya tentang adsorpsi dengan adsorben karbon aktif ataupun adsorben yang lainnya disarankan memperhatikan lamanya waktu keseimbangan agar bisa dilihat sampai mana waktu efektivitas adsorpsi (*contact time*).
4. Dalam penelitian di laboratorium, sangat diperlukan ketelitian dan akurasi dalam penggunaan alat. Dengan demikian kalibrasi peralatan sangat diperlukan untuk memperkecil kesalahan pengukuran.
5. Dalam pengembangan penelitian ini diperlukan waktu yang relatif lama dan menggunakan alat analisis yang lebih canggih. Dengan tujuan mendapatkan data yang benar-benar valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriano, D.C, 1986, *Trace Elements in The Terrestrial Environment*, Berlin: Springer, hlm. 533.
- Agustin, Santika, 2007, *Studi Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Di Rumah Sakit Umum Mataram Terhadap Parameter BOD, COD, Phospat, Amonia dan Coliform*, Usulan Skripsi Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Alfiah, Taty, 2000, *Studi Transport Endosulfan Dalam Tanah Skala Laboratorium*, Tesis Magister Teknik Lingkungan, ITB.
- Giles, C.H., dkk., 1960, *Studies in Adsorption Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms and its use in Diagnosis and Adsorptive Mechanism and Measurements of Specific Surface Area of Solids*, Chem.Soc.J.,vol 3, hlm. 3973-3993.
- Gupta, S. and Babu, B.V. (2006). *Adsorption of Chromium (VI) by a Low-Cost Adsorbent Prepared from Tamarind Seeds*, Chemical Engineering Group, Birla Institute of Technology and Science, Pilani, Rajasthan, India.
- Ho, G.E dan S. Notodarmojo, 1995, *Phosphorus Movement Through Soils and Groundwater: Application of a Time-Dependent Sorption Model*, Water Science and Technology, vol. 31 : 9, hlm. 83-90.
- Irwanto, 2004, *Studi Pemakaian Zeolit guna menurunkan kandungan Cl^- , NO_3^- dan $CaCO_3$ pada air baku*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Langmuir, D. dan J. Mahoney, 1984, *Chemical Equilibrium and Kinetics of Geochemical Processes in Groundwater Studies*, First Canadian / American Conference of Hydrogeology, Ed.B.Hitchon dan E.I. Wallick, Dublin, Ohio : Nat.Water Well Assoc, hlm.69-95.
- Metcalf dan Eddy. 1979. *Waste Water Engineering Second Edition*. McGrow-Hill Company.
- Notodarmojo, Suprihanto, 2005, *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*, Bandung : ITB.
- Nriagu, J.D. (ed), 1984, *Changing Metal Cycles in Human Health*, Berlin: Springer. hlm. 445.

- Pari, G. 1996, *Pembuatan arang aktif dari serbuk gergajian tusam untuk penjernih air sumur dan limbah cair industri pulp dan kertas*. Buletin Penelitian Hasil Hutan 14 (2). hlm. 69-75
- Pari, G. 1996, *Pembuatan arang aktif dari serbuk gergajian sengon dengan cara kimia*. Buletin Penelitian Hasil Hutan 14 (8). hlm. 308-320.
- Pari, G. 2002, *Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu*. Makalah Falsafah Sains (PPs 702), Program Pasca Sarjana/S3, Institut Pertanian Bogor.
- Schnoor, J.L, 1996, *Enviromental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*, New York: John Wiley and Sons, Inc. hlm. 681.
- Stumm, W and J.J.Morgan, 1996, *Aquatic Chemistry*, ed. 3, New York : John Wiley and Sons.
- Sugiharto, 1987, *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Watts,R.J, 1998, *Hazardous Wastes : Sources, Pathways and Receptors*, Singapore: John Wiley and Sons Inc.,hlm 763.
- Weber, W.J., P.M. McGinley Jr., dan L.E.Katz, 1992, *A distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. I. Conceptual basis and Equilibrium assessments*, *Enviromental Science and Technology*, vol.26 (10),hlm.1955-1962.
- Weber, W.J dan F.A.DiGiano, 1996, *Process Dynamic in Enviromental Systems*, John Wiley and Sons Inc.,hlm.943.
- Yaron, B., R. Calvet, dan R. Prost, 1996, *Soil Pollution : Processes and Dynamic*. Berlin : Springer, hlm.313.