

**PERBANDINGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DAN
ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA KONTAKTOR DALAM
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

VINCENTIUS HERDY BAYU ASRI

NIM. 0001060489 – 64

DOSEN PEMBIMBING :

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

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

**PERBANDINGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DAN
ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA CONTACTOR DALAM
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**VINCENTIUS HERDY BAYU ASRI
NIM. 0001060489 – 64**

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

**PERBANDINGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DAN
ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA KONTAKTOR DALAM
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

Disusun Oleh :

**VINCENTIUS HERDY BAYU ASRI
NIM. 0001060489 – 64**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Juli 2007

DOSEN PENGUJI :

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

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

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

Ir. USSY ANDAWAYANTI, MS
NIP. 131 645 151

Mengetahui,
Ketua Jurusan Pengairan

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

**PERBANDINGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DAN
ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA KONTAKTOR DALAM
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

PROPOSAL USULAN SKRIPSI



Disusun Oleh :

**VINCENTIUS HERDY BAYU ASRI
NIM. 0001060489 – 64**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERBANDINGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DAN
ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA KONTAKTOR DALAM
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT**

USULAN SKRIPSI

Disusun Oleh :

VINCENTIUS HERDY BAYU ASRI

NIM. 0001060489 – 64



Menyetujui,

**Ketua Kelompok Dosen Keahlian
Pengelolaan Sumber Daya Air**

DR.Ir. Mohammad Bisri, MS.

NIP. 131 645 152

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Andre Primantyo H.,ST, MT.

NIP. 132 296 278

DR.Ir. Mohammad Bisri, MS.

NIP. 131 645 152

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. Bapak, 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. Bapak DR.Ir. Mohammad Bisri, 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.....	14
2.3.2 Standar Kualitas Air Limbah yang Mengandung Logam Berat ...	16
2.4 Karakteristik Karbon Teraktivasi (Activated Carbon).....	16
2.5 Karakteristik Zeolit.....	17
2.5.1 Jenis-jenis Zeolit.....	18
2.5.2 Sifat-sifat Zeolit	19
2.5.3 Aktivasi Zeolit	20
2.5.4 Zeolit sebagai Penukar Ion	21
2.5.5 Fungsi Zeolit dalam Penyaringan	22
2.6 Teori Adsorpsi Isotermis	22
2.6.1 Teori Adsorpsi Freundlich.....	25
2.6.2 Teori Adsorpsi Langmuir.....	26

2.6.3	Batch Adsorption Test	27
2.7	Instalasi Pengolahan Air dengan Menggunakan Adsorben	28
2.7.1	Kontaktor dengan Dasar Tetap (<i>Fixed-Bed</i>).....	29
2.7.2	Kontaktor dengan Dasar Tidak Tetap (<i>Expanded-Bed</i>).....	30
2.7.3	Analisis dan Desain Karbon Aktif tipe Butiran (GAC).....	30
BAB III METODE PENELITIAN.....		36
3.1	Persiapan Bahan Adsorbent, Sampel dan Peralatan Pengujian	36
3.2	Parameter yang Diukur	37
3.3	Tahapan Penelitian.....	37
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Kondisi Sampel Polutan.....	44
4.1.1	Adsorbansi Larutan Pb.....	44
4.1.2	Nilai pH.....	46
4.2	Pengaruh Jumlah Adsorben terhadap Penurunan Konsentrasi Polutan..	48
4.3	Karakteristik Adsorpsi Isoterm Adsorben	51
4.3.1	Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Freundlich.....	51
4.3.2	Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Langmuir	54
4.4	Perencanaan <i>Contactor</i> Pada Instalasi Pengolah Limbah Sederhana.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air adalah suatu bahan atau zat yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup yang ada di bumi ini terutama manusia. Fungsi air yang digunakan untuk menjaga kesehatan tubuh, berkaitan dengan proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh yang memerlukan bantuan air, serta air dalam fungsinya sebagai penunjang segala aktifitas yang dilakukan manusia dalam kehidupan setiap hari.

Masyarakat sering menggunakan air yang tidak memenuhi syarat kesehatan sebagai air bersih tanpa mempertimbangkan dampak yang mungkin akan terjadi. Keadaan ini apabila terus menerus berlanjut maka akan menimbulkan masalah yang serius terutama terhadap masalah kesehatan bagi kesehatan manusia secara individual dan juga pasti akan berdampak bagi manusia secara keseluruhan sebagai suatu kelompok. Lingkungan sebagai tempat hidup dari manusia adalah yang pertama memperoleh dampak dari adanya limbah yang dibuang tanpa adanya pengolahan oleh manusia.

Tanpa disadari oleh masyarakat lingkungan sekitar mereka saat ini telah menjadi penyebab utama dari menurunnya tingkat kesehatan karena dampak dari pembuangan limbah industri yang tidak menggunakan pengolahan terlebih dahulu, sehingga kadar polutan di dalamnya masih cukup tinggi. Hal ini diperparah dengan tingkat kesadaran yang rendah dari pihak pengusaha yang hanya memikirkan keuntungan dari usaha mereka dengan membuang limbah mereka secara langsung, tanpa memikirkan efek jangka panjang dari limbah yang mereka hasilkan terhadap lingkungan dan masyarakat di sekitarnya.

Masalah kesehatan lingkungan akan semakin parah bila ditambah dengan adanya air limbah dengan kadar polutan yang cukup tinggi yang tidak diolah lebih lanjut, serta kesadaran masyarakat yang rendah dalam menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan sekitar. Untuk itu diperlukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik adsorpsi pada bahan adsorben yang biasa dipakai pada instalasi pengolahan limbah untuk meningkatkan kemampuan pengolahan limbah, sehingga limbah yang dibuang tidak menjadi ancaman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya.

1.2. Identifikasi Masalah

Perkembangan industri yang pesat di Indonesia dapat menimbulkan kenaikan jumlah limbah logam berat yang dihasilkan setiap tahunnya. Dengan penanganan yang tidak tepat tentunya limbah logam berat ini merupakan bahaya yang dapat mengancam kesehatan manusia pada umumnya.

Untuk memperoleh perlakuan yang tepat dalam menanggulangi limbah logam berat diperlukan penelitian pendahuluan terhadap karakteristik bahan - bahan adsorben yang dapat menurunkan kadar logam berat dalam suatu limbah.

Arang aktif atau karbon aktif dan zeolit sebagai salah satu adsorben yang mudah ditemukan dipasaran, perlu mendapatkan pengkajian lebih lanjut terhadap kemampuan dari dua jenis adsorben ini 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 karakteristik adsorpsi karbon aktif dan zeolit terhadap ion logam berat bila ditinjau dari teori adsorpsi Freundlich dan Langmuir?
2. Bagaimana perbandingan efektifitas adsorpsi pada karbon aktif dan zeolit sebagai adsorben dalam menyerap ion logam berat Pb^{2+} ?
3. Bagaimana perancangan desain awal (*preliminary design*) bagian *contactor* pada instalasi pengolahan limbah sederhana yang dapat mengurangi kadar limbah logam berat Pb^{2+} ?

1.4. Batasan Masalah

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

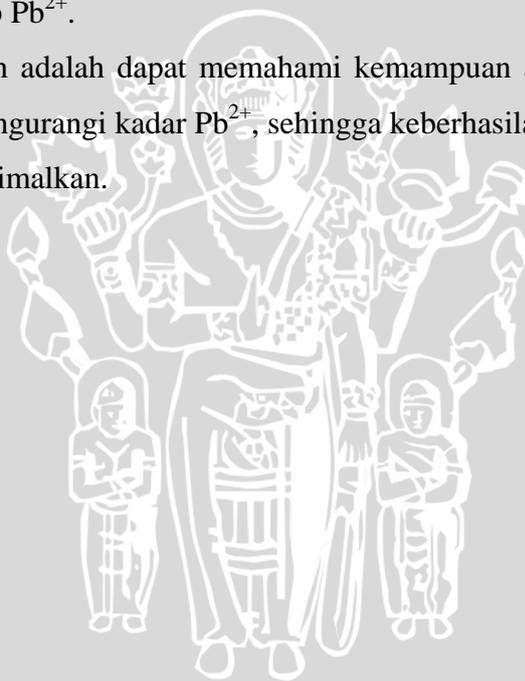
1. Hanya membahas kemampuan adsorpsi pada arang aktif dan zeolit
2. Adsorben menggunakan arang aktif dari tempurung kelapa komersial dan zeolit alam yang berasal dari Turen, Malang Selatan.
3. Menggunakan limbah buatan yang diperoleh dari mencampurkan polutan pada aquades dengan konsentrasi tertentu.
4. Polutan yang digunakan adalah Pb^{2+} dalam $Pb(NO_3)_2$.

5. Konsentrasi logam berat dalam larutan ditentukan dengan metode AAS (Atomic Adsorption Spectrofotometri).
6. Menggunakan teori adsorpsi isoteremis Langmuir dan Freundlich sebagai dasar teori adsorpsi dan penghitungannya.
7. Adsorben karbon aktif dan zeolit digunakan pada design awal *contactor* pada instalasi pengolahan limbah cair sederhana.

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dilakukannya penelitian terhadap karakteristik adsorpsi karbon aktif ini adalah untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif dan zeolit terhadap ion logam berat Pb^{2+} bila ditinjau dari teori adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Serta dapat diketahui juga perbandingan efektifitas adsorpsi antara karbon aktif dan zeolit sebagai adsorben dalam menyerap Pb^{2+} .

Manfaat penelitian adalah dapat memahami kemampuan adsorpsi pada karbon aktif dan zeolit dalam mengurangi kadar Pb^{2+} , sehingga keberhasilan 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.

Ketika air limbah terakumulasi dan tertampung di pembuangan, proses dekomposisi dari materi organik yang terkandung didalamnya akan mengakibatkan terjadinya suatu kondisi dimana air limbah tersebut dapat menjadi potensi yang membahayakan dan mengganggu lingkungan di sekitarnya termasuk manusia sebagai salah satu pihak yang dirugikan dengan terjadinya antara lain adalah proses produksi dari gas-gas yang berbau busuk.

Air limbah yang belum diolah mengandung berbagai mikro organisme yang berbahaya yang dapat hidup di dalam tubuh manusia dan mempengaruhi kesehatan manusia. Air limbah juga mengandung berbagai bahan nutrisi, yang dapat menstimulasi perkembangbiakan dari berbagai tanaman air yang dapat merusak lingkungan contohnya eceng gondok, dan juga dapat mengandung komponen beracun atau komponen yang berpotensi bersifat mutagen atau karsinogen.

Air limbah dapat didefinisikan sebagai cairan yang dibawa atau dialirkan oleh saluran air buangan, sehingga secara umum dapat dikemukakan bahwa air limbah adalah cairan yang berasal dari rumah tangga, industri dan tempat lainnya yang biasanya mengandung zat-zat yang membahayakan kehidupan dan mengganggu kelestarian lingkungan hidup.

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 pengolah air limbah serta merencanakan pemasangan saluran pembawanya. Beberapa sumber air limbah adalah (Eddy dan Metcalf, 1979) :

a. Air limbah rumah tangga

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah rekreasi.

b. Air limbah industri

Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada. Sebagai patokan dapat dipergunakan pertimbangan bahwa 85% - 95% dari jumlah air yang digunakan adalah air limbah, apabila industri tersebut tidak menggunakan air limbah maka jumlahnya akan lebih kecil lagi.

c. Air limbah rembesan dari tambahan

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun secara cepat akan mengalir masuk kedalam saluran pengering atau saluran air hujan. Apabila saluran ini tidak mampu menampung, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian akan merupakan tambahan yang sangat besar.

Karakteristik air limbah

Karakteristik air buangan sangat penting untuk diketahui guna menentukan cara pengolahan yang tepat, terbaik dan efektif. Berikut ini akan dijelaskan beberapa macam karakteristik air buangan (Eddy dan Metcalf, 1979), yaitu:

1. Karakteristik Fisik

a. Warna

Berdasarkan sifat-sifat penyebabnya, warna dalam air dibagi menjadi 2 jenis, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna sejati disebabkan oleh koloida-koloida organik atau zat-zat terlarut. Sedang warna semu disebabkan oleh suspensi partikel-partikel penyebab kekeruhan. Warna juga merupakan ciri kualitatif untuk mengkaji kondisi umum air limbah. Jika coklat, umur air kurang dari 6 jam. Warna abu-abu muda sampai abu-abu setengah tua tandanya air sedang mengalami pembusukan oleh bakteri. Jika abu-abu tua hingga berarti sudah busuk akibat bakteri. Air yang berwarna dalam batas tertentu akan mengurangi segi estetika dan tidak dapat diterima oleh masyarakat.

b. Bau dan rasa

Air yang memenuhi standar kesehatan harus terbebas dari bau yang biasanya disebabkan oleh bahan organik yang membusuk selain itu juga bau timbul karena

adanya aktifitas mikroorganisme yang menguraikan zat organik atau reaksi kimia yang terjadi dan menghasilkan gas tertentu. Bau biasanya timbul pada limbah yang sudah lama, tetapi juga ada yang muncul pada limbah baru. Hal ini dikarenakan sumber pencemar yang berbeda.

c. Suhu

Suhu dari air limbah sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi kimia dan tata kehidupan dalam air. Pembusukan terjadi pada suhu tinggi serta tingkat oksidasi yang juga lebih besar. Pengukuran suhu penting karena pada umumnya instalasi pengolah air limbah meliputi proses biologis yang bergantung suhu.

d. Kekeruhan

Air dikatakan keruh jika air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna atau rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini antara lain yaitu: tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik dan partikel-partikel kecil yang tersuspensi lainnya. Kekeruhan biasanya disebabkan karena butiran halus yang melayang.

2. Karakteristik Kimia

Air yang mengandung bahan kimia yang berbahaya dapat merugikan kehidupan manusia, hewan dan binatang. Bahan organik terlarut dapat menghasilkan oksigen dalam air serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada air. Selain itu akan lebih berbahaya apabila bahan terlarut merupakan bahan beracun. Bahan kimia yang penting dan berada dalam air pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sugiharto, 1987 : 23) :

a. Senyawa Organik

Kira-kira 75% *suspended soil* dan 40% *filterable solid* dalam air buangan merupakan senyawa-senyawa organik. Senyawa organik tersebut berasal dari kombinasi karbon, hidrogen, dan oksigen serta nitrogen dalam berbagai senyawa. Urea sebagai kandungan bahan terbanyak, didalam urin merupakan bagian lain yang penting dalam bahan organik, sebab bahan ini diuraikan secara cepat dan jarang didapati urea yang tidak terurai berada di dalam air limbah. Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Sugiharto, 1987 : 25).

Tabel 2.1. Kandungan Senyawa Organik Dalam Air Buangan

Senyawa Organik	Persentase
Protein	40% - 60%
Karbohidrat	25% - 50%
Lemak dan Minyak	10%

Sumber : Sugiharto, 1987

b. Senyawa Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami adalah sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum. Jumlah kandungan bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologi dari asal air limbah berasal. Secara umum bahan anorganik yang ada dalam air terbagi dalam tiga macam yaitu: bahan butiran, bahan garam-garam mineral dan bahan metal.

Selain itu akan lebih berbahaya apabila bahan kimia tersebut merupakan bahan yang beracun. Bahan kimia yang penting yang ada di dalam air pada umumnya meliputi bahan organik, kandungan gas klorida, sulfur, deterjen, logam berat dan nitrogen.

3. Karakteristik Biologis

Baik tidaknya kualitas air secara biologis ditentukan oleh jumlah mikroorganisme patogen dan nonpatogen. Mikroorganisme patogen bisa berwujud bakteri, virus atau spora pembawa bibit penyakit. Sebaliknya yang nonpatogen, meskipun relatif tidak berbahaya bagi kesehatan, kehadirannya akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak enak. Pemeriksaan biologis di dalam air bertujuan untuk mengetahui apakah ada mikroorganisme patogen berada di dalam air.

Kelompok mikroorganisme terpenting dalam air buangan ada tiga macam, yaitu kelompok protista, tumbuh-tumbuhan, dan kelompok hewan. Kelompok protista terdiri dari protozoa, sedangkan kelompok tumbuh-tumbuhan terdiri dari paku-pakuan dan lumut. Bakteri berperan penting dalam air buangan, terutama pada proses biologis. Sedangkan protozoa dalam air buangan berfungsi untuk mengontrol semua bakteri sehingga terjadi keseimbangan. Alga sebagai penghasil oksigen pada proses fotosintesis juga dapat menimbulkan gangguan pada permukaan air karena kondisinya yang menguntungkan (sampai kedalaman 1 meter di bawah permukaan air) sehingga dapat tumbuh dengan cepat dan menutupi permukaan air, sehingga sinar matahari tidak mampu menembus permukaan air.

Sifat- sifat fisik, kimia, biologis air limbah serta sumber asalnya ditunjukkan

pada Tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 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

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

- 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.

1. 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.

2. Klorinasi

Klorinasi digunakan untuk mengurangi bakteri yang bersifat pathogen. 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*)

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 2.3 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 fosfor.
- 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, teknik pertukaran ion (*ion-exchange*), teknik nano filtrasi (*reverse osmosis*), teknik elektrodialisis, teknik sorpsi dan banyak yang lainnya. Dalam skripsi ini membahas pengurangan konsentrasi kontaminan dengan

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

- Menghantarkan listrik,
- Mempunyai konduktivitas terhadap panas (termal) 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 tanah air mempunyai potensi yang sangat tinggi sebagai sumber polutan yang berbahaya.

Logam berat, seringkali didefinisikan sebagai logam yang dalam deret berkala unsur-unsur terletak antara Sc (Scandium, nomor atom 21) dengan Po (Polonium, nomor atom 84). Walaupun demikian, aluminium (nomor atom 13) dan metalloid seperti arsen dan selenium juga seringkali dimasukkan dalam kategori logam berat (Schnoor, 1996). Sedangkan Watts (1997) mendefinisikan logam berat sebagai logam yang mempunyai nomor atom lebih besar dari besi (Fe), dan mempunyai densitas lebih dari 5 g/cm^3 . Logam berat menjadi perhatian, karena sifat racun (toksisitas) dan sifat konservatif yang dimilikinya. Meskipun ada 65 unsur logam dalam tabel perioda unsur-unsur, tetapi hanya kurang lebih 30 yang digunakan dalam industri .

Tabel 2.4 dapat menunjukkan kontaminan logam yang umum dijumpai di

lingkungan dan sumber kegiatan penghasilnya.

Tabel 2.4. 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 optik
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 (Hoesein 1984 : 81)

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.

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 ataupun 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 (1 gram karbon aktif umumnya 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.

2.5 Karakteristik Zeolit

Zeolit pertama kali ditemukan oleh Baron Axel Frederice Cronsted, kata zeolit berasal dari kata bahasa Yunani yaitu “Zein” berarti mendidih dan “Lithos” berarti batuan (Othmer dan Kirk, 1982, dalam Vivi F. R, 2003). (Menurut Suyartono, 1992, dalam Vivi F. R, 2003) zeolit merupakan mineral bumi yang keberadaannya di Indonesia sangat melimpah, zeolit mempunyai komponen utama silika alumina, banyak digunakan sebagai katalisator, penyerap bahan, penyaring molekul serta penukar anion.

Zeolit adalah kristal alumina silikat dengan struktur tiga dimensi, mempunyai rongga-rongga berisi ion logam berupa alkali atau alkali tanah serta molekul air yang dapat bergerak bebas berhidrasi secara reversibel serta susunan atom yang dapat dimodifikasi (Prayitno, 1989, dalam Vivi F. R, 2003). Zeolit aluminosilikat dapat

dirumuskan secara empiris sebagai berikut :

$M_{2/n} \cdot x Al_2O_3 \cdot ySiO_3 \cdot wH_2O$ (Othmer dan Kirk, 1982, dalam Vivi F. R, 2003)

Dimana n adalah valensi dari kation M, w adalah jumlah molekul air per unit sel, x dan y adalah nomor total dari tetrahedral per unit sel.

2.5.1. Jenis – jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi 2 kelompok yaitu :

A. Zeolit alam

Mineral zeolit alam telah diketahui terdistribusi tidak merata di alam, tetapi komposisi kimia mineral zeolit ada kaitannya dengan jenis bahan pembentuknya. Untuk batuan basa dan sangat basa, mineral zeolit yang mempunyai rasio Si /Al rendah seperti gismondin, tomsonit, faujasit dan lain-lain, sedang pada batuan yang berasam, mineral zeolit yang terbentuk mempunyai kandungan Si yang tinggi seperti modernit, klinoptilolit, ferienit dan lain-lain (Tsitsishvili et al, 1982, dalam Wahyudi N.L, 2001)

Pada umumnya mineral zeolit alam ditemukan dalam bentuk sedimen. Zeolit dari hasil penambangan mempunyai jenis dan komposisi yang beraneka ragam tergantung lokasinya, disamping itu biasanya berada dalam keadaan kurang aktif. Menurut asal kejadiannya hanya terdapat tiga macam zeolit alam, yaitu zeolit yang berasal dari batuan vulkanis, batuan metamorfosa dan batuan sedimen. Dari beberapa lokasi di Indonesia yang pernah diteliti diketahui endapan zeolit yang baik, yaitu di Cikalong dan Malang selatan dengan kandungan zeolit 55 – 85 % dan nilai KTK (kapasitas tukar kation)-nya antara 115 - 117 meq/100gr (Suyartono, 1991, dalam Wahyudi N.L, 2001).

Penelitian tentang zeolit oleh Pusat Pengembangan Teknologi Mineral (PPTM) yang ada di Indonesia umumnya jenis modernite dengan kemurnian mencapai sekitar 80 % berat. Pengotor yang ada dalam zeolit alam berupa kuarsa, feldspar, bentonit dan lain-lainnya (Poerwadi, 1996, dalam Wahyudi N.L, 2001).

B. Zeolit sintesis

Umumnya disintesis dari sumber silika dan alumina tak homogen yang digabungkan dengan air pada pH tinggi dan kondisi sedang. Untuk lebih meningkatkan mutu dapat dilakukan dengan mengatur perbandingan ($SiO_3 : Al_2O_3$), variabel reaksi (waktu, konsentrasi, temperatur dan tekanan), serta mengendalikan mekanisme dan kinetika reaksi sintesis (Dyer, 1989). Secara lebih khusus zeolit sintesis dibagi menjadi 3 jenis yang sangat tergantung dari jumlah komponen Aluminium dan Silika yaitu :

1. Zeolit sintetis dengan kadar Silika rendah.

Zeolit jenis ini banyak mengandung Aluminium, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif dalam pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas yang besar. Volume porinya dapat mencapai $0.5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ volume zeolit. Kadar maksimum Aluminium dicapai jika perbandingan Al / Si mendekati 1 dan keadaan ini mengakibatkan daya pertukaran ion yang maksimum.

2. Zeolit sintetis dengan Kadar Silika sedang.

Kerangka tetrahedral Al dari zeolit tidak stabil terhadap pengaruh asam dan panas. Jenis zeolit modernit mempunyai perbandingan Si / Al = 5 sangat stabil. Contoh zeolit jenis ini adalah zeolit omega, sedangkan zeolit alam tipe modernit, krionit dan kniptotilotit.

3. Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

Perbandingan Si/AL = 10 – 100 sehingga sifat permukaan tidak dapat diperkirakan lebih awal. Sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini adalah *Zeolite Socony Mobil* (ZSM-5), ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

2.5.2. Sifat- sifat Zeolit

Sifat-sifat zeolit meliputi (Sutarti, 1991, dalam Wahyudi N.L, 2001)

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit alam berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi.

2. Adsorpsi

Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran kepolarannya. Selektivitas adsorpsi zeolit terhadap ukuran molekul tertentu dapat disesuaikan dengan jalan permukaan kation, dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan perubahan perbandingan antara kadar Si dan Al.

3. Katalis

Bila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalisis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara kristal, dengan demikian dimensi serta lokasi saluran sangat penting, reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut, zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum. Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi keseimbangan reaksi, karena mampu menaikkan perbedaan

lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori yang sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk, selektivitas seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat pada substansi zeolit di alam.

4. Penukaran ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalisis. Zeolit sebagai *molecular sieve* mempunyai struktur kristalin porous sehingga mampu berfungsi sebagai penukar ion, karena perbedaan muatan Al(+3) dan Si(+4) menjadikan atom Al dalam kerangka kristal bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral. Kation penetral yang bukan menjadi bagian kerangka ini mudah digantikan dengan kation lain, biasanya kation ini berasal dari golongan alkali atau alkali tanah.

Meskipun banyak media berpori yang biasa digunakan sebagai penyerap atau pemisah campuran uap atau cairan, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup selektif seperti halnya penyaring molekul (zeolit) yang mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang akan disaring. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2 Å s/d 8 Å tergantung dari jenis zeolit).

2.5.3. Aktivasi Zeolit

Kualitas zeolit dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Aktivasi dapat dilakukan dengan cara (Suyartono, 1991) yaitu :

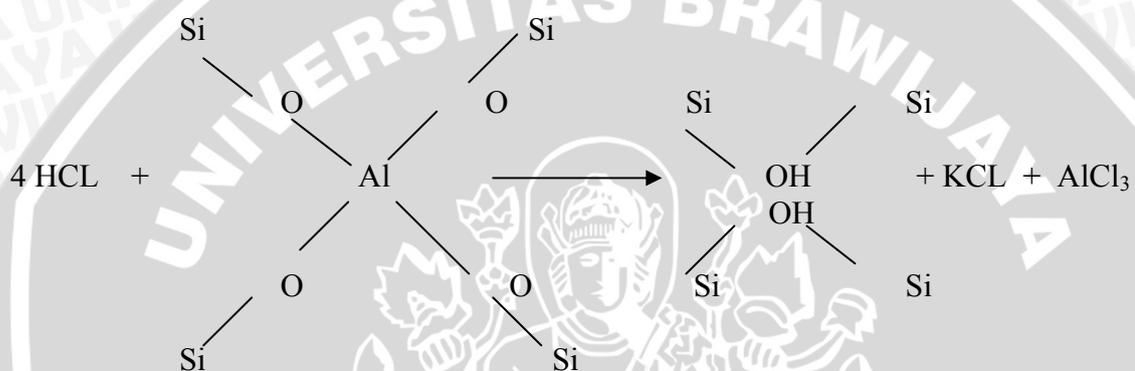
a. Aktivasi pemanasan

Pengaktifan dengan pemanasan merupakan proses dehidrasi untuk melepaskan molekul air yang ada pada zeolit, yang nantinya akan digunakan oleh ion yang diadsorpsi, setelah dehidrasi, kation-kation saluran menjadi tidak terlindungi sehingga medan listrik diperluas sampai ke dalam rongga utama dan mengakibatkan interaksi yang lebih efektif dengan ion teradsorpsi, jadi dehidrasi dimaksudkan untuk mempertinggi keaktifan zeolit dalam penggunaannya sebagai penukar ion.

b. Aktivasi dengan penambahan zat kimia

Reagen kimia yang dapat dipergunakan untuk proses aktifasi zeolit alam adalah

larutan asam dan basa. Tujuan aktivasi kimia adalah membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Aktivasi zeolit dengan asam (seperti zeolit) dengan konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi maupun kapasitas tukar kation Na^+ , K^+ , dan Ca^+ yang keluar dari zeolit. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya jumlah ion H^+ yang masuk ke dalam struktur zeolit menggantikan logam alkali atau alkali tanah sehingga zeolit menjadi bertipe-H. Penggunaan HCL untuk proses aktivasi tidak akan merusak struktur dasar model zeolit. Kepekatan HCL menyebabkan proses dealuminasi (pengurangan kandungan senyawa Al) yang dapat mengubah struktur dasar zeolit. Peristiwa dealuminasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Peristiwa dealuminasi zeolit

Zeolit bertipe-H mempunyai daya adsorpsi maupun kapasitas tukar ion lebih besar dibandingkan zeolit tipe-Na atau zeolit-Ca (Poerwadi, 1995, dalam Wahyudi N.L, 2001).

Aktivasi dengan penambahan larutan basa akan menyebabkan naiknya kandungan Na dalam mineral zeolit, karena logam alkali atau alkali tanah yang terdapat dalam zeolit akan tertukar oleh ion Na (Sampurno, 1996, dalam Wahyudi N.L, 2001).

2.5.4. Zeolit sebagai Penukar Ion

Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam yang sudah diaktifkan, dengan komposisi terbesar adalah silika (SiO_2) 69,59 %, alumina (Al_2O_3) 7,47 %, (CaO) 3,74 %, (Na_2O) 4,57 %, (K_2O) 1,71 %, (Fe_2O_3) 5,99 %, (MgO) 1,77 %, (MnO_2) 0,02 % dan nilai kapasitas tukar ion (KTK) sebesar 120.

Kerangka zeolit yang berstatus negatif, akan mengikat kation untuk menetralkan muatannya. Muatan kation tersebut dipertukarkan dengan kation lain sehingga zeolit berpotensi sebagai penukar kation (Barrer, 1982, dalam Vivi F. R, 2003), menurut Barrer (1982) substitusi senyawa pada zeolit harus mempunyai kemiripan struktur

molekul SiO_4^{-4} berbentuk tetrahedral pada kerangka zeolit dimungkinkan dapat disubstitusikan oleh molekul yang sama yang mempunyai tetrahedral misalnya PO_4^{-3} , setelah tersubstitusi akan terbentuk Siliko aluminofosfat dengan rumus molekul sebagai berikut :



apabila $x > y$ akan mempunyai muatan total negatif pada kerangka, jika $x < y$ mempunyai muatan positif pada kerangka. Zeolit dapat dinetralkan oleh anion OH^- , Cl^- dan F^- sehingga dapat dipakai sebagai penukar anion (Barner, 1982). Sebagai penukar ion, ion-ion berongga dalam struktur zeolit berguna untuk menjaga kenetralan (Smart dan Moore, 1992, dalam Vivi F. R, 2003). Menurut Anwar, dkk (1988) pertukaran ion dipengaruhi oleh ukuran, muatan anion dan kation dari zeolit, larutan yang mempertukarkan, temperatur, waktu konstan dan kecepatan difusi.

