PENGOLAHAN AIR MINUM DENGAN KARBON AKTIF BUBUK

Prinsip Dasar Perhitungan, Perencanaan Sistem Pembubuhan Dan Kriteria Disain

Oleh :
Nusa Idaman Said

Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT

Abstract

Activated carbon is substance or material which is often used in processing of drinking water to eliminate such's pollutant for example : organic matter, odors, ammonia, detergent, phenol compound, organic compound of methane derivatives, and others substances, which cannot be eliminated by usual processing like coagulation, flocculation, precipitation and filtration.

The processing of drinking water using Powder Activated Carbon (PAC), influenced by water flow rate, concentration of pollutant to be eliminated, injection rate of activated carbon, contact time as well as influenced by type of process for example single stage operation or multi stage operation either through cross current operation or with countercurrent operation. Despitefully is also influenced by nature of activated carbon it's self.

Processing of drinking water using powder activated carbon very compatible and economic for processing in a state of emergency for example at the time of dry season where quality of water become worse, because its can be conducted as according to existing equipments without making special equipments.

Kata Kunci : Pengolahan, air minum, karbon aktif bubuk.

1. PENDAHULUAN

Proses pengolahan air minum dengan karbon aktif digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi dan pengendapan. Zat-zat dalam air baku yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan biasa yaitu antara lain : bau, detergent, senyawa phenol, zat warna organik, ammonia dan zat-zat organik lainnya. Jika air baku yang digunakan mengandung zat-zat tersebut di atas cukup tinggi, dengan cara pengolahan air minum biasa, kandungan zat-zat tersebut di atas hanya dapat diturunkan sedikit saja dan jika dilakukan proses chlorinasi untuk disinfeksi maka zat-zat tersebut misalnya zat organik derivat methan dapat bersenyawa dengan khlorine membentuk senyawa Trihalomethane (THMs) yang jika kandungannya lebih besar dari standar yang diperbolehkan (0,1 mg/lit THMs) dapat menyebabkan gangguan kesehatan (*carcinogenicity*).

Oleh karena itu untuk pengolahan air minum yang air bakunya seperti di atas, perlu dilengkapi dengan fasilitas pengolahan dengan karbon aktif, untuk menghilangkan zat-zat polutan tersebut. Dalam merencanakan fasilitas pengolahan dengan karbon aktif, sangat

dipengaruhi oleh kualitas air baku, jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Pada prakteknya harus dilakukan penelitian pendahuluan termasuk percobaan dengan kondisi nyata skala laboratorium, untuk mengetahui hasil dan pengaruh yang timbul, agar didapatkan hasil yang optimal. Ada 2 (dua) tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air minum yaitu karbon aktif bubuk atau *Powder Activated Carbon* (PAC) dan Karbon Aktif butiran atau *Granular Activated Carbon* (GAC) yang mana keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam segi proses maupun segi ekonominya.

Pada umumnya pengolahan dengan karbon aktif bubuk dipilih atau dilakukan dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka pendek misalnya pada saat musim kemarau di mana kualitas air baku menjadi jelek. Sedangkan untuk proses yang sinambung atau untuk jangka waktu yang lama penggunaan karbon aktif butiran (*granular*) mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif bubuk. Tetapi pada kondisi tertentu kombinasi antara keduanya sering juga dilakukan.

2. SIFAT DAN JENIS KARBON AKTIF

Karbon aktif merupakan zat karbon yang berwarna hitam dan mempunyai porositas yang

tinggi. Diameter partikel molekul karbon aktif antara $10 \text{ a } 10^5 \text{ [A]}$ dan luas permukaan spesifiknya antara $500 - 1500 \text{ m}^2$ per gram, mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap zat-zat misalnya detergent, senyawa phenol, warna organik, gas H_2S , methane dan zat-zat organik lainnya dalam bentuk gas maupun cairan (Maron, 1965).

Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C) misalnya, batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya, dengan cara memanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran partikel atau luas permukaan spesifiknya dan juga cara pengaktifannya. Dilihat dari bentuk ukuran partikelnya dapat digabungkan dalam dua jenis yaitu karbon aktif bubuk (*Powder Activated Carbon* disingkat PAC) dan Karbon Aktif Butiran (*Granular Activated Carbon* disingkat GAC).

2.1 Karbon Aktif Bubuk (Powder Activated Carbon)

Karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus yaitu sekitar $50 - 75 \text{ u}$ (micron). Karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang) maka biasanya dicampur dengan air dengan kandungan air sekitar 30-50%.

Salah satu contoh spesifikasi karbon aktif bubuk untuk pengolahan air minum dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Karbon Aktif Butiran (Granular Activated Carbon)

Yaitu karbon aktif dalam bentuk butiran atau kepingan (flake) dengan ukuran partikel $0,16-1,5 \text{ mm}$. Cara pengerjaan maupun cara pengkutannya lebih mudah. Salah satu spesifikasi dari karbon aktif butiran dapat dilihat pada Tabel 2.

3. PRINSIP DASAR PENGOLAHAN DENGAN KARBONAKTIF

Proses pengolahan air minum dengan karbon aktif adalah merupakan proses Adsorpsi secara fisika (*Physical Adsorption*) yaitu proses terkonsentrasinya molekul-molekul adsorbate (zat yang akan diadsorp) dalam air (misalnya zat organik dll.) ke permukaan karbon aktif oleh karena adanya gaya tarik menarik antara molekul karbon aktif dengan molekul-molekul adsorbate yang ada dalam air (Gaya Van der Waals). Karbon aktif adalah salah satu zat yang mempunyai daya menyerap zat-zat polutan yang

ada dalam air sehingga zat tersebut akan menempel atau terkonsentrasi pada permukaan karbon aktif, sehingga konsentrasi zat polutan yang ada dalam air tersebut menjadi hilang atau berkurang. Proses ini disebut adsorpsi.