2.5.5. Fungsi Zeolit dalam Penyaringan

Zeolit alam akan menyerap dan menahan secara kuat molekul yang tepat cukup masuk ke rongga, zeolit tidak akan menyerap molekul yang terlalu besar masuk kedalam rongga dan tidak akan menyerap molekul lemah yang sangat kecil atau atom-atom yang dapat masuk akan tetapi mudah terlepas kembali (Cotton, 1989, dalam Vivi F. R, 2003)

Reaksi yang terjadi pada proses pertukaran ion antara ion cuplikan dan counter ion pada permukaan zeolit sebagai fasa diam dapat dituliskan sebagai berikut dengan Z^- sebagai zeolit :

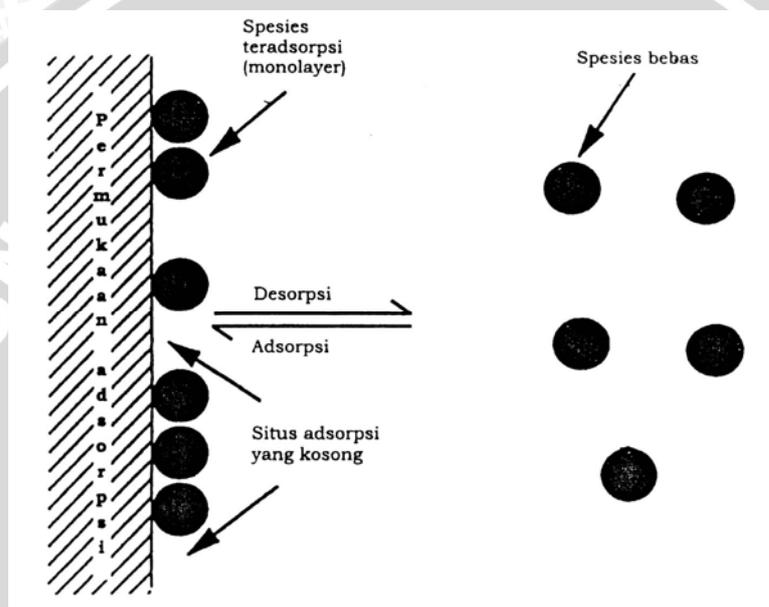
Penentuan kapasitas zeolit sebagai penukar kation



2.6. 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 tanah dengan medium, yaitu larutan tanah (*soil solution*), atau fasa gas. 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.

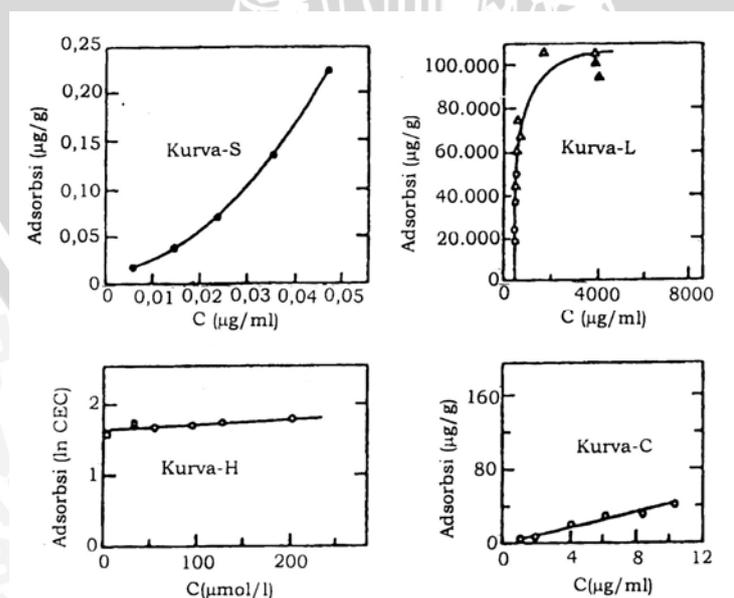
Proses **sorpsi** pada dasarnya merupakan suatu fenomena yang kompleks, di

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 :

2. Bentuk kurva S,
3. Bentuk kurva L,
4. Bentuk kurva H, dan
5. 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.



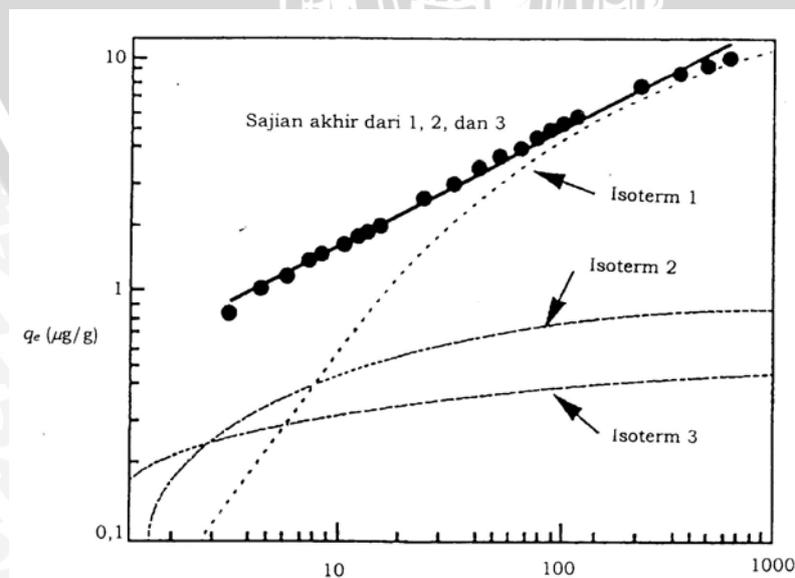
Gambar 2.3. Ragam bentuk kurva isoterm sorpsi. Sumber : Giles (1960)

Fenomena sorpsi ini digambarkan melalui suatu hubungan antara jumlah zat terlarut yang diserap (sorbat) 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.

2.6.1 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.

Persamaan matematis dari isoterm Freundlich adalah sebagai berikut :

$$S = K_f C_e^n \quad (2-6)$$

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 :

$$\log S = \log K_f + n \log C \quad (2-7)$$

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 isotherm yang berlaku umum.

2.6.2 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 $q_m = \Gamma_{maks}$. Persamaan Langmuir untuk adsorpsi sorbat dalam bentuk larutan adalah sebagai berikut :

$$S = q_m K_{ads} C_e / (1 + K_{ads} C_e) \quad (2-8)$$

atau dalam bentuk liniernya sebagai berikut :

$$1/S = 1/q_m + 1/(K_{ads}q_m)(1/C_e) = 1/q_m[1 + (1/K_{ads})(1/C_e)] \quad (2-9)$$

$$C_e/S = [1/q_m K_{ads}] + C_e/q_m \quad (2-10)$$

$$S = q_m - S / (K_{ads}C_e) \quad (2-11)$$

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⁻¹L, atau mg⁻¹L,

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 :

$$S = q_m \quad (2-12)$$

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 :

$$K_{ads} = \beta_{ah} \exp(-dH_a / RT) \text{ atau dalam bentuk liniernya} \quad (2-13)$$

$$\ln(K_{ads}) = \ln\beta_{ah} - dH_a / (RT) \quad (2-14)$$

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 :

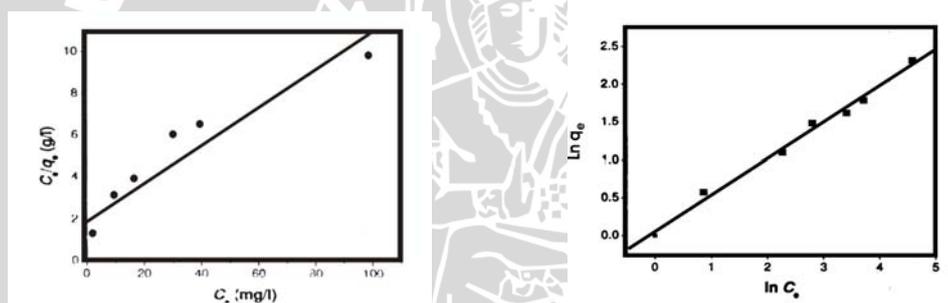
$$K_{ads} = 1/C_e \text{ pada } S = 0,5q_m. \quad (2-15)$$

2.6.3 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 isothermis 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 2.5. Grafik C_e vs C_e/Q_e dan grafik $\ln C_e$ vs $\ln Q_e$.

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.

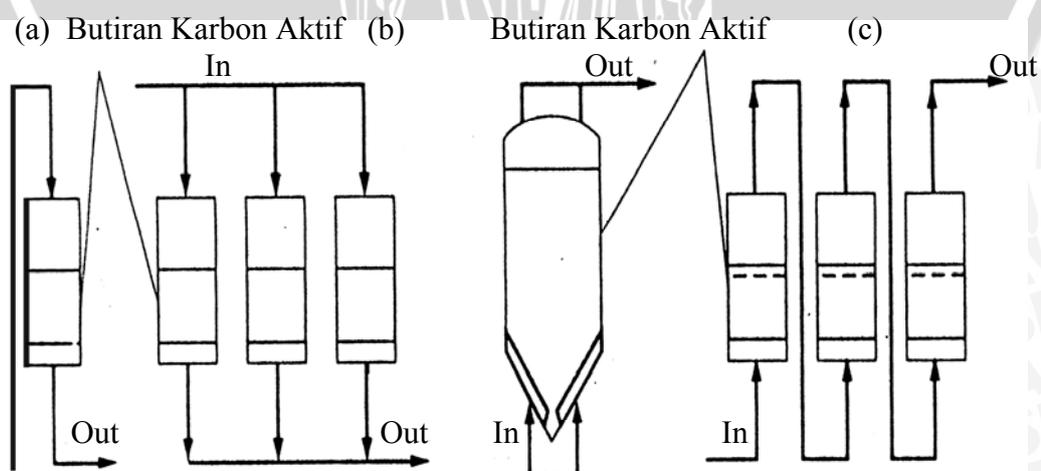
2.7 Instalasi Pengolahan Air dengan Menggunakan Adsorben

Instalasi pengolahan air dengan menggunakan adsorben pada dasarnya adalah melewati cairan yaitu limbah/polutan yang ingin diturunkan kadar logam beratnya melewati suatu adsorben yang sudah ditentukan dalam suatu *contactor*. 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 atau seri untuk tempat lewatnya limbah yang akan diturunkan kadarnya (Gambar 2.7).

2.7.1. Kontakor 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. Sebuah kontakor karbon aktif tipe butiran ditunjukkan pada Gambar 2.8. Adsorben dengan butiran ukuran sedang sering digunakan pada hulu dari kontakor 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.

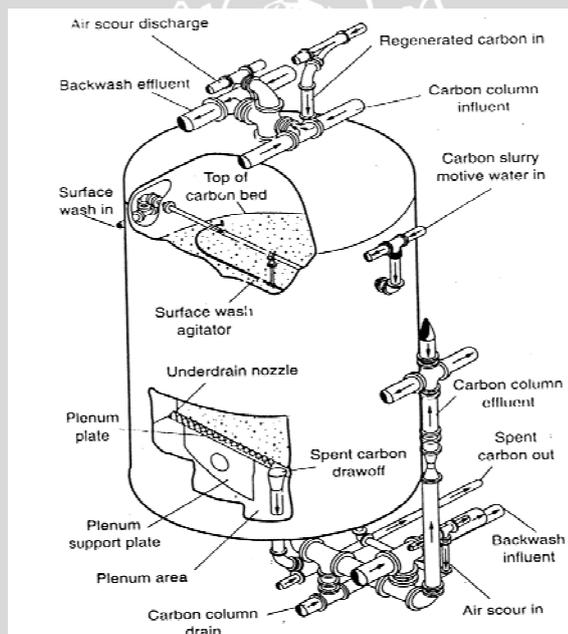
Keuntungan dari desain kontakor yang bertipe gravitasi adalah adsorpsi dari bahan organik dan filtrasi dari endapan padat dilakukan dalam satu tahap saja. Meskipun kontakor dasar tetap dengan tipe aliran naik telah digunakan, kontakor tipe gravitasi (aliran ke bawah) secara umum lebih banyak digunakan untuk mengurangi kemungkinan dari akumulasi partikel material pada bagian bawah kontakor, 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 kontakor karbon aktif.



Gambar 2.6. Kontakor karbon yang disusun secara (a)tunggal, (b)seri, dan (c)paralel
Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979

2.7.2. 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*). Pada sistem ini, aliran masuk dilewatkan pada dasar dari kolom dan karbon aktif diperbolehkan untuk mengembang, sebesar perkembangan dari filter dasar selama penggelontoran. Ketika kapasitas adsorpsi dari karbon aktif pada dasar dari kolom telah habis, karbon pada bagian dasar dipindahkan dari kontaktor, dan karbon aktif baru yang sama jumlahnya diletakkan pada bagian atas dari kolom. Pada sistem seperti 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 aliran akhirnya 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.