Tabel 1 : Standar Pemilihan Karbon Aktif Bubuk Untuk Pengolahn Air Minum

ITEM	Standar Pemilihan	Spesifikasi
Ukuran butiran	Surplus kurang 10 % setelah screening 74μ .	100 mesh
Methylene blue decoloration	-	> 150 mg/l
Iodine Adsorption	-	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	20 -50 %	< 45 -540 %
pH	4 - 11	4 - 11
Chloride	< 0,5 %	< 0,5 %
Lead (Pb)	< 10 ppm	< 10 ppm
Zinc (Zn)	< 50 ppm	< 50 ppm
Cadmium (Cd)	< 1 ppm	< 1ppm
Arsenic (As)	< 2 ppm	< 2 ppm
Conductivity	< 900 μ /cm	-

Sumber : (JWWA 1977)

Tabel 2 : Contoh Spesifikasi Karbon Aktif Butiran (*Granular Activated Carbon, GAC*).

ITEM	Standar Pemilihan
Ukuran butiran	8 -32 mesh (2,302 – 0,495 mm) lebih dari 95 %
Methylene blue decoloration	> 150 mg/g
Iodine Adsorption	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	< 5 %
pH	4 - 11
Chloride	< 0,5 %
Lead (Pb)	< 10 ppm
Zinc (Zn)	< 50 ppm
Cadmium (Cd)	< 1 ppm
Arsenic (As)	< 2 ppm

Sumber : (JWWA 1977)

3.1 Persamaan Freundlich

Hubungan antara jumlah massa zat yang teradsorpsi oleh karbon aktif per massa karbon aktif yang diberikan, dengan konsentrasi adsorbate (misal zat organik), dalam air pada keadaan setimbang, secara empiris ditunjukkan oleh persamaan, Freundlich (Naitoh, 1985) sebagai berikut :

$$Y = \frac{X}{M} = kC^{1/n} \quad (1)$$

di mana :

Y = Jumlah zat teradsorp per jumlah massa karbon aktif.

X = Jumlah massa zat yang teradsorpsi.

M = Jumlah massa karbon aktif.

C = Konsentrasi zat polutan dalam air (disebut *Adsorbate*) pada keadaan setimbang.

k, n = Konstanta.

Hubungan kesetimbangan antara X/M dengan C dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1: Grafik hubungan antara zat yang teradsorp per jumlah karbon aktif (X/M) dengan konsentrasi (C) pada saat kesetimbangan.

Logaritma dari persamaan (1) di atas adalah sebagai berikut:

$$\log \frac{X}{M} = \frac{1}{n} \log C + \log k \quad (2)$$

Jika $\log X/M$ diplotkan dengan $\log C$, akan didapatkan suatu garis lurus dengan slope (kemiringan) sama dengan $1/n$ dan *intercept* sama dengan $\log k$ seperti Gambar 2.

Gambar 2 : Grafik hubungan antara Log X/M dengan Log C untuk adsorpsi isothermis Freundlich.

Harga k dan n bervariasi tergantung dari macam zat yang akan diadsorpsi dan juga tergantung dari jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Disamping itu juga tergantung pada suhu maupun tekanan.

Besarnya harga k dan n diketahui dengan cara melakukan percobaan laboratorium yaitu dengan cara mengukur harga X/M untuk tiap konsentrasi C tertentu, kemudian dibuat grafik antara $\log X/M$ dengan $\log C$ sehingga didapat garis lurus dengan *slope* $1/n$ dan *intercept* sama dengan $\log k$.

Pada prakteknya persamaan Freundlich tersebut di atas cukup akurat untuk konsentrasi zat yang akan diadsorpsi (*adsorbate*, C) rendah, sedangkan untuk konsentrasi C yang tinggi kurang sesuai.

2.2 Persamaan Langmuir

Persamaan adsorpsi isotherm yang lain, telah dirumuskan oleh IRVING LANGMUIR yang dikembangkan secara teoritis dengan asumsi bahwa, zat yang teradsorpsi oleh permukaan zat padat (solid) hanya dapat membentuk satu lapisan molekul yang menempel pada permukaan zat padat tersebut. Selanjutnya, Langmuir menyatakan bahwa pada proses adsorpsi terdapat 2 (dua) aksi yang saling berlawanan, yang pertama yaitu kondensasi molekul dari fase gas atau liquid ke permukaan zat padat (solid) dan yang kedua adalah pelepasan kembali molekul yang sudah teradsorpsi dari permukaan zat padat ke fase liquid atau gasnya.

Pada saat proses adsorpsi dimulai molekul-molekul *adsorbate* akan bertumbukan dengan permukaan solid tetapi pada proses adsorpsi selanjutnya, adsorpsi hanya terjadi pada bagian permukaan solid yang belum tertutup oleh lapisan molekul (yang masih kosong). Akibatnya, kecepatan kondensasi molekul di permukaan solid pada tahap awal besar dan makin lama makin turun karena luas permukaan solid yang belum tertutup makin kecil. Dipihak lain molekul-molekul yang telah teradsorpsi pada permukaan solid kemungkinan akan lepas kembali ke fase liquid atau gasnya, misalnya karena aksi pengadukan yang disebabkan oleh panas (*thermal agitation*).

Kecepatan pelepasan molekul-molekul yang telah teradsorpsi (kecepatan *desorption*) sebanding dengan luas permukaan solid yang telah tertutup oleh lapisan molekul, dan akan bertambah besar pada saat terjadi keseimbangan (jenuh). Pada saat keseimbangan terjadi, maka kecepatan kondensasi partikel ke permukaan solid sama dengan kecepatan pelepasan molekul dari permukaan solid ke fase liquid atau gasnya.

Dari asumsi tersebut di atas, dapat dirumuskan suatu persamaan secara matematik. Jika Y adalah fraksi dari total luas permukaan solid yang telah tertutup oleh lapisan molekul, maka fraksi dari luas permukaan solid yang belum tertutup oleh molekul adalah $(1 - Y)$. Sesuai dengan teori kinetik, maka laju tumbukan molekul ke permukaan solid berbanding lurus dengan konsentrasi liquid atau tekanan gas, dengan demikian maka kecepatan kondensasi molekul ke permukaan solid sebanding dengan konsentrasi atau tekanan dan fraksi dari luas permukaan solid yang belum tertutup (yang masih kosong). Secara matematik ditulis sebagai berikut :

$$\text{Laju Kondensasi} = k_1 (1 - Y) C \quad (3)$$

di mana :

k_1 = konstanta.