Gambar 2.7. Kontaktor karbon aktif Sumber: Eddy dan Metcalf, 1979

2.7.3. 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 2.5. Nilai desain kontaktor

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Laju aliran volumetrik	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
<i>Empty-bed Contact Time (EBCT)</i>	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

$$0 = QC_o t - QC_e t - m_{GAC} q_e \quad (2-16)$$

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

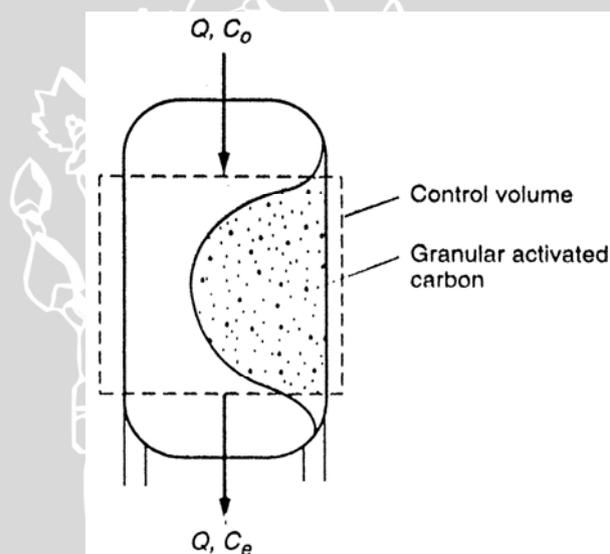
m_{GAC} = massa dari adsorben, g

q_e = konsentrasi adsorben setelah kondisi ekulibrium, mg/g

Tabel 2.6. 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 2.8. Sketsa analisis adsorpsi karbon aktif Sumber : Eddy dan Metcalf, 1979

Kadar penggunaan karbon aktif secara umum dapat dirumuskan sebagai:

$$\frac{m_{GAC}}{Q_t} = \frac{C_o - C_e}{q_e} \quad (2-17)$$

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:

$$\frac{m_{GAC}}{Q_t} \approx \frac{C_o}{q_e} \quad (2-18)$$

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

1. *Empty-bed contact time* (EBCT)

$$EBCT = \frac{V_b}{Q} = \frac{A_b D}{v_f A_b} = \frac{D}{v_f} \quad (2-19)$$

Dimana EBCT = *Empty-bed contact time*, jam

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

Q = laju aliran volumetrik, 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

$$\rho_{GAC} = \frac{m_{GAC}}{V_b} \quad (2-20)$$

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 :

$$\text{Aliran keluar spesifik, } m^3/g = \frac{Qt}{m_{GAC}} = \frac{V_b t}{EBCT \times m_{GAC}} \quad (2-21)$$

atau dapat juga dituliskan sebagai :

$$\text{Aliran keluar spesifik} = \frac{V_b t}{EBCT(\rho_{GAC} \times V_b)} = \frac{t}{EBCT \rho_{GAC}} \quad (2-22)$$

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

$$CUR, g/m^3 = \frac{m_{GAC}}{Qt} = \frac{1}{sp} \quad (2-23)$$

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

$$\text{Volume air yang diolah, } L = \frac{\text{Massa dari GAC untuk EBCT tertentu}}{\text{Kadar penggunaan GAC}} \quad (2-24)$$

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

$$\text{Umur dari karbon aktif, } d = \frac{\text{Volume dari air yang diolah untuk EBCT tertentu}}{Q} \quad (2-25)$$

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

Data-data awal yang diketahui :

1. *Contactor* dengan dasar tetap (*fixed-bed*)
2. Debit, $Q = 1000 \text{ L/min}$
3. Konsentrasi awal, $C_o = 1 \text{ mg/L}$
4. Konsentrasi akhir, $C_e = 0,005 \text{ mg/L}$
5. Massa jenis GAC = 450 g/L
6. Polutan = trichloroethylene (TCE)
7. Faktor kapasitas Freundlich, $K_f = 28 \text{ (mg/g)(L/mg)}^{1/n}$
8. Parameter intensitas Freundlich, $1/n = 0,62$
9. EBCT = 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 :

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

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

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

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

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

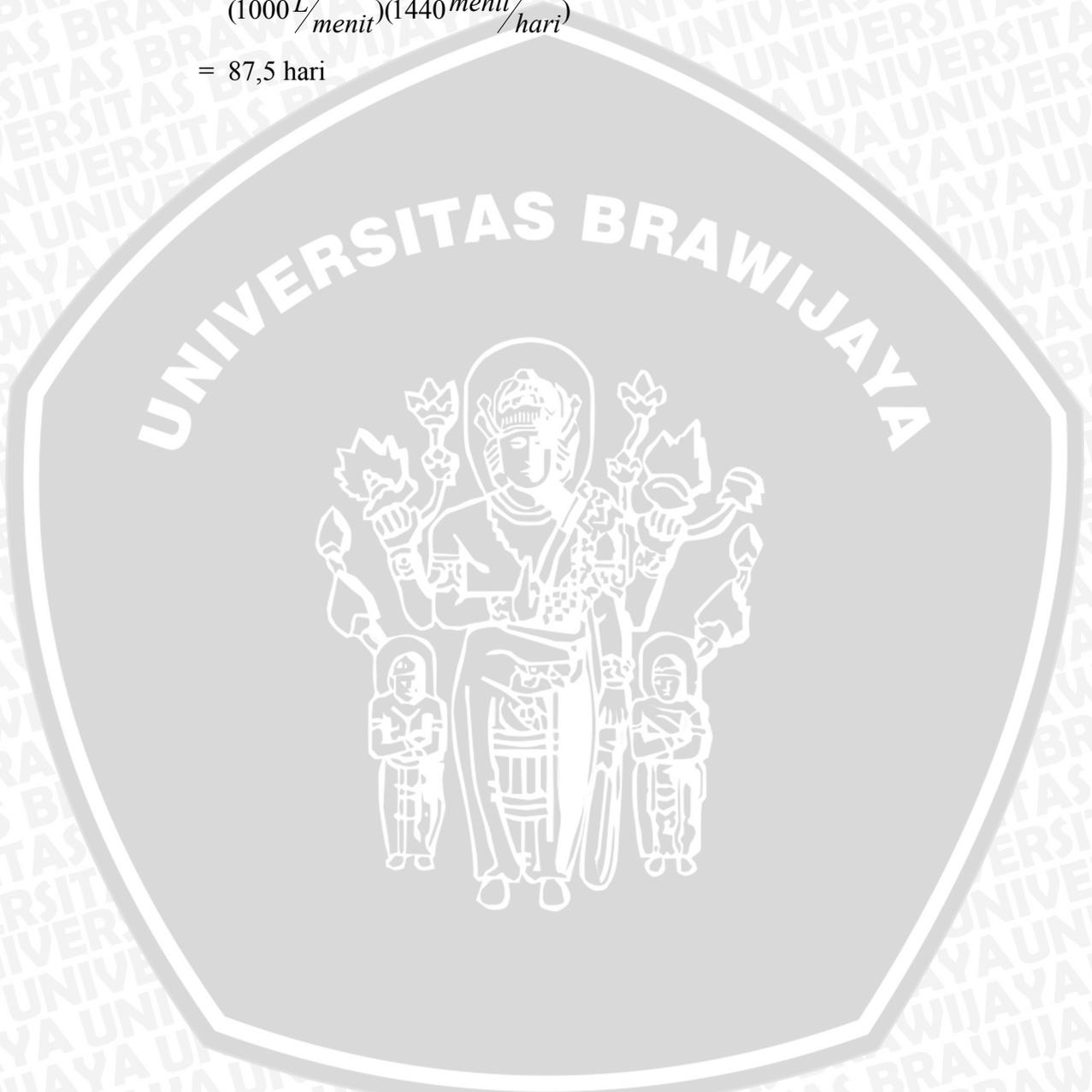
Volume air yang dapat diolah

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

$$= 1,26 \times 10^8 \text{ L}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Bed life} &= \frac{\text{volume dari air yang dapat diolah untuk EBCT tertentu}}{Q} \\ &= \frac{1,26 \times 10^8 \text{ L}}{(1000 \text{ L/menit})(1440 \text{ menit/hari})} \\ &= 87,5 \text{ hari} \end{aligned}$$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Persiapan Bahan Adsorbent, Sampel dan Peralatan Pengujian

Persiapan bahan adsorbent dilakukan di Laboratorium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Bahan adsorbent karbon aktif dibeli di toko kimia. Peralatan yang dipakai pada persiapan bahan adsorbent ini adalah ayakan 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 $Pb(NO_3)_2$ 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 $Pb(NO_3)_2$
 - 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 adsorben karbon aktif dan zeolit lolos ayakan 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 adsorbent menggunakan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dan zeolit alam. 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 dan zeolit.

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 adsorbent

Persiapan bahan adsorbent karbon aktif dan zeolit dilakukan di Laboraturium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya, adalah :

- i. Bahan adsorbent yaitu karbon aktif dari tempurung kelapa dan zeolit dicuci dan dibersihkan.
- ii. Adsorben kemudian dikeringkan dengan cara dioven selama 24 jam.
- iii. Adsorben kemudian diayak dengan ayakan no.20.
- iv. Adsorben kemudian ditimbang per 10 gr dan 30 gr masing-masing 6 bungkus.

- Persiapan bahan polutan

Persiapan polutan buatan dengan 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 :

- i. Beker Glass 1
 $1 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 2 \text{ ml} \quad + 1 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$
- ii. Beker Glass 2
 $5 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 10 \text{ ml} \quad + 5 \text{ ml} \rightarrow 5 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$
- iii. Beker Glass 3
 $10 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 20 \text{ ml} \quad + 10 \text{ ml} \rightarrow 10 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$
- iv. Beker Glass 4
 $50 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 100 \text{ ml} \quad + 50 \text{ ml} \rightarrow 50 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$
- v. Beker Glass 5
 $100 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 200 \text{ ml} \quad + 100 \text{ ml} \rightarrow 100 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$
- vi. Beker Glass 6
 $300 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ ml} = 500 \cdot X$
 $X = 600 \text{ ml} \quad + 300 \text{ ml} \rightarrow 300 \text{ ppm} / 1500 \text{ ml}$

Setiap konsentrasi tersebut dilarutkan dalam larutan aquades 200 ml.

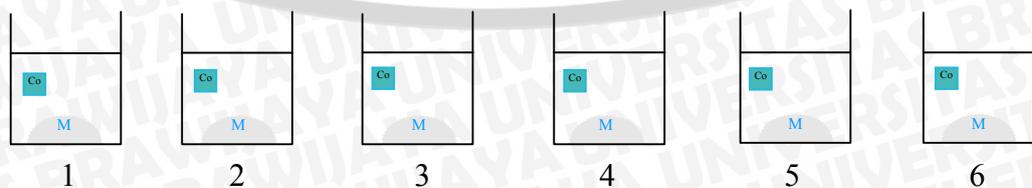
3. Melakukan uji variasi adsorbent karbon aktif dan zeolit.

- Adsorbent A yaitu karbon aktif yang lolos ayakan no. 20 (\emptyset 0.850 mm).
- Adsorbent B yaitu zeolit yang lolos ayakan no. 20 (\emptyset 0.850 mm).

Tiap 10 gr dan 30 gr adsorbent karbon aktif dengan variasi gradasi di atas dicampurkan pada variasi konsentrasi $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dalam larutan aquades.

4. Melakukan Batch Adsorption Test.

- Persiapan Sampel dan Penambahan Bahan Adsorbent



Keterangan :

Volume larutan = 200 ml

M_1 (adsorbent) = 10 gr

M_2 (adsorbent) = 30 gr

Adsorbent yang dipakai adalah karbon aktif dan zeolit mesh 20.

Konsentrasi Polutan $Pb(NO_3)_2$ pada :

- Beker Glass 1 : 1 mg/l
 - Beker Glass 2 : 5 mg/l
 - Beker Glass 3 : 10 mg/l
 - Beker Glass 4 : 50 mg/l
 - Beker Glass 5 : 100 mg/l
 - Beker Glass 6 : 300 mg/l
- Keenam sampel pada beker glass diaduk dengan alat shaker dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam.
 - Sampel kemudian didiamkan selama 20 jam.
 - Sampel disaring dengan kertas saring Whatman 110 mm.
 - Sampel diputar pada alat sentrifuge agar sampel benar-benar bersih dari bekas adsorbent.
 - 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 :

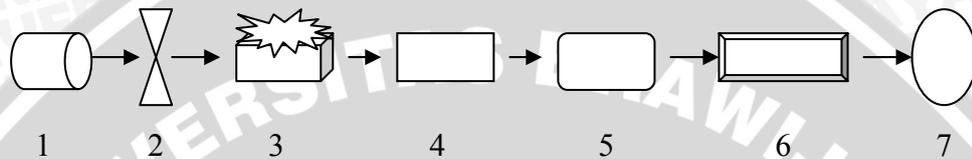
Metode Atomic Adsorption Spectrophotometry

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 3.1. Seperangkat Alat Atomic Adsorption Spectrophotometry.

(Skoog, 1985)

Keterangan :

1. Sumber sinar
2. Pemilah (chooper)
3. Nyala
4. Monokromator
5. Detektor
6. Amplifire
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.

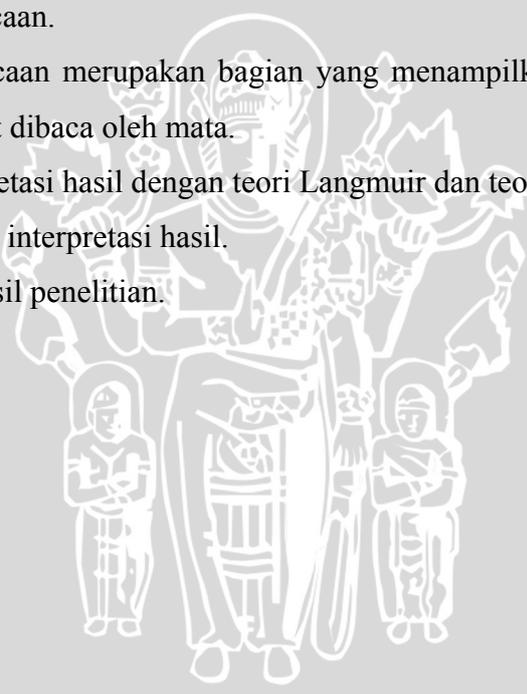
e) Sistem Pengolahan.

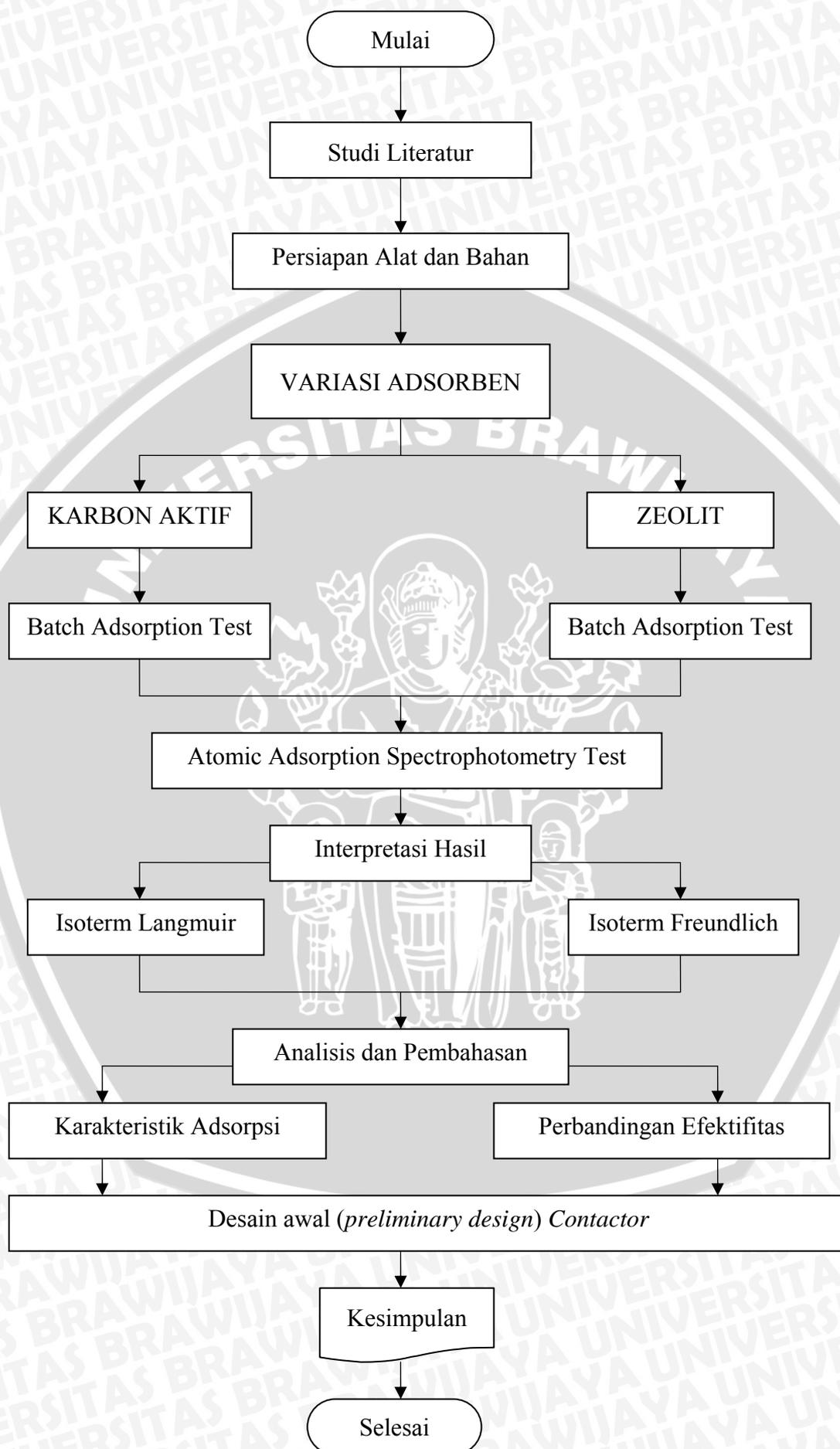
Sistem pengolahan berfungsi untuk mengolah kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah menjadi data dalam sistem pembacaan.

f) Sistem Pembacaan.