C = konsentrasi zat yang diadsorp (*adsorbate*) dalam air atau liquid.

Di lain pihak, jika k_2 adalah laju pelepasan molekul dari permukaan solid ke fasa cairnya pada saat permukaan *solid* tertutup semua oleh lapisan molekul, dan Y adalah fraksi dari permukaan solid yang tertutup oleh lapisan molekul, maka kecepatan pelepasan molekul dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan pelepasan molekul} = k_2 Y \quad (4)$$

Pada saat adsorpsi dalam keadaan setimbang, laju atau kecepatan kondensasi sama dengan kecepatan pelepasan.
jadi :

$$\begin{aligned} k_1 (1 - Y) C &= k_2 Y \\ &= \frac{k_1 C}{k_2 + k_1 C} \\ &= \frac{b C}{1 + b C} \end{aligned} \quad (5)$$

di mana : $b = k_1 / k_2$

Jika Y adalah jumlah zat yang diadsorp per unit luas permukaan karbon aktif atau jumlah massa karbon aktif, maka Y akan berbanding lurus dengan fraksi luas permukaan solid yang tertutup .

Jadi :

$$Y = k = \frac{a b C}{1 + b C}$$

$$Y = \frac{a C}{1 + b C} \quad (6)$$

di mana a adalah sama dengan k . Persamaan (6) adalah merupakan persamaan adsorpsi isothermis Langmuir. Konstanta a dan b merupakan karakteristik dari sistem dan harganya didapat dari data percobaan yang harganya dipengaruhi oleh suhu atau temperatur dari sistem.

Untuk temperatur tertentu, persamaan (6) di atas dapat dimodifikasi, yaitu dengan membagi kedua sisi dengan C , di dapatkan hasil sebagai berikut :

$$\frac{C}{Y} = \frac{1}{a} + \left(\frac{b}{a} \right) C \quad (7)$$

Selama harga a dan b konstan, maka plot antara C/Y terhadap C , akan didapatkan suatu garis lurus dengan kemiringan (slope) b/a dan *intercept* sama dengan $1/a$, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Dengan mengetahui harga-harga konstanta baik persamaan Freundlich maupun persamaan Langmuir, maka kedua persamaan itu dapat dipakai untuk menghitung jumlah kebutuhan karbon aktif yang digunakan.

Gambar 3 : Grafik hubungan antara C/Y dengan konsentrasi, C untuk adsorpsi isothermis Langmuir.

4. PENGOLAHAN AIR MINUM DENGAN KARBON AKTIF BUBUK

4.1. Proses Pengolahan

Pada umumnya, karbon aktif diinjeksikan kedalam air baku sebelum proses koagulasi. Melalui kontak dan pencampuran, zat polutan yang ada dalam air baku, akan teradsorp oleh karbon aktif. Setelah itu karbon aktif yang telah menyerap zat-zat polutan tersebut bersama-sama dengan kotoran lain misalnya

lumpur, dipisahkan dengan cara koagulasi dan sedimentasi sehingga keluar berupa lumpur (*sludge*) berwarna hitam. Untuk partikel-partikel karbon aktif yang belum dapat terpisahkan oleh proses koagulasi dan sedimentasi dapat dihilangkan dengan proses filtrasi. Tetapi pada prakteknya kadang-kadang partikel-partikel karbon aktif yang sangat halus masih juga dapat lolos pada proses filtrasi. Terutama pada musim dingin di mana suhu sangat rendah, proses koagulasi tidak berjalan dengan baik, sehingga partikel-partikel karbon aktif tidak dapat diendapkan dan akibatnya beban filter terlalu besar. Untuk menghindari hal tersebut, biasanya dapat dilakukan dengan cara memberikan

koagulan *Poly Aluminium Chloride* serta pengontrolan proses yang ketat.

Cara pembubuhan dan pengkontakkan karbon aktif dengan air baku dapat dilakukan dalam tangki kontak khusus (*Contact Chamber*) yang dilengkapi dengan pengaduk, atau dapat juga disesuaikan dengan peralatan yang ada misalnya pada bak pemisah pasir (*grit chamber*) atau dapat juga dilakukan bersama-sama di tangki koagulasi, pada bak pencampur cepat (*Rapid Mixing Tank*) atau pada clarifier (*accelerator*). Beberapa contoh diagram pengolahan air dengan karbon aktif bubuk dapat dilihat Gambar 4 dan Gambar 5.

Gambar 4 : Sistem pengolahan air minum dengan karbon aktif bubuk menggunakan bak kontaktor karbon aktif.

Gambar 5 : Sistem Pengolahan Air Minum dengan karbon aktif bubuk, dengan cara pembubuhan di dalam Bak Koagulasi-Sedimentasi (*Clarifier*).

Beberapa keuntungan dari proses pengolahan air minum dengan karbon aktif bubuk antara lain yaitu :

- ❖ Fasilitas pengolahan dapat disesuaikan dengan peralatan yang sudah ada.

- ❖ Sangat ekonomis untuk pengolahan dalam keadaan darurat (*emergency*) atau untuk pengolahan jangka pendek, karena dapat dilakukan tanpa membuat peralatan yang khusus.

- ❖ Luas permukaan spesifik dari karbon aktifnya besar, sehingga daya adsorpsinya juga besar.
- ❖ Kemungkinan tumbuh mikroorganisme kecil sekali.
- ❖ Sedangkan beberapa kekurangannya antara lain :
- ❖ Cara pengerjaan (*handling*) dan pengangkutannya lebih sulit karena partikelnya sangat halus dan mudah terbang serta mudah terbakar. - Regenerasi sulit dilakukan karena karbon aktif yang telah dipakai dalam proses pengolahan akan bercampur dengan kotoran-kotoran lain, berupa lumpur yang berwarna hitam.
- ❖ Pengontrolan proses lebih sulit serta kemungkinan kerusakan mesin atau peralatan akibat penyumbatan lebih besar.

4.2 Perhitungan Kebutuhan Karbon Aktif

Untuk proses yang kontinyu, perhitungan kebutuhan karbon aktif tergantung dari laju alir air baku, konsentrasi zat yang akan diadsorpsi (*adsorbate*) dalam air baku dan tergantung dari macam proses yang digunakan misalnya proses operasi satu tahap (*single stage operation*) atau proses operasi dua tahap atau lebih (*multi stage operation*) secara *cross current* atau *counter current*.

4.2.A. Operasi Satu Tahap (Single Stage Operation)

Pengolahan air minum dengan cara adsorpsi satu tahap (*single stage operation*) ditunjukkan seperti pada Gambar (6), dengan anggapan bahwa karbon aktif sebagai *adsorbent* tidak larut atau tidak bereaksi dengan air atau solventnya. Air baku dengan konsentrasi *adsorbate* (zat yang akan diadsorpsi) sebesar C_0 dan laju alir Q , diturunkan konsentrasinya menjadi C_1 (massa *adsorbate* per unit volume air baku) dengan laju penambahan karbon aktif M (massa/waktu). Jumlah massa zat yang teradsorpsi per jumlah massa karbon aktif akan naik dari Y_0 menjadi Y_1 . Untuk operasi yang kontinyu maka jumlah *adsorbate* yang direduksi (diambil) dari air baku akan sama dengan jumlah yang diadsorpsi oleh karbon aktif. Persamaan matematikanya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q (C_0 - C_1) = M (Y_1 - Y_0) \quad (8)$$

Jika digambarkan dalam koordinat C, Y , persamaan 8 tersebut di atas menunjukkan garis lurus melalui titik (Y_0, C_0) dan titik (Y_1, C_1) dengan *slope* (kemiringan) $- M/Q$. Jika operasi dalam keadaan keseimbangan, maka aliran efluen juga akan

berada dalam keadaan keseimbangan, sehingga titik (Y_1, C_1) terletak pada garis kesetimbangan *adsorpsi* (C vs Y). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8 : Operasi Adsorpsi satu Tahap (*single stage operation*).

Apabila waktu kontak tidak mencukupi, maka kesetimbangan belum tercapai, maka titik (Y_1, C_1) tidak terletak pada garis kesetimbangan, tetapi terletak di atas garis setimbang, misalnya pada titik A (lihat Gambar 8). Dengan menganggap persamaan Freundlich $Y = kC^{1/n}$ (persamaan 1) berlaku pada operasi tersebut di atas, maka pada keadaan setimbang :

$$Y_1 = k C_1^{1/n} \quad (9)$$

Jika dianggap bahwa untuk *adsorbent* yang masih baru, $Y_0 = 0$, maka jika persamaan (9) disubstitusikan ke persamaan (8), didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\frac{M}{Q} = \frac{C_0 - C_1}{k C_1^{1/n}} \quad (10)$$

Persamaan (10) tersebut merupakan cara analitik untuk menghitung ratio atau perbandingan antara jumlah karbon aktif per unit volume air baku untuk menurunkan konsentrasi *adsorbate* dalam air baku dari C_0 menjadi C_1 .

Secara garis besar ada 3 tipe untuk adsorpsi isothermis yaitu garis kesetimbangan C vs Y akan berupa garis lurus untuk $n=1$; berupa garis cekung ke atas untuk $n > 1$ dan berupa

garis cekung kebawah untuk $n < 1$. Hal ini terlihat seperti pada Gambar 11.

Jika untuk masing-masing tipe adsorpsi tersebut di atas, konsentrasi adsorbate dalam air baku diturunkan dari C_0 menjadi C_1 , terdapat 3 buah garis operasi yang menyebar dari titik A (lihat Gambar 11). Slope (kemiringan) dari masing-masing garis operasi berbanding lurus terhadap ratio antara laju penambahan karbon aktif dengan laju air baku (M/Q).

Untuk adsorpsi yang baik, biasanya besarnya harga n antara 2 - 10; antara 1 - 2 untuk yang agak sulit; sedangkan untuk n lebih kecil dari 1 adsorpsi sangat sulit dilakukan. Di samping itu besarnya harga k juga merupakan parameter yang penting untuk proses adsorpsi.

Gambar 9 : Kurva kesetimbangan Freundlich untuk adsorpsi satu tahap.

4.2.B. Operasi Dengan Aliran Silang Secara Bertahap (Multi Stage Cross Current Operation)

Diagram alir untuk proses pengolahan secara *cross current* (dua tahap) ditunjukkan seperti Gambar 10. Air baku dengan laju alir yang konstan, Q , diolah dengan penambahan karbon aktif dengan laju penambahan M_1 dan M_2 pada masing-masing tahap operasi, untuk menurunkan konsentrasi adsorbate dari C_0 menjadi C_2 .

Neraca massa untuk tiap-tiap tahap operasi adalah sebagai berikut :

$$\text{Tahap I : } Q (C_0 - C_1) = M_1 (Y_1 - Y_0) \quad (11)$$

$$\text{Tahap II : } Q (C_1 - C_2) = M_2 (Y_2 - Y_0) \quad (12)$$

Secara grafis dapat digambarkan seperti terlihat pada Gambar 10.

Gambar 10 : Operasi adsorpsi dengan aliran silang dua tahap.

Masing-masing garis operasi, menunjukkan proses pada masing-masing tahap dan harga *slope* dari masing-masing garis operasi menunjukkan perbandingan laju penambahan karbon aktif dengan laju alir air baku pada masing-masing tahap. Jika jumlah karbon aktif yang digunakan pada masing-masing tahap sama besar, maka garis operasinya sejajar (besarnya slope sama).