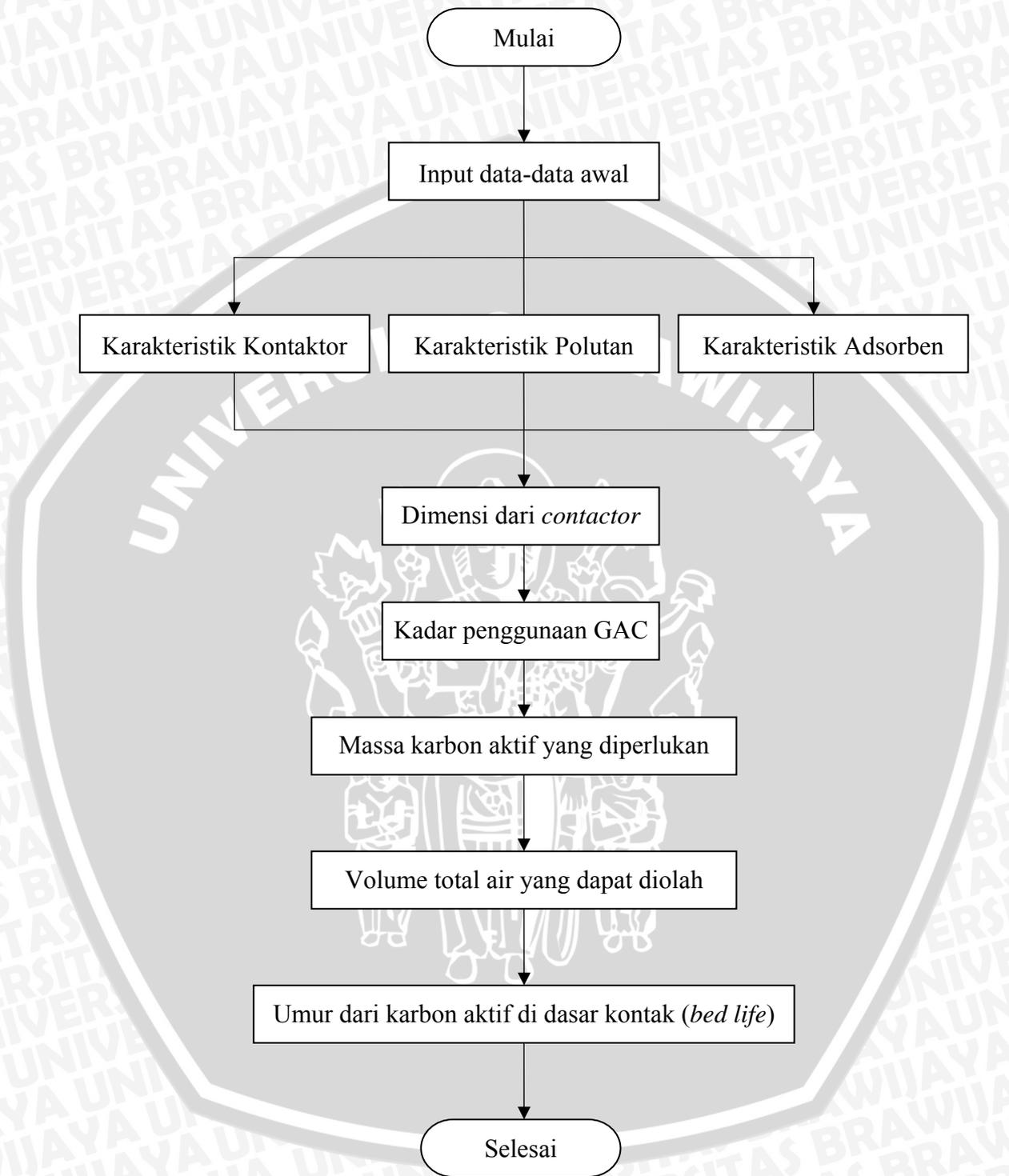
Sistem pembacaan merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca oleh mata.

6. Melakukan interpretasi hasil dengan teori Langmuir dan teori Freundlich.
7. Melakukan analisa interpretasi hasil.
8. Menyimpulkan hasil penelitian.





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Desain awal (*preliminary design*) *Contactor*

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Sampel Polutan

Sampel polutan Pb digunakan untuk meneliti pengaruh gradasi butiran karbon aktif sebagai adsorben dalam menurunkan kadar ion logam berat Pb^{2+} . Menggunakan sampel buatan dengan enam variasi konsentrasi Pb^{2+} dalam larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan penambahan adsorben karbon aktif dan zeolit dengan gradasi butiran lolos ayakan no.20, dengan harapan akan mendapatkan pola penurunan polutan yang ada. Variasi jumlah adsorben 10 gram dan 30 gram untuk lebih mengetahui efektivitas adsorpsi karbon aktif dalam menurunkan kadar ion logam berat Pb^{2+} .

Adapun beberapa konsentrasi polutan yang telah ditetapkan dan telah ditambahkan adsorben kedalam larutan tersebut, didiamkan selama 24 jam dengan harapan telah terjadi keseimbangan (*equilibrium*) dan kondisi ini terjadi pada suhu kamar dengan skala laboratorium sebesar $25^\circ C$. Sampel setelah terjadi keseimbangan kemudian ditentukan besar konsentrasinya saat keseimbangan tersebut dengan tes Atomic Adsorption Spectrophotometry.

4.1.1 Adsorbansi Larutan Pb

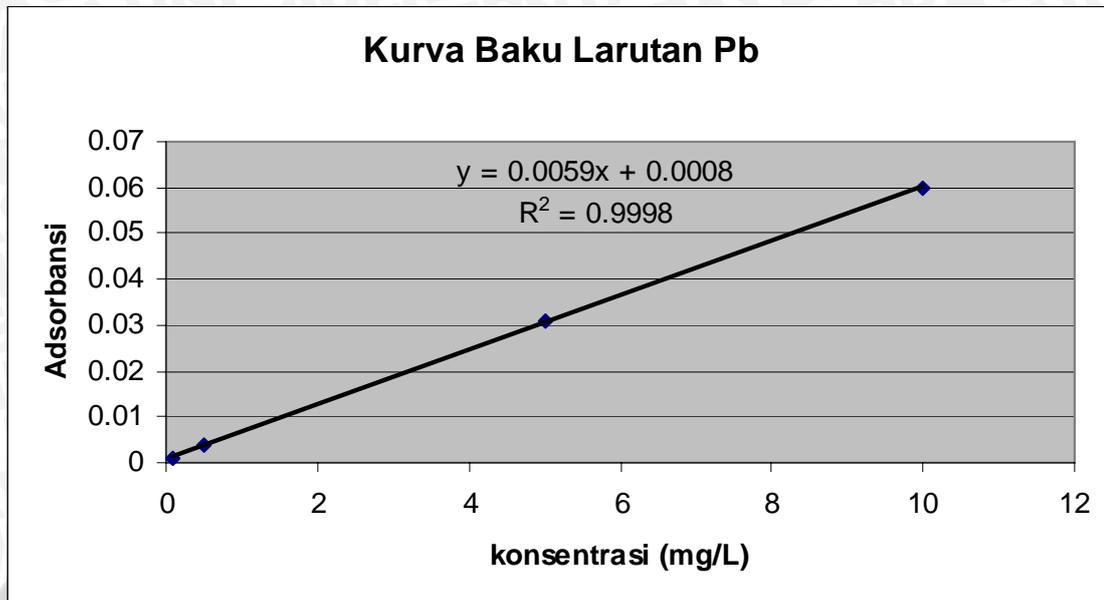
Sistem pembacaan pada tes Atomic Adsorption Spectrophotometry dalam penelitian ini dengan pembacaan adsorbansi dan pembacaan kadar konsentrasi Pb. Adsorbansi adalah penentuan konsentrasi larutan dilakukan pada panjang gelombang yang mana larutan menunjukkan adsorpsi selektif yang maksimum atau transmitansi selektif yang minimum sehingga diperoleh kepekaan yang maksimal.

Tabel 4.1 Nilai Adsorbansi Pb^{2+}

Konsentrasi (ppm)	Adsorbansi (A)
0.100	0.001
0.500	0.004
5.000	0.031
10.000	0.060

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia Fisika Universitas Brawijaya, 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 konsentrasi dengan adsorbansi yang dihasilkan oleh larutan polutan $Pb(NO_3)_2$ dengan beberapa konsentrasi yang berbeda, sehingga didapatkan persamaan yang bisa mewakili hubungan dari kedua variabel ini. Hal ini sangat diperlukan dalam penghitungan selanjutnya karena data hasil laboratorium yang diperoleh pada awalnya adalah data adsorbansi yang merupakan data bacaan dari AAS (Atomic Adsorbance Spectrofotometry), sedangkan untuk menentukan efektivitas dari adsorben yang diuji adalah konsentrasi dari larutan polutan yang telah diberi perlakuan dengan penambahan adsorben baik itu karbon aktif maupun zeolit.

Dari grafik kurva baku ini juga dapat dilihat bahwa kenaikan dari adsorbansi ditinjau dari kenaikan konsentrasi larutan polutan yang disini adalah larutan $Pb(NO_3)_2$, naik secara bertahap dan membentuk kurva yang cenderung linear. Hal ini memudahkan untuk menghitung dari konsentrasi akhir dari larutan polutan yang telah diberi perlakuan dengan penambahan adsorben zeolit dan arang aktif, sehingga pada akhirnya dapat diketahui efektivitas penurunan konsentrasi larutan polutan dari kedua adsorben zeolit dan arang aktif atau karakteristik kedua adsorben itu.

4.1.2 Nilai pH

Pada variasi sampel polutan konsentrasi logam berat Pb pada larutan $Pb(NO_3)_2$ untuk mendapatkan konsentrasi tersebut larutan $Pb(NO_3)_2$ dilarutkan atau dicampur pada larutan aquades dengan proporsi tertentu. Pada larutan campuran ini bersifat asam karena aquades bersifat asam dengan pH 4,28, tetapi setelah penambahan adsorben karbon aktif dan zeolit larutan menjadi basa. Karbon aktif dan zeolit yang mempunyai pH 8-10 ternyata sangat mempengaruhi pH larutan sehingga larutan menjadi basa. Hal ini akan dijelaskan pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4.2 pH sampel dengan penambahan adsorben zeolit (gradasi lolos #20)

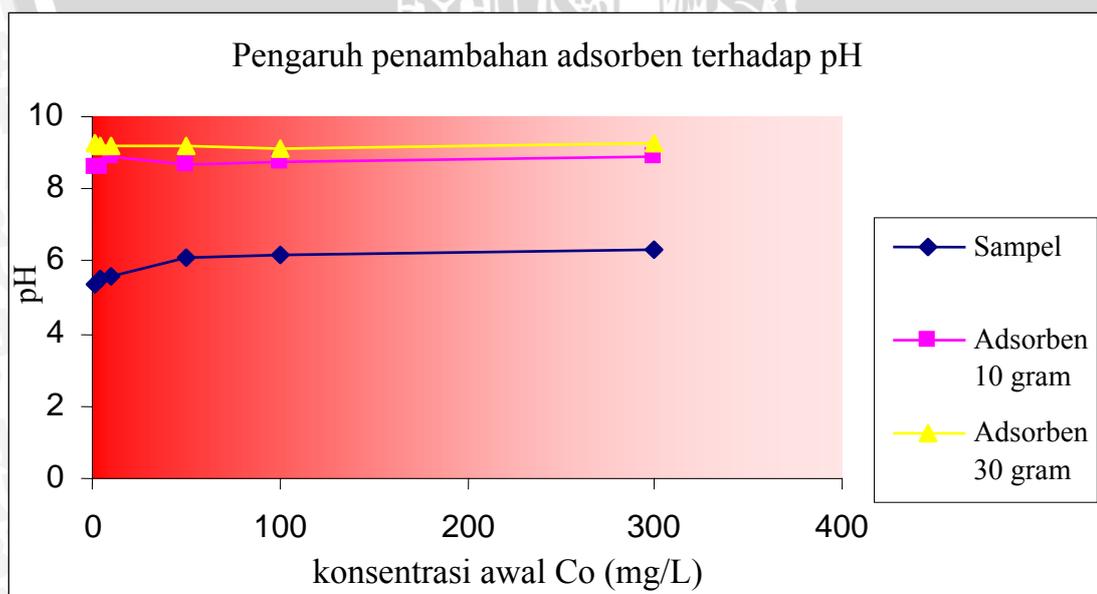
Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
pH sampel	5.39	5.49	5.57	6.07	6.16	6.30
pH sampel + karbon aktif 10 gram	8.59	8.58	8.87	8.7	8.73	8.9
pH sampel + karbon aktif 30 gram	9.27	9.19	9.21	9.18	9.12	9.23

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia Fisika Universitas Brawijaya, 2007

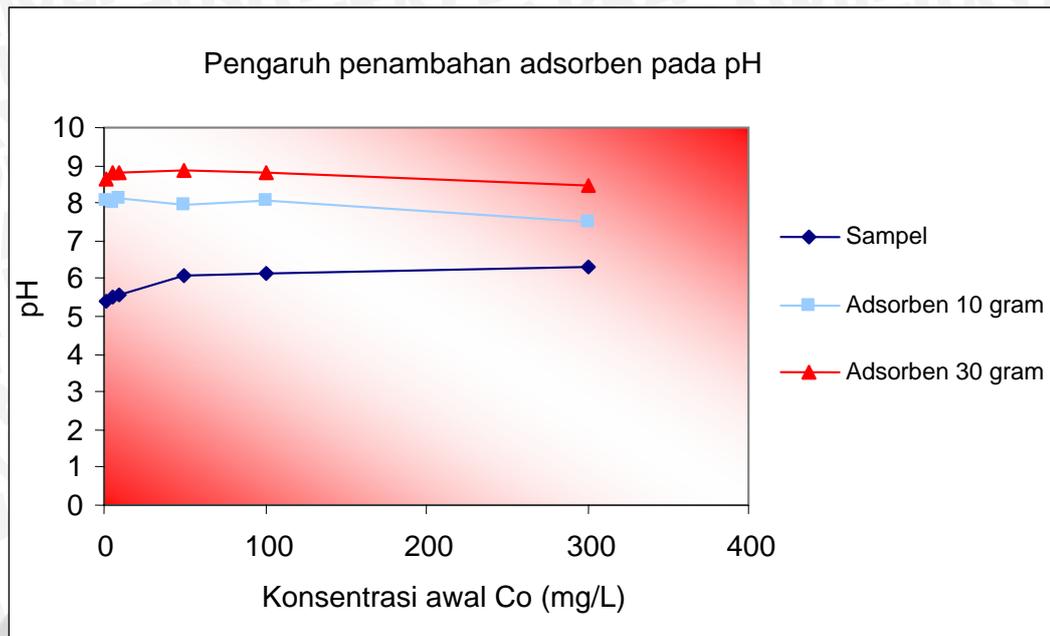
Tabel 4.3 pH sampel dengan penambahan adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20)

Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
pH sampel	5.39	5.49	5.57	6.07	6.16	6.30
pH sampel + karbon aktif 10 gram	8.09	7.99	8.14	7.98	8.07	7.52
pH sampel + karbon aktif 30 gram	8.66	8.78	8.81	8.89	8.78	8.48

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Kimia Fisika Universitas Brawijaya, 2007



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh penambahan adsorben terhadap pH pada zeolit



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan adsorben terhadap pH pada karbon aktif

Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan pH dari yang semula dibawah 7 atau larutan bersifat asam menjadi diatas 7 diantara 8-10 yang berarti larutan bersifat basa. Hal ini dapat disebabkan oleh karena adsorben yang digunakan, dalam hal ini yaitu karbon aktif dan zeolit mempunyai pH sekitar 8-10 yaitu bersifat asam sehingga larutan yang telah dicampur dengan adsorben mengalami kenaikan pH karena pengaruh dari adsorben tersebut. Dan juga terdapat 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 baik arang aktif maupun zeolit 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.

Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 maka dapat dilihat bahwa 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 penambahan pH dari larutan polutan baik setelah larutan diberi adsorben dengan dua jumlah tertentu yaitu 10 gram dan 30 gram. Hal ini ditunjukkan oleh kisaran dari pH akhir dari beberapa konsentrasi larutan yang diberi adsorben 10 gram dan 30 gram berada pada nilai 8-10 yaitu bersifat basa. 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 baik itu arang aktif maupun zeolit berkisar sebesar 8-10, yaitu sebesar pH asli dari arang aktif dan zeolit yang memang bersifat basa yang juga diharapkan dapat membantu proses adsorpsi dengan mengikat ion logam berat Pb^{2+} dengan ion OH^- yang banyak berada pada permukaan adsorben arang aktif dan zeolit sehingga membentuk endapan yang dapat mengurangi konsentrasi polutan yang ada pada sampel tersebut.

4.2 Pengaruh Jumlah Adsorben terhadap Penurunan Konsentrasi Polutan

Selain variasi jenis adsorben yang digunakan yaitu karbon aktif dan zeolit, variasi jumlah adsorben karbon aktif dan zeolit juga digunakan dalam penelitian pengaruh efektivitas karbon aktif dan zeolit dalam menurunkan kadar logam berat Pb. Pola penurunan kadar logam berat Pb juga dilihat dari variasi jumlah adsorben karbon aktif dan zeolit yaitu pada jumlah 10 gram dan jumlah 30 gram terhadap prosentase penurunan, hal ini bisa dilihat dari tabel dan grafik dibawah ini :

Tabel 4.4 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

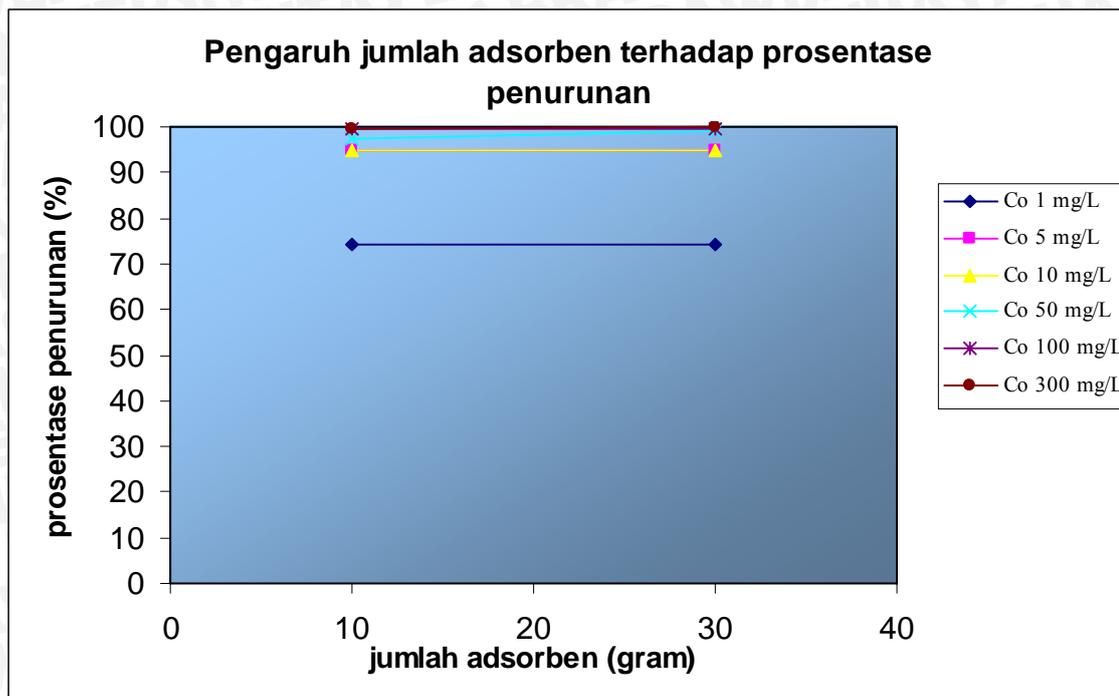
Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.256	0.256	0.527	1.311	0.527	1.055
% removal	74.426	94.885	94.725	97.379	99.473	99.648

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.256	0.256	0.527	0.527	0.256	0.256
% removal	74.426	94.885	94.725	98.945	98.744	99.915

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.4 Grafik pengaruh jumlah adsorben terhadap prosentase penurunan pada zeolit

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin rendah konsentrasi dari polutan maka semakin kecil pula prosentase dari penurunan konsentrasi polutan tersebut. Hal ini berlaku sebaliknya untuk konsentrasi polutan yang tinggi maka prosentase dari penurunan konsentrasi polutan semakin tinggi, hampir mencapai maksimum (100%). Dan dapat dilihat juga bahwa jumlah dari adsorben zeolit tidak mempengaruhi secara signifikan dalam prosentase penurunan konsentrasi polutan yang diuji. Hal ini dapat dilihat dari hampir samanya prosentase penurunan setiap konsentrasi baik itu yang diperlakukan dengan penambahan adsorben dengan jumlah 10 gram maupun dengan jumlah 30 gram.

Sedangkan untuk prosentase penurunan polutan yang diberikan perlakuan dengan penambahan adsorben karbon aktif dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 4.6 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

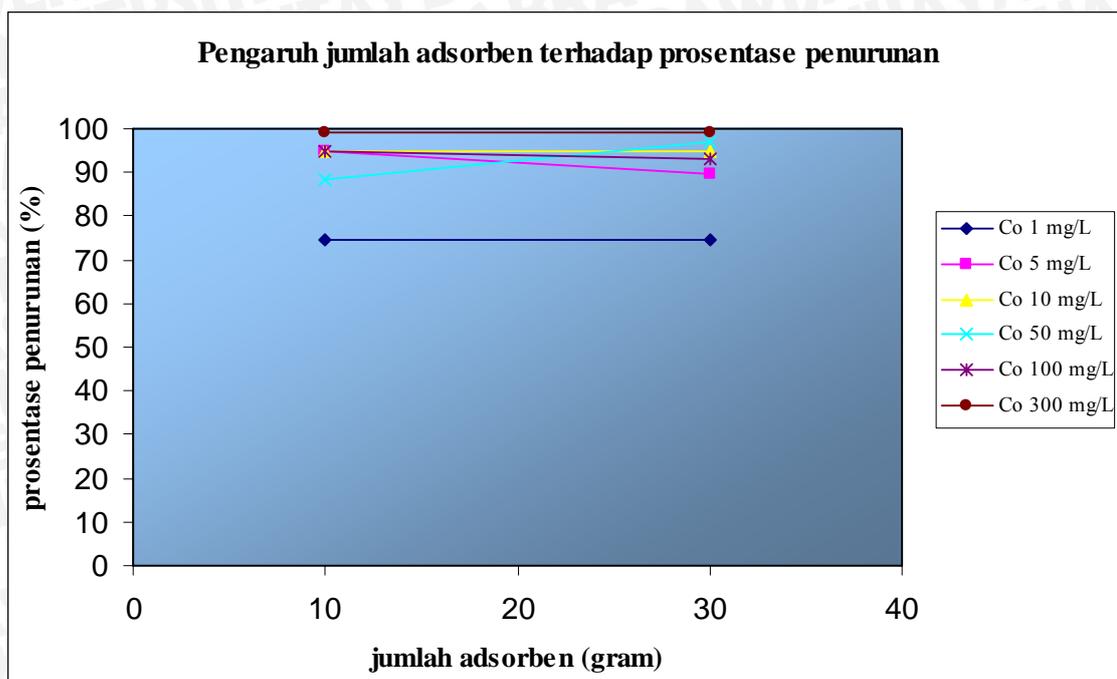
Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.2557	0.2557	0.5275	5.7542	5.2108	2.3656
% removal	74.426	94.885	94.725	88.492	94.789	99.211

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4	5	6
Konsentrasi awal Co (mg/l)	1	5	10	50	100	300
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.2557	0.5275	0.5275	1.5664	7.0649	2.6214
% removal	74.426	89.451	94.725	96.867	92.935	99.126

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.5 Grafik pengaruh jumlah adsorben terhadap prosentase penurunan pada karbon aktif

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin rendah konsentrasi dari polutan, maka semakin kecil pula prosentase dari penurunan konsentrasi polutan tersebut. Hal ini berlaku sebaliknya untuk konsentrasi polutan yang tinggi maka prosentase dari penurunan konsentrasi polutan semakin tinggi, mencapai prosentase yang hampir mencapai maksimum (100%). Dan dapat dilihat juga bahwa jumlah dari adsorben karbon aktif tidak mempengaruhi secara signifikan dalam prosentase penurunan konsentrasi polutan yang diuji. Hal ini dapat dilihat dari hampir samanya prosentase penurunan setiap konsentrasi baik itu yang diperlakukan dengan penambahan adsorben dengan jumlah 10 gram maupun dengan jumlah 30 gram.

Disini hanya terjadi satu kasus kenaikan yang cukup besar pada konsentrasi 50 mg/L pada dua perlakuan di atas baik yang ditambahkan dengan adsorben karbon aktif maupun yang dengan zeolit, sedangkan untuk konsentrasi yang lain prosentase untuk dua perlakuan atau variasi jumlah adsorben tidak terlalu mempengaruhi hal ini. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah adsorben tidak terlalu mempengaruhi efektivitas dari penurunan konsentrasi polutan, tetapi konsentrasi dari polutan itu sendiri yang sangat mempengaruhi besarnya prosentase penurunan yang dapat dilihat bahwa makin besar konsentrasinya maka prosentase penurunannya makin besar (makin reaktif terhadap adsorbennya).

4.3 Karakteristik Adsorpsi Isoterm Adsorben

Perhitungan daya adsorpsi adsorben (karbon aktif dan zeolit) menggunakan permodelan yang menggunakan metode Freundlich dan Langmuir sebagai dasar perhitungan. Metode Freundlich dan Langmuir adalah permodelan empiris yang paling sering digunakan dalam menentukan kapasitas dan karakteristik adsorpsi dari suatu adsorben pada suatu polutan yang diserap oleh adsorben. Permodelan ini memiliki kemudahan dalam pemahamannya daripada permodelan-permodelan yang lain yang juga menjelaskan tentang fenomena adsorpsi.

4.3.1 Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Freundlich

Pada studi ini zeolit dan karbon aktif dibandingkan daya adsorpsinya terhadap larutan polutan Pb^{2+} dengan beberapa ukuran konsentrasi, yang dimaksudkan agar dapat diperoleh data yang cukup untuk menentukan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif dan zeolit terhadap larutan polutan Pb^{2+} dengan menggunakan metode Freundlich selain metode Langmuir yang akan ditampilkan kemudian. Berikut ini adalah tabel dan grafik perhitungan kemampuan adsorpsi karbon aktif dan zeolit dengan menggunakan metode Freundlich.

Tabel 4.8 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

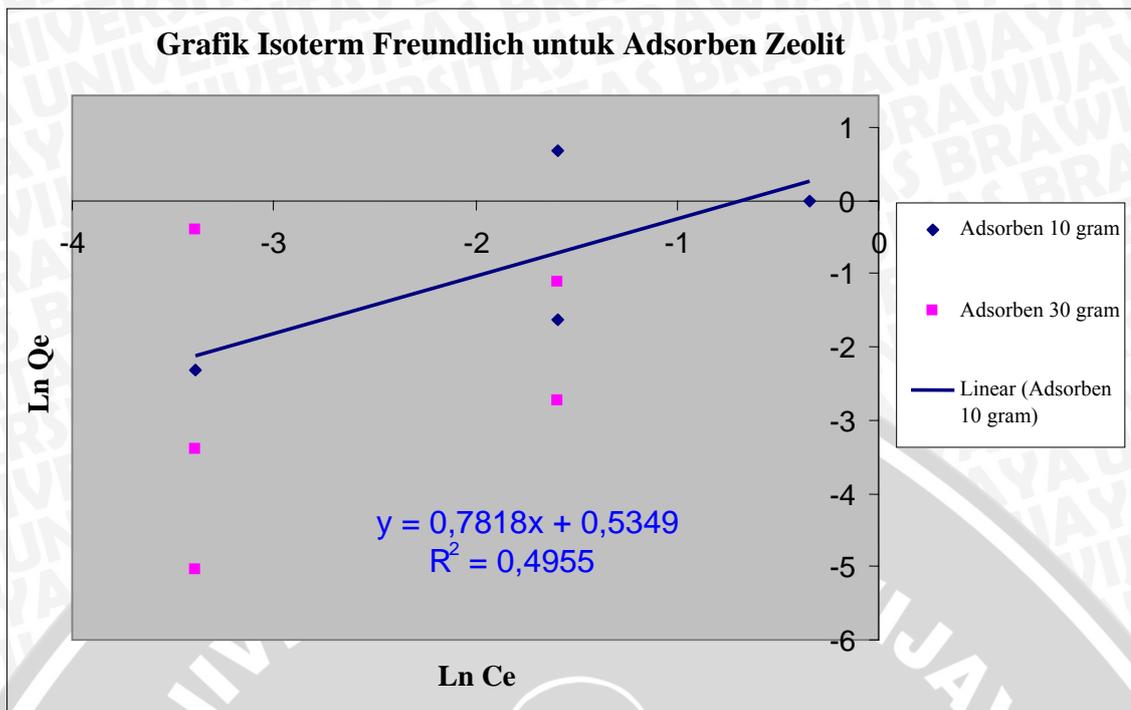
Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.034	0.203	0.712	0.203
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.099	0.196	0.986	1.996
Ln Ce	-3.384	-1.5926	-0.339	-1.593
Ln Qe	-2.309	-1.629	-0.014	0.6911

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.034	0.203	0.203	0.034
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.0331	0.06531	0.3319	0.6664
Ln Ce	-3.3843	-1.5926	-1.5926	-3.3843
Ln Qe	-3.408	-2.7286	-1.1027	-0.4058

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.6 Penentuan kapasitas adsorpsi zeolit dengan metode Freundlich

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa adsorben zeolit dengan jumlah 10 gram memiliki nilai intersep 0,5349 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,996 mg/g, sedangkan adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram memiliki nilai intersep -0,9936 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,6664 mg/g. Ini menunjukkan bahwa adsorben zeolit dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram.