Apabila sistem operasi tersebut di atas dianggap merupakan adsorpsi isothermis serta untuk masing-masing tahap operasi menggunakan karbon aktif yang masih baru (dianggap $Y_0 = 0$), maka jumlah kebutuhan karbon aktif untuk kedua tahap operasi dapat langsung dihitung sebagai berikut :

Untuk operasi tahap I :

$$\frac{M_1}{Q} = \frac{C_0 - C_1}{k C_1^{1/n}} \quad (13)$$

dan untuk operasi tahap II :

$$\frac{M_2}{Q} = \frac{C_1 - C_2}{k C_2^{1/n}} \quad (14)$$

Total jumlah karbon aktif yang digunakan adalah :

$$\left[\frac{M_1 + M_2}{Q} \right] = \frac{1}{k} \left[\frac{C_0 - C_1}{C_1^{1/n}} + \frac{C_1 - C_2}{C_2^{1/n}} \right] \quad (15)$$

Untuk jumlah total karbon aktif minimum, maka :

$$\frac{d}{dC_1} \left[\frac{M_1 + M_2}{Q} \right] = \frac{d}{dC_1} \left[\frac{C_0 - C_1}{C_1^{1/n}} + \frac{C_1 - C_2}{C_1^{1/n}} \right] = 0$$

.....(16)

dan jika k , C_0 dan C_2 konstan, maka penyelesaian dari persamaan (16), adalah sebagai berikut :

$$\left[\frac{C_1}{C_2} \right]^{1/n} - \frac{1}{n} \left[\frac{C_0}{C_1} \right] = 1 - \frac{1}{n} \quad (17)$$

Persamaan (17) dapat digunakan untuk menghitung besarnya konsentrasi air baku setelah operasi tahap I (Y_1) dengan cara coba-coba (*trial and error*) dan jumlah karbon aktif yang dibutuhkan untuk tiap-tiap tahap dapat dihitung dengan persamaan (13) dan persamaan (14). Persamaan (17) juga dapat diselesaikan dengan cara grafis tanpa *trial and error* seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

4.2.C Operasi Dengan Aliran Berlawanan Secara Bertahap (Multi Stage Countercurrent Operation)

Diagram alir untuk proses pengolahan dengan aliran berlawanan secara bertahap, ditunjukkan seperti pada Gambar (12). Untuk proses sinambung (kontinue) dan setimbang, neraca massa adsorbate untuk semua tahap (N_p tahap) dapat dituliskan sebagai berikut :

Gambar 11 : Penyelesaian secara grafis dari persamaan (17), total jumlah karbon aktif minimum untuk operasi dengan aliran silang (*cross curen*) dua tahap.(Treyball, 1980).

$$Q (C_0 - C_{Np}) = M_s (Y_1 - Y_{Np+1}) \quad (18)$$

$$\frac{M_s}{Q} = \frac{(C_0 - C_{Np})}{(Y_1 - Y_{Np+1})} \quad (19)$$

Gambar 12 : Operasi Adsorpsi Dengan Aliran Berlawanan Tahap Banyak (*Multi Stage Countercurrent Adsorption*).

Persamaan (18) tersebut, jika digambar dalam diagram C, Y dengan garis kesetimbangan : $C = (Y/k)^n$, didapatkan suatu garis operasi (garis lurus) dimulai dari titik (Y_1, C_0) dan berakhir di titik (Y_{Np+1}, C_{Np}) dengan kemiringan (*slope*) sama dengan M_s/Q (Gambar 12).

Jumlah (*stage*) tahapan operasi yang diperlukan secara teoritis, dapat dicari dengan cara menghitung jumlah garis tangga yang terjadi, yang ditarik antara garis kesetimbangan dan garis operasi. Mulai dari titik (Y_1, C_0) sampai titik (Y_{Np+1}, C_{Np}) seperti terlihat pada Gambar (12).

Selain itu, untuk memperkirakan jumlah *stage* (tahap) operasi yang diperlukan, dapat juga dilakukan dengan cara mencoba-coba besarnya harga M_s/Q (Ratio karbon aktif dengan air baku) atau mencoba-coba letak garis operasi. Untuk proses desorpsi, maka garis operasinya berada di bawah garis kesetimbangan.

Makin banyak jumlah tahapan (*stage*) operasi yang digunakan untuk menghasilkan penurunan konsentrasi dari C_0 menjadi C_{Np} yang sama, maka jumlah konsumsi karbon aktif makin kecil. Pada saat jumlah konsumsi karbon aktif minimum, maka jumlah tahap operasi akan menjadi tak terhingga. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 13. Pada kondisi M_s/Q minimum, maka garis operasi akan memotong atau menyinggung garis kesetimbangan C vs Y , akibatnya jumlah tahap operasi akan menjadi tak terhingga. Oleh karena itu pada prakteknya harga M_s/Q harus lebih besar dari pada harga M_s/Q minimum.

Gambar 13 : Garis operasi dan ratio jumlah karbon aktif dengan air baku minimum untuk jumlah tahap (*stage*) tak terhingga.

Penggunaan Persamaan Freundlich

Perhitungan untuk ratio karbon aktif dengan air baku (M_s/Q) dengan cara coba-coba (*trial and error*) dapat dihilangkan apabila garis kesetimbangan dapat digambarkan secara aljabar. Sebagai contoh misalnya untuk operasi 2 (dua) tahap seperti pada Gambar 14.

Untuk karbon aktif yang masih baru dianggap harga $Y_3 = 0$. Neraca massa total untuk *adsorbate* dalam air baku dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q(C_0 - C_2) = M_s(Y_1 - 0) \quad (20)$$

Dengan menggunakan persamaan (1) keefluen operasi tahap I didapatkan :

$$Y_1 = k C_1^{1/n} \quad (21)$$

Gambar 14 : Operasi adsorpsi dengan aliran berlawanan dua tahap (Treyball, 1980).

Dari persamaan (20) dan persamaan (21) didapatkan :

$$\frac{M_s}{Q} = \frac{C_0 - C_2}{k C_1^{1/n}} \quad (22)$$

Garis operasi untuk operasi tahap II seperti ditunjukkan pada Gambar (14), didapatkan dari :

$$Q(C_1 - C_2) = M_s(Y_2 - 0) = M_s \cdot k C_2^{1/n} \quad (23)$$

Eliminasi M_s/Q antara persamaan (22) dan persamaan (23) didapatkan persamaan :

$$\frac{C_0}{C_2} - 1 = \left(\frac{C_1}{C_2} \right)^{1/n} \left(\frac{C_1}{C_2} - 1 \right) \quad (24)$$

Persamaan (23) dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi antara operasi tahap I dan operasi tahap II, C_1 dan kebutuhan karbon aktif (M_s/Q) dapat dicari dari persamaan (23). Untuk membantu memecahkan persamaan (24), dapat digunakan grafik pada Gambar 15.

Dari beberapa cara operasi seperti operasi satu tahap (*single stage operation*), operasi dengan aliran silang tahap banyak (*Multi stage Cross Current*) dan operasi dengan aliran berlawanan tahap banyak (*Multi stage Counter Current*), maka untuk jumlah tahap serta hasil yang sama, operasi dengan aliran berlawanan memerlukan jumlah karbon aktif yang lebih sedikit, berarti ditinjau dari pemakaian karbon aktifnya lebih ekonomis dibanding lainnya. Tetapi semakin banyak tahap yang digunakan akan memerlukan reaktor atau bak kontaktor yang lebih banyak sehingga biaya investasi alat menjadi lebih besar.

Gambar 15 : Penyelesaian persamaan (24), adsorpsi dengan aliran berlawanan (*counter-current*) dua tahap (Treyball, 1980).

Di dalam prakteknya pengolahan dengan karbon aktif bubuk digunakan pada saat kondisi air baku yang buruk sehingga sifatnya adalah

pengolahan dalam keadaan darurat. Prosesnya umumnya dibubuhkan di dalam bak pencampur bersama-sama dengan bahan koagulan sebelum bak flokulator.

4.3 Contoh Perhitungan

Air baku dengan laju alir 100 lt/detik (8640 m³/hari) akan diolah menjadi air minum dengan menggunakan karbon aktif bubuk. Kandungan zat organik (COD) dalam air baku 18 mg/lt, akan diturunkan sampai menjadi 8 mg/lt. Berapakah laju penambahan karbon aktif agar proses berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Dari hasil percobaan di laboratorium terhadap karbon aktif yang akan dipakai, didapatkan sebagai berikut :

Jumlah Karbon Aktif Bubuk (mg/100 ml air baku)	Konsentrasi zat organik (COD) setelah diberi karbon aktif (mg/l)
0	40
5	27
10	19
15	14
20	10

Bandingkan jumlah dosis karbon aktif yang dipakai, untuk proses operasi satu tahap, proses aliran silang dua tahap dan proses aliran berlawanan dua tahap.

Perhitungan :

Dari data hasil percobaan, dicari hubungan antara jumlah zat organik (COD) yang diadsorp (X) perjumlah karbon aktif yang dipakai (M) dengan konsentrasi zat organik setelah diberi karbon aktif atau pada saat setimbang, (C).

Hasil perhitungannya terlihat pada tabel berikut :

M (mg)	C (mg/l)	X (mg)	Y = X/M	Log C	Log X/M
0	40	-	-	-	-
5	27	13	0,26	1,43	- 0,59
10	19	2,1	0,21	1,28	- 0,68
15	14	2,6	0,17	1,15	- 0,77
20	10	3,0	0,15	1,0	- 0,82

Plot antara harga-harga log X/M dengan log C, didapatkan suatu garis lurus seperti pada Gambar 16.

Gambar 16 : Grafik hubungan antara Log C dengan Log X/M.

Berdasarkan persamaan Freundlich :

$$Y = \frac{X}{M} = k C^{1/n} \quad (1)$$

$$\text{maka : } \log \frac{X}{M} = \frac{1}{n} \log C + \log k$$

Oleh karena plot antara log C dengan log X/M merupakan garis lurus, maka persamaan Freundlich (persamaan 1), berlaku untuk sistem tersebut di atas. Dari grafik plot antara Log C dengan Log X/M (Gambar 16) dengan menggunakan program *Excel* didapatkan persamaan :

$$y = 0,5481 x - 1,3809$$

dimana y = Log X/M dan x = Log C.

Jadi slope dari garis hasil plot antara log X/M dengan log C pada Gambar 16 sama dengan 1/n dan *intercept* sama dengan log k.

$$\text{Slope} = 1/n = 0,5481 \text{ (dibulatkan 0,55)} \\ \rightarrow n = 1,82$$

$$\log k = - 1,3809 \rightarrow k = 0,042$$

Dari perhitungan tersebut di atas didapatkan persamaan kesetimbangan adsorpsi yaitu :

$$Y = \frac{X}{M} = 0,042 C^{0,55}$$

Atau :

$$C = \left[\frac{Y}{K} \right]^n = \left[\frac{Y}{0,042} \right]^{1,82}$$

$$\rightarrow C = 320 Y^{1,82}$$

Grafik hubungan antara C dengan Y dapat dilihat pada Gambar 17.

Gambar 17 : Grafik hubungan antara C dengan Y, untuk penyelesaian perhitungan kebutuhan karbon aktif.

4.3.1 Operasi Satu Tahap (Single Stage Operation)

Laju alir air baku, $Q = 100 \text{ lt/detik}$ ($8640 \text{ m}^3/\text{hari}$)

$$C_0 = 18 \text{ mg/liter.}$$

$$C_1 = 8 \text{ mg/liter.}$$

Untuk karbon aktif yang masih baru, $Y = 0$. Di dalam Gambar 17 titik A menunjukkan konsentrasi COD mula-mula dan titik B menunjukkan konsentrasi COD setelah adsorpsi. Dalam keadaan Titik B terletak pada garis kesetimbangan C vs Y.

Pada titik B, $Y_1 = 0,139$

Jadi,

$$\text{Dosis Karbon aktif} = \left(\frac{M}{Q} \right) = \frac{(C_0 - C_1)}{(Y_1 - Y_0)}$$

$$\left(\frac{M}{Q} \right) = \frac{18 \text{ mg/Lt} - 8 \text{ mg/Lt}}{0.135} = 74,1 \text{ mg/Lt}$$

atau dapat juga dengan memakai persamaan (10) :

$$\frac{M}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{k C_1^{1/n}} = \frac{18 - 8}{0,042 (8)^{0,55}} = 75,87 \text{ mg/Lt}$$

$$= 75,87 \text{ gr/m}^3$$

Laju penambahan karbon aktif =

$$= 8640 \text{ m}^3/\text{hari} \times 75,87 \text{ gr/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gr}$$

$$= 655,5 \text{ kg/hari.}$$

4.3.2 Operasi Dengan Aliran Silang Dua (Two-stage Cross Current Operation)

Jumlah total karbon aktif minimum dapat dihitung dengan cara coba-coba (*trial and error*) pada Gambar17, titik C menunjukkan kondisi air baku setelah operasi tahap I, ditentukan sembarang pada garis kesetimbangan, sehingga didapatkan garis operasi AC dan DB dan harga $M_1 + M_2$ dihitung dengan memakai persamaan (11) dan (12). Posisi titik C diubah-ubah sampai didapatkan harga $M_1 + M_2$ yang paling kecil (minimum). Titik C pada Gambar 17 tersebut, adalah hasil akhir (harga minimum) dengan koordinat ($Y_1 = 0,174$, $C_1 = 13$) ; $Y_2 = 0,139$ (pada titik B).