Hal tersebut dapat disebabkan oleh adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram tidak terlalu efektif dalam menyerap logam berat Pb^{2+} , karena adsorben menjadi berlebihan dan tidak efektif dalam proses adsorpsinya. Sedangkan kurva linear dari zeolit dengan jumlah 30 gram tidak signifikan untuk diperbandingkan karena mempunyai koefisien determinasi yang sangat kecil.

Berikut ini adalah perhitungan daya adsorpsi menurut metode Freundlich untuk adsorben karbon aktif dengan variasi dua jumlah adsorben yaitu 10 gram dan 30 gram.

Tabel 4.10 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

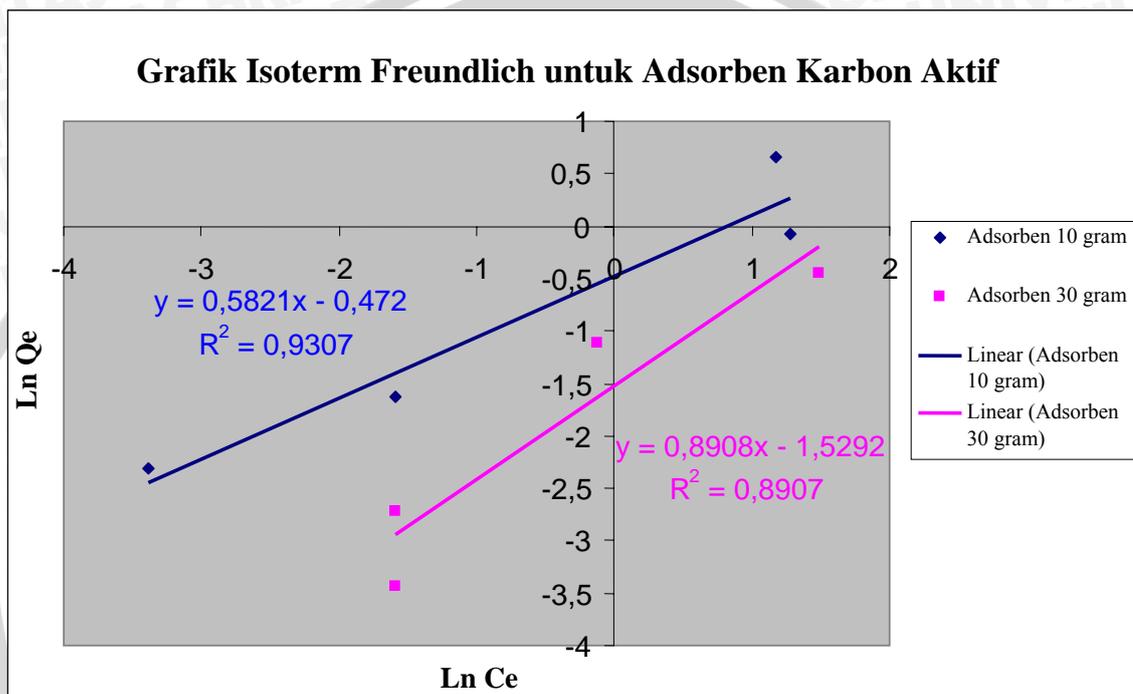
Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.0339	0.20339	3.59322	3.25424
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.09932	0.19593	0.92814	1.93492
Ln Ce	-3.38439	-1.5926	1.2790	1.17995
Ln Qe	-2.30938	-1.62998	-0.07457	0.66006

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.11 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.203	0.203	0.881	4.441
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.0319	0.0653	0.3275	0.6371
Ln Ce	-1.5926	-1.5926	-0.12629	1.4908
Ln Qe	-3.4427	-2.7286	-1.1164	-0.4508

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.7 Penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan metode Freundlich

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram memiliki nilai intersep -0,472 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,935 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram memiliki nilai intersep -1,5292 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,6371 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 4.12 Data regresi linier Isoterm Freundlich logam berat Pb²⁺

Sampel penelitian	Persamaan linier	Koefisien determinasi (R ²)	K _f	n
Zeolit Gradasi #20 (10 gram)	y=0.7818x+0.5349	0.4955	1.707277506	1.27910
Zeolit Gradasi #20 (30 gram)	y=0.5789x-0.9936	0.0944	0.37024142	1.72741
Karbon Aktif Gradasi #20 (10 gram)	y=0.5821x-0.472	0.9307	0.623753513	1.71792
Karbon Aktif Gradasi #20 (30 gram)	y=0.8908x-1.5292	0.8907	0.216708965	1.12259

$$\ln Q_e = \ln K_f + (1/n) \ln C_e$$

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.11 didapat bahwa untuk jumlah yang sama yaitu 10 gram dan gradasi lolos #20 perbandingan daya adsorpsi yang diwakili oleh besaran K_f dan nilai intersep dari persamaan linier antara zeolit dan karbon aktif, kemampuan adsorpsi adsorben zeolit tampak lebih baik daripada adsorben karbon aktif. Hal ini dibuktikan dengan nilai K_f zeolit yang mencapai 1,70727 lebih besar daripada nilai K_f karbon aktif yang besarnya 0,62375 dan nilai intersep zeolit yaitu 0,5349 lebih besar daripada nilai intersep dari karbon aktif yaitu sebesar -0,472.

Tetapi disini didapat bahwa nilai *n* yang didapat dari nilai slope pada kedua persamaan tersebut yang menunjukkan kekuatan daya tarik-menarik antara adsorben dan polutan (logam berat Pb²⁺), didapat bahwa nilai *n* untuk zeolit sebesar 1,27910 lebih kecil dari karbon aktif yaitu sebesar 1,71792 yang seharusnya berarti karbon aktif lebih bagus sebagai adsorben daripada zeolit. Hal ini juga diperkuat dengan nilai koefisien determinasi (R²) dimana koefisien determinasi dari karbon aktif sebesar 0,9307 lebih besar daripada koefisien determinasi zeolit yang sebesar 0,4955. Sehingga dapat diasumsikan bahwa besarnya K_f zeolit daripada K_f karbon aktif dipengaruhi juga oleh faktor kekuatan pertukaran ion (*ion exchange*) dari kedua adsorben ini, dimana zeolit lebih bagus dalam hal kekuatan pertukaran ion (*ion exchange*) daripada karbon aktif.

4.3.2 Karakteristik Adsorpsi Isotermis Sesuai Teori Langmuir

Penentuan kekuatan adsorpsi dari adsorben dapat juga didapat dengan menggunakan metode yang umum digunakan selain metode Freundlich yaitu metode Langmuir. Berikut ini adalah perhitungan menurut metode Langmuir:

Tabel 4.13 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

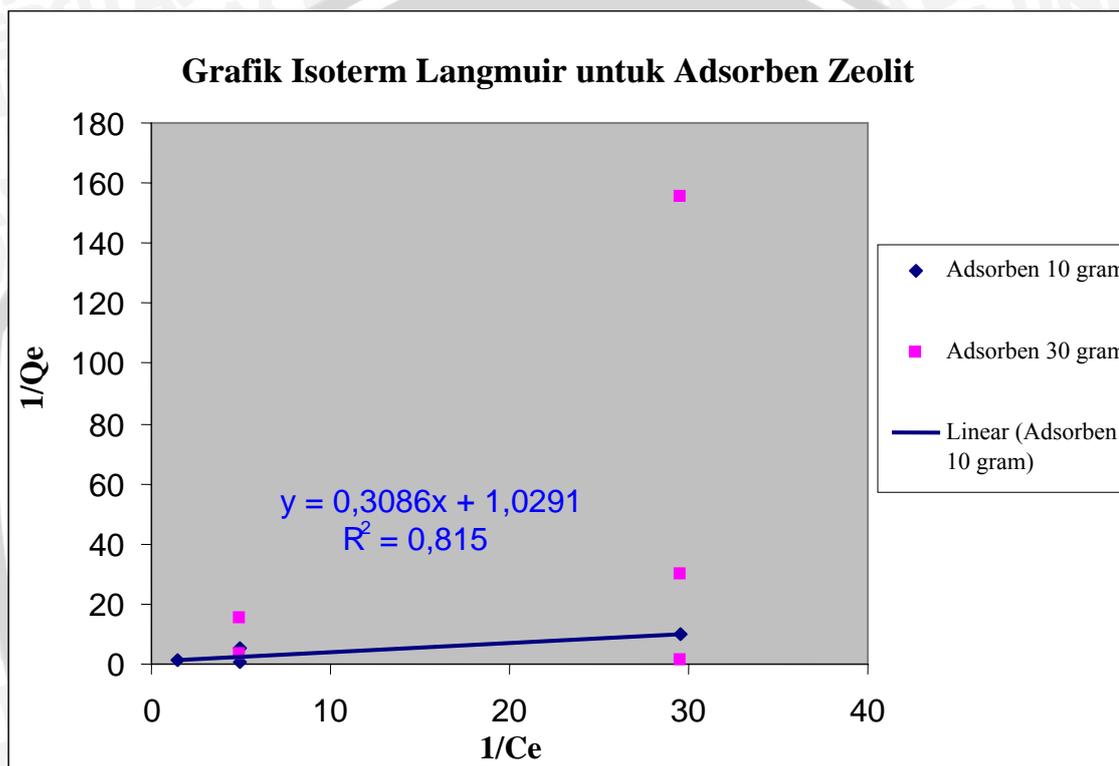
Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.034	0.203	0.712	0.203
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.099	0.196	0.986	1.996
1/Ce	1.2768	0.6384	0.1738	0.1819
1/Qe	11.857	5.9287	1.1301	0.5291

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.14 Adsorben zeolit (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.034	0.203	0.203	0.034
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.0331	0.06531	0.3319	0.6664
1/Ce	1.2768	0.6384	0.1738	0.1819
1/Qe	30.204	15.3114	3.0122	1.5005

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.8 Penentuan kapasitas adsorpsi zeolit dengan metode Langmuir

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa adsorben zeolit dengan jumlah 10 gram memiliki nilai intersep 1,0291 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,996 mg/g, sedangkan adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram memiliki nilai intersep -1,4704 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 0,6664 mg/g. Ini menunjukkan bahwa adsorben zeolit dengan jumlah 10 gram mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram.

Hal tersebut dapat disebabkan oleh adsorben zeolit dengan jumlah 30 gram tidak terlalu efektif dalam menyerap logam berat Pb^{2+} , karena adsorben menjadi berlebihan dan tidak efektif dalam proses adsorpsinya. Sedangkan kurva linear dari zeolit dengan jumlah 30 gram tidak signifikan untuk diperbandingkan karena mempunyai koefisien determinasi yang sangat kecil.

Berikut ini adalah perhitungan daya adsorpsi menurut metode Langmuir untuk adsorben karbon aktif dengan variasi dua jumlah adsorben yaitu 10 gram dan 30 gram.

Tabel 4.15 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 10 gram

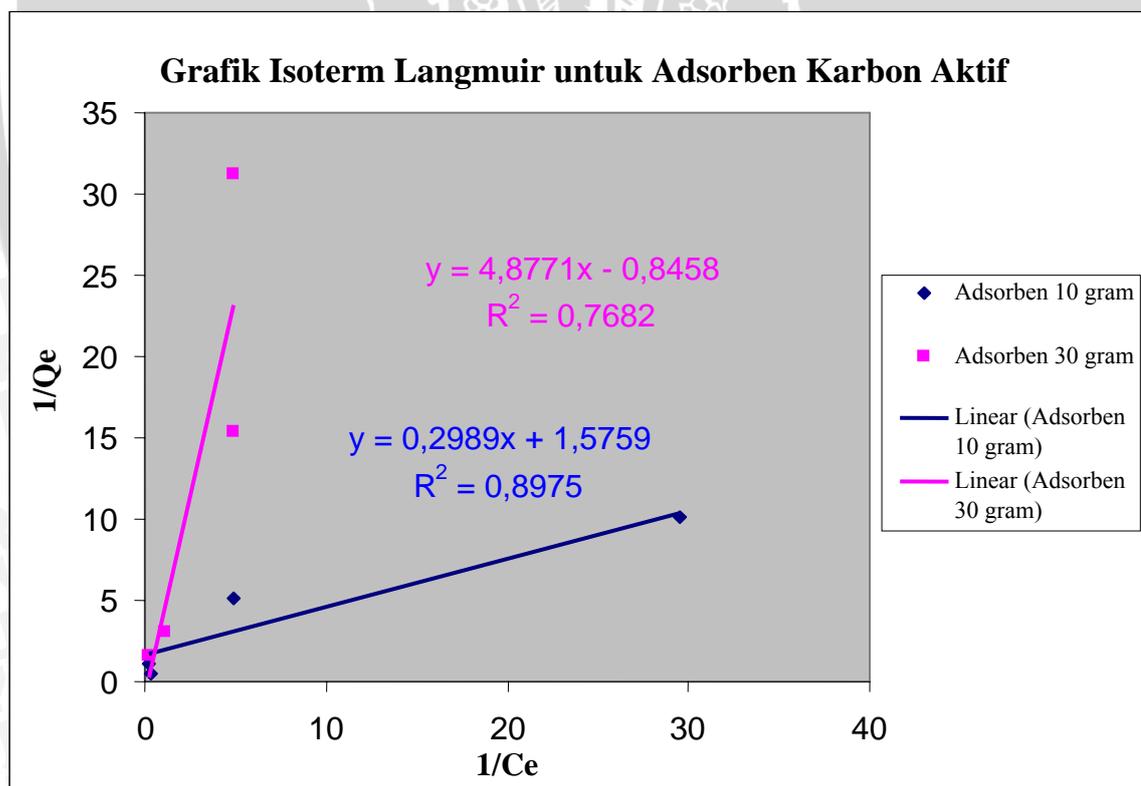
Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.0339	0.20339	3.59322	3.25424
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.09932	0.19593	0.92814	1.93492
1/Ce	1.2768	0.6384	0.1738	0.1819
1/Qe	11.857	5.9287	1.1301	0.5291

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.16 Adsorben karbon aktif (gradasi lolos #20) jumlah 30 gram

Tabung	1	2	3	4
Konsentrasi awal Co (mg/l)	5	10	50	100
Konsentrasi keseimbangan Ce (mg/l)	0.203	0.203	0.881	4.441
Kapasitas adsorpsi Qe (mg/g)	0.0319	0.0653	0.3275	0.6371
1/Ce	1.2768	0.6384	0.1738	0.1819
1/Qe	31.272	15.3114	3.0538	1.5697

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan metode Langmuir

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa adsorben karbon aktif dengan jumlah 10 gram memiliki nilai intersep 1,5759 dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar 1,93492 mg/g, sedangkan adsorben karbon aktif dengan jumlah 30 gram memiliki nilai

intersep $-0,8458$ dan daya adsorpsi maksimumnya sebesar $0,6371$ 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 4.17 Data regresi linier Isoterm Langmuir logam berat Pb^{2+}

Sampel penelitian	Persamaan linier	Koefisien determinasi (R^2)	K_{ads}	q_m
Zeolit Gradasi 20 (10 gram)	$y=0.3086x+1.0291$	0.815	3.334737	0.97172
Zeolit Gradasi 20 (30 gram)	$y=2.1625x-1.4704$	0.2014	-0.67993	-0.68008
Karbon Aktif Gradasi 20 (10 gram)	$y=0.2989x+1.5759$	0.5252	5.272331	0.63456
Karbon Aktif Gradasi 20 (30 gram)	$y=4.8771x-0.8458$	0.7682	-0.173402	-1.18231

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

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.16 didapat bahwa untuk jumlah yang sama yaitu 10 gram dan gradasi lolos #20 perbandingan daya adsorpsi yang diwakili oleh besaran K_{ads} dan nilai intersep dari persamaan linier antara zeolit dan karbon aktif, kemampuan adsorpsi adsorben karbon aktif tampak lebih baik daripada adsorben zeolit. Hal ini dibuktikan dengan nilai K_{ads} karbon aktif yang mencapai 5,272331 lebih besar daripada nilai K_{ads} zeolit yang besarnya 3,334737 dan nilai intersep karbon aktif yaitu 1,5759 lebih besar daripada nilai intersep dari zeolit yaitu sebesar 1,0291.

Didapati juga bahwa untuk jumlah yang sama yaitu 30 gram dan gradasi lolos #20 perbandingan daya adsorpsi yang diwakili oleh besaran K_{ads} dan nilai intersep dari persamaan linier antara zeolit dan karbon aktif, kemampuan adsorpsi adsorben karbon aktif tampak lebih baik daripada adsorben zeolit. Hal ini dibuktikan dengan nilai K_{ads} karbon aktif yang mencapai $-0,173402$ lebih besar daripada nilai K_{ads} zeolit yang besarnya $-0,67993$ sedangkan nilai intersep karbon aktif yaitu $-0,8458$ juga lebih besar daripada nilai intersep dari zeolit yaitu sebesar $-1,4704$.

Jadi dari kedua perbandingan diatas dapat ditemukan kesesuaian antara metode Langmuir dan metode Freundlich bahwa adsorben karbon aktif merupakan adsorben

yang lebih baik dalam hal kemampuan mengadsorpsi ion logam berat Pb^{2+} bila dibandingkan dengan adsorben zeolit pada jumlah dan ukuran butiran yang sama.

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 determinasi (R^2) menunjukkan kesesuaian isoterm tersebut dengan data penelitian. Sehingga adsorpsi karbon aktif dan zeolit terhadap ion logam berat Pb^{2+} dapat diasumsikan terjadi secara kimia dan fisik.

4.4 Perencanaan *Contactor* Pada Instalasi Pengolahan Limbah Cair Sederhana

Setelah karakteristik 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.

Telah kita ketahui bahwa dibandingkan dengan zeolit maka karbon aktif terbukti lebih baik dan 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. Setelah ini dapat dilihat langkah-langkah perancangan instalasi pengolah limbah sederhana yang menggunakan adsorben karbon aktif dengan sebuah contoh kasus untuk menggambarkan metode yang digunakan dalam perancangan dengan data-data yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya.

Contoh Kasus Hipotetik:

Data-data yang diketahui :

Diketahui sebuah *contactor* dengan dasar tetap (*fixed-bed*) mempunyai debit *inflow* (Q) sebesar 500 L/menit. Polutan logam berat Pb mempunyai konsentrasi awal (C_0) 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) $0,62 \text{ (mg/g)(L/mg)}^{1/n}$, dan parameter intensitas Freundlich ($1/n$) sebesar 0,582. Sedangkan dari desain *contactor* didapat *Empty Bed Contact Time* (EBCT) sebesar 10 menit. Diameter dari *contactor* (berbentuk tabung) diketahui sebesar 2 meter.

Dari data-data diatas, dapat ditentukan:

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

Penyelesaian :

1. Menghitung dimensi dari *contactor*

Volume dari karbon aktif (V_b) ditentukan dengan :

$$EBCT \text{ (jam)} = \frac{V_b \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/jam)}}$$

$$\frac{1}{6} = \frac{V_b}{30} \quad V_b = 5 \text{ m}^3$$

Luas dasar dari *contactor* (A_b) ditentukan dengan :

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi 2^2 = 3,14 \text{ m}^2$$

Tinggi dari dasar karbon aktif (D) dihitung dengan :

$$D = \frac{V_b}{A_b} = \frac{5}{3,14} = 1,59 \text{ m}$$

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

Laju/kadar penggunaan GAC ditentukan dengan :

$$\begin{aligned} \frac{m_{GAC}}{Q_t} &= \frac{C_o - C_e}{q_e} = \frac{C_o - C_e}{(K_f C_o)^{1/n}} \\ &= \frac{(1,0 \text{ mg/L})}{0,62 (\text{mg/L}) (\text{L/mg})^{0,582} (1,0 \text{ mg/L})^{0,582}} \\ &= 1,321 \text{ grGAC/L} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Karbon aktif yang diperlukan} &= 10 \text{ menit} \cdot (500 \text{ L/menit}) \cdot (450 \text{ g/L}) \\ &= 2,25 \times 10^6 \text{ gr} \end{aligned}$$

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

Volume air yang dapat diolah

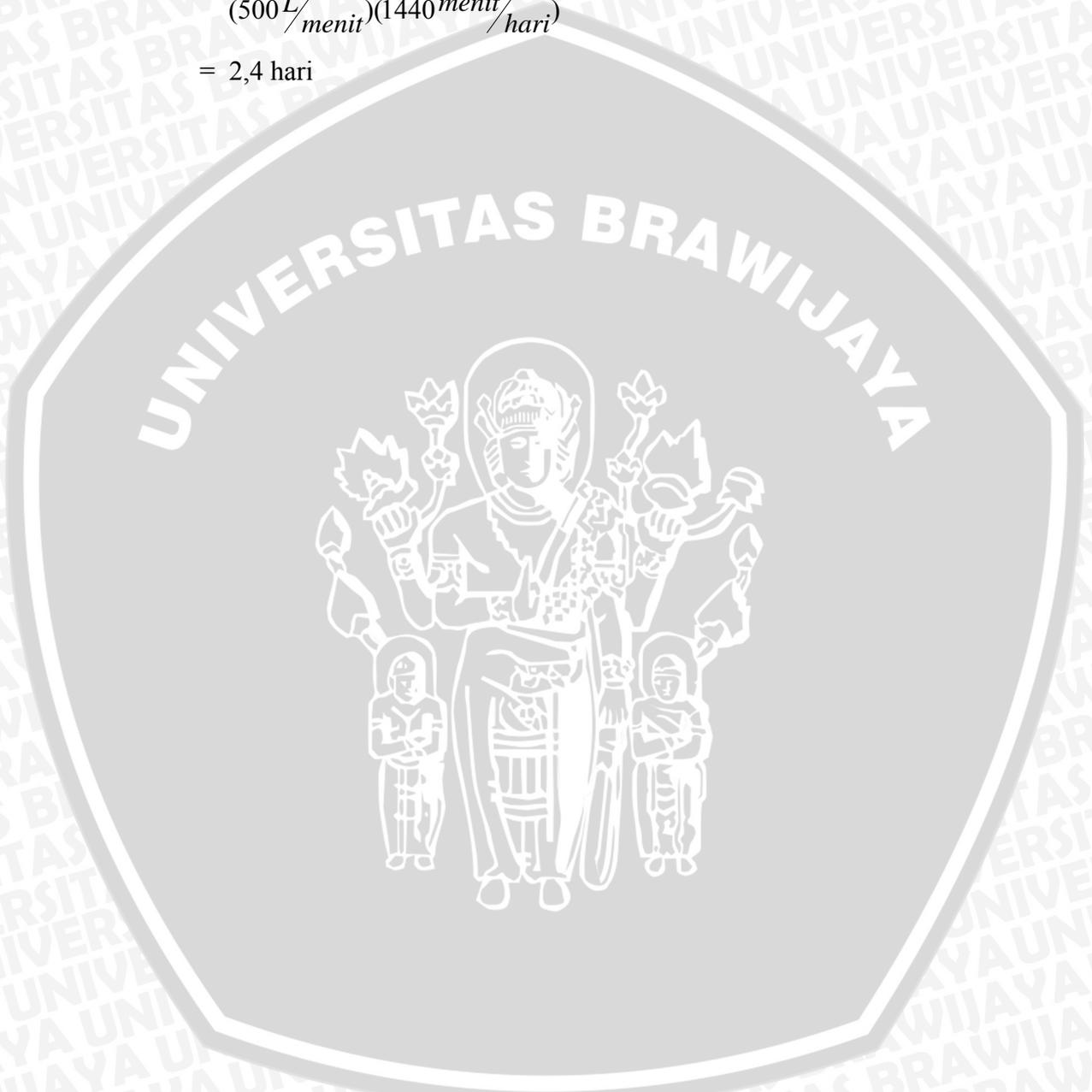
$$= \frac{\text{massa karbon aktif yang diperlukan untuk EBCT tertentu}}{\text{laju penggunaan GAC}}$$

$$= \frac{2,25 \times 10^6 \text{ g}}{(1,321 \text{ grGAC/L})}$$

$$= 1,7 \times 10^6 \text{ L}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Bed life} &= \frac{\text{volume dari air yang dapat diolah untuk EBCT tertentu}}{Q} \\ &= \frac{1,7 \times 10^6 \text{ L}}{(500 \text{ L/menit})(1440 \text{ menit/hari})} \\ &= 2,4 \text{ hari} \end{aligned}$$





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Persamaan isoterm Freundlich untuk adsorpsi ion logam berat Pb^{2+} oleh adsorben zeolit yang mencapai maksimum adalah $y=0,7818x+0,5349$ dengan K_f sebesar 1,707277 sedangkan untuk adsorben karbon aktif persamaan yang didapat adalah $y=0,5821x-0,472$ dengan K_f sebesar 0,62375. Untuk isoterm Langmuir didapat persamaan yang dihasilkan oleh adsorben zeolit yang mengadsorpsi ion logam berat Pb^{2+} secara maksimum adalah $y=0,3086x+1,0291$ dengan K_{ads} sebesar 3,334737 sedangkan untuk adsorben karbon aktif persamaan yang didapat adalah $y=0,2989x+1,5759$ dengan K_{ads} sebesar 5.272331.

Terjadi kelinearan antara nilai koefisien korelasi (R^2) dengan koefisien isoterm Freundlich (K_f) dan koefisien isoterm Langmuir (K_{ads}) sehingga proses adsorpsi dapat diasumsikan terjadi secara fisik dan kimia.

2. Daya adsorpsi maksimum ion logam berat Pb^{2+} oleh adsorben karbon aktif lebih besar daripada daya adsorpsi maksimum ion logam berat Pb^{2+} oleh adsorben zeolit yaitu masing-masing sebesar 1,996 mg/g dan 0,6664 mg/g.
3. Jumlah karbon aktif dan usia pemakaiannya pada desain awal (*preliminary design*) *contactor* dapat ditentukan berdasarkan parameter adsorpsi isotermis dan data-data pelengkap sebagai berikut:
 - a. Debit, $Q = 500$ L/min
 - b. Konsentrasi awal, $C_o = 1$ mg/L
 - c. Konsentrasi akhir, $C_e = 0,005$ mg/L
 - d. Massa jenis GAC = 450 g/L
 - e. *Empty Bed Contact Time* (EBCT) = 10 menitDidapat dimensi dari *contactor* sebagai berikut :
 - a. Tinggi dari *contactor* = 2,5 m
 - b. Tinggi dari dasar karbon aktif (D) = 1,59 m
 - c. Diameter dari *contactor* (d) = 2 m

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap adsorben karbon aktif dan zeolit dengan memperbanyak sampel penelitian dan variasi jumlah adsorben sehingga didapat data-data yang lebih akurat.
2. Dalam penelitian di laboratorium, sangat diperlukan ketelitian dan akurasi dalam penggunaan alat. Dengan demikian kalibrasi peralatan sangat diperlukan untuk memperkecil kesalahan pengukuran.



L3.

LAMPIRAN
PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 82 TAHUN 2001
TANGGAL 14 DESEMBER 2001
TENTANG
PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN
PENCEMARAN AIR

Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETE RANG AN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi Temperatur dari keadaan alamiah
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi \leq 5000 mg/L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sebagai P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO 3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH3-N	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka $<$ 0,02 mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	

Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu < 5 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe < 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb < 5 mg/L
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn < 5 mg/L
Khlorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Fluorida	mg/L	1,5	1,5	6	(-)	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ _N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan

Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	jml/100ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform < 2000 jml/100 ml dan total coliform < 10000 jml/100ml
Total coliform	jml/100ml	1000	5000	10000	10000	
RADIOAKTIVITAS						
Gross - A	bg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross - B	bg/L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol Sebagai Fenol	ug/L	1	1	1	(-)	
BHC	ug/L	210	210	210	(-)	
Aldrin/Dieldrin	ug/L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug/L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug/L	2	2	2	2	
Heptachlor dan Heptachlor epoxide	ug/L	18	(-)	(-)	(-)	
Lindane	ug/L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyctor	ug/L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug/L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug/L	5	(-)	(-)	(-)	

Keterangan :

mg = miligram

ug = mikrogram

ml = militer

L = liter

Bq = Becquerel

MBAS = Methylene Blue Active Substance

ABAM = Air Baku untuk Air Minum

Logam berat merupakan logam terlarut

Nilai di atas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO.

Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum.

Nilai DO merupakan batas minimum.

Arti (-) di atas menyatakan bahwa untuk kelas termasuk, parameter tersebut tidak dipersyaratkan

Tanda £ adalah lebih kecil atau sama dengan

Tanda < adalah lebih kecil