Dari persamaan (11) :

$$\frac{M_1}{Q} = \frac{(C_0 - C_1)}{(Y_1 - Y_0)} = \frac{18 - 13}{0,174 - 0} = 28,7 \text{ mg/Lt}$$

Dari persamaan (12) :

$$\frac{M_2}{Q} = \frac{(C_1 - C_2)}{(Y_2 - Y_0)} = \frac{13 - 8}{0,139 - 0} = 36 \text{ mg/Lt}$$

$$(M_1/Q + M_2/Q)_{\text{Min}} = (28,7 + 36) \text{ mg/Lt} = 64 \text{ mg/Lt}$$

$$= (64,7 \text{ gr/m}^3)$$

Total jumlah karbon aktif yang diperlukan :

$$(M_1 + M_2) =$$

$$= 8640 \text{ m}^3/\text{hari} \times 64,7 \text{ gr/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gr}$$

$$= 559 \text{ kg}$$

Di samping cara coba-coba di atas, untuk mencari jumlah total karbon aktif minimum, dapat digunakan Gambar 11 sebagai berikut :

$$C_0 = 18 \text{ mg/Lt. } C_2 = 8 \text{ mg/Lt. } n = 1,82$$

$$\frac{C_2}{C_0} = \frac{8}{18} = 0,44$$

Dari Gambar 11 untuk $C_2/C_0 = 0,44$ dan $n = 1,82$; didapatkan :

$$C_1/C_0 = 0,65$$

$$\text{Jadi, } C_1 = 0,65 \times 18 \text{ mg/Lt} = 11,7 \text{ mg/Lt}$$

Dari persamaan (13) :

$$\frac{M_1}{Q} = \frac{C_0 - C_1}{k C_1^{1/n}} = \frac{18 - 11,7}{0,042 (11,7)^{0,55}} = 38,8 \text{ mg/Lt}$$

Dari persamaan (14) didapatkan :

$$\frac{M_2}{Q} = \frac{C_1 - C_2}{k C_2^{1/n}} = \frac{11,7 - 8}{0,042(8)^{0,55}} = 28 \text{ mg/l}$$

$$(M_1/Q + M_2/Q)_{\text{Min}} = (38,6 + 28) \text{ mg/l} \\ = 66,8 \text{ mg/l} = 66,8 \text{ gr/m}^3.$$

$$M_1 + M_2 = 8640 \text{ m}^3/\text{hari} \times 66,8 \text{ gr/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gr} \\ = 577,15 \text{ kg/Hari}$$

4.3.3 Operasi Dengan Aliran Berlawanan Dua Tahap (Two-Stage Counter Current Operation)

$$C_0 = 18 \text{ mg/l} ; C_2 = 8 \text{ mg/l} \\ Y_{Np+1} = 0 \text{ (untuk karbon aktif yang masih baru)}$$

Garis operasi dicari dengan cara coba-coba (*trial and error*), sampai didapatkan dua tahap (garis tangga) antara garis operasi dengan garis kesetimbangan, seperti terlihat pada Gambar 17. Di dalam Gambar 17 tersebut pada kondisi setelah adsorpsi (Titik E), di dapatkan :

$$Y_1 = 0,193. N_p = \text{jumlah tahap.}$$

Untuk proses dua tahap $Y_{Np+1} = Y_3 = 0$ untuk karbon aktif baru.

Dari persamaan (4.11) :

$$\frac{M_s}{Q} = \frac{(C_0 - C_{Np})}{(Y_1 - Y_{Np+1})} = \frac{18 - 8}{0,193} = 51,8 \text{ mg/l.}$$

Di samping perhitungan tersebut di atas, harga M_s/Q dapat juga dicari dengan menggunakan Gambar 15 dan persamaan (22).

$$C_2/C_0 = 8/18 = 0,44 ; n = 1.82$$

Dari Gambar (4-10) didapatkan harga $C_2/C_1 = 0,52$

$$\text{Jadi } \rightarrow C_1 = 8 / 0,52 = 15,4 \text{ mg/l}$$

Dari persamaan (22) didapatkan :

$$\frac{M_s}{Q} = \frac{(C_0 - C_2)}{(k \cdot C_1^{1/n})} = \frac{18 - 8}{0,042(15,4)^{0,55}} = 52,9 \text{ mg/l.}$$

Dari kedua cara perhitungan di atas terdapat sedikit perbedaan harga M_s/Q . Dari cara perhitungan pertama didapatkan harga $M_s/Q = 51,8 \text{ mg/l}$, sedangkan dari cara perhitungan ke dua didapatkan harga $M_s/Q = 52,9 \text{ mg/l}$. Untuk perancangan kebutuhan jumlah karbon aktif yang

dibutuhkan diambil harga hasil perhitungan M_s/Q yang besar ($M_s/Q = 52,9 \text{ mg/l}$).

$$\text{Jumlah kebutuhan karbon aktif (Ms)} = \\ = 8640 \text{ m}^3/\text{hari} \times 52,9 \text{ gr/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gr} \\ = 457 \text{ kg/hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa ditinjau dari pemakaian jumlah karbon aktif yang digunakan, maka dengan memakai proses operasi aliran silang secara bertahap (*multi-stage counter current operation*), kebutuhan karbon aktifnya paling sedikit (kecil) dibandingkan dengan kebutuhan karbon aktif untuk proses operasi lainnya.

5. KRITERIA PERENCANAAN PENGOLAHAN AIR MINUM DENGAN KARBON AKTIF BUBUK

5.1 Jenis karbon Aktif Yang Digunakan

Jenis karbon aktif yang digunakan harus memiliki tingkat kualitas tertentu agar dapat memberikan pengaruh yang baik pada proses pengolahan dan bebas dari zat-zat yang dapat membahayakan kesehatan.

Karbon aktif mempunyai sifat yang khas untuk proses adsorpsi, dan di pasaran terdapat bermacam-macam merek dagang karbon aktif yang dapat digunakan untuk bermacam-macam penggunaan sesuai dengan spesifikasinya. Oleh karena itu karbon aktif yang akan digunakan untuk pengolahan air minum harus dipilih melalui suatu percobaan (*experiment*) untuk kondisi lapangan (*actual sample*) agar didapatkan hasil yang optimal.

Biasanya, karbon aktif bubuk yang digunakan untuk pengolahan air minum, yaitu karbon aktif yang cara pembuatan atau pengaktifannya dengan uap air panas (*steam activated method*).

5.1 Dosis Karbon Aktif

Dosis atau laju penambahan karbon aktif adalah merupakan faktor yang penting untuk proses pengolahan dan besarnya tergantung dari jumlah dan kualitas air baku serta sifat dari karbon aktifnya sendiri. Untuk menentukan jumlah karbon aktif yang akan digunakan dapat dilakukan dengan memakai persamaan (rumus) seperti yang telah diuraikan di atas, berdasarkan hasil percobaan laboratorium pada kondisi yang nyata (kondisi lapangan).

Oleh karena itu laju penambahan karbon aktif mungkin akan bervariasi tergantung dari laju alir air baku, kualitas air baku, obyek yang akan dihilangkan, dosis karbon aktif dan faktor-faktor lainnya. Selain itu penentuan jumlah penambahan karbon aktif dapat dilakukan

dengan cara membandingkan dengan fasilitas lain yang telah ada.

Dalam hal penghilangan bau dan rasa dosis karbon aktif biasanya antara 10 - 30 ppm (JWWA, 1977). Beberapa contoh dosis

penambahan karbon aktif bubuk (*injection rate*) pada beberapa pusat pengolahan air minum di Jepang dapat dilihat pada Tabel 3 (JWWA, 1977).

Tabel 3 : Pembubuhan karbon aktif bubuk di beberapa instalasi pengolahan air minum di Jepang.

Kota	Filter Plant	Tujuan	Injection rate (ppm)	Tahun	Penyebab
Tokyo Metropolis	Asaka	Untuk mengatasi pencemaran yang tidak biasa.	40 (max)	1976	Pencemaran senyawa phenol dll.
Kawasaki City	Nagasawa	Penghilangan bau	10 -20	1971	Rasa yang tidak biasa disebabkan karena eutrophikasi
Osaka City	Niwakubo	Penghilangan bau	5 -15	1972	Sama dg atas
Kyoto City	Keage	Penghilangan bau	5 -7	1972	Sama dg atas
Fukuoka City	Otogane	Penghilangan bau			Sama dg atas

Sumber ; (JWWA, 1977)

5.3 Titik dan Cara Pembubuhan Karbon Aktif

Titik pembubuhan (*Injection Point*) harus terletak pada suatu lokasi, sedemikian rupa agar terjadi kontak yang cukup antara karbon aktif dengan air baku serta dihindari kemungkinan adanya pengaruh dari prekhlorinasi atau aspek teknis lainnya.

Pada umumnya karbon aktif diinjeksikan ke dalam air baku sebelum proses koagulasi sedimentasi dan waktu kontak minimal 20 menit. Agar didapatkan waktu kontak yang cukup lama, biasanya karbon aktif diinjeksikan pada lokasi misalnya, tangki kontak khusus, bak pemisah pasir (*grit chamber*), tangki penerima atau receiving well, rapid mixing tank, atau dapat juga dilakukan pada fasilitas *intake*.

Dilihat dari cara pembubuhan karbon aktif dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu cara pembubuhan kering dan cara pembubuhan basah. Pemilihan antara sistem pembubuhan kering dan sistem pembubuhan basah, tergantung dari kondisi dan kemudahan pengontrolan. Umumnya sistem pembubuhan basah lebih banyak dipilih karena tidak terjadi debu dari bubuk karbon aktif.

Dengan cara pembubuhan kering, karbon aktif yang diinjeksikan, jumlahnya diukur dalam keadaan kering. Karbon aktif bubuk dimasukkan melalui tangki penerima (*receiver*), kemudian dialirkan ke tangki penampung (*storage chamber*). Dari tangki penampung dialirkan ke injektor yang dilengkapi dengan alat ukur. Skema

dari cara pembubuhan kering dapat dilihat pada Gambar 18. Untuk sistem pembubuhan basah (*wet feeding system*), bubuk karbon aktif diinjeksikan kedalam air baku dalam bentuk campuran dengan air (*slurry*). Agar didapatkan *slurry* yang merata dan stabil serta kemudahan dalam hal pemompaan, densitas karbon aktif dalam *slurry* biasanya antara 5 - 10 %. Skema untuk sistem pembubuhan basah dapat dilihat pada Gambar 19.

Gambar 18 : Skema sistem pembubuhan kering karbon aktif bubuk.

Untuk tangki *slurry* harus dibuat dari bahan yang anti karat, biasanya dari baja tahan karat atau dari bahan resin sintesis. Kapasitas tangki umumnya untuk 12 jam penyimpanan dan jumlahnya minimal 2 tangki. Ukuran pipa pembubuh (*feeding pipe*) untuk *slurry* karbon

aktif harus ditentukan sedemikian rupa agar tidak terjadi penyumbatan atau pengendapan pada pipa. Untuk menghitung diameter pipa pembubuh (*feeding pipe*) dapat digunakan persamaan sebagai berikut (JWWA, 1977) :

Gambar 19 : Skema pembubuhan karbon aktif bubuk sistem basah.

$$\frac{U_s^2}{g d} = 0,741 \left[\frac{D U_s \rho_m}{\mu} \right]^{0,775} \left[\frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} \right] \quad (25)$$

di mana :

U_s = laju alir minimum yang diperlukan (cm/det)

g = kecepatan gravitasi (cm/det²)

D = diameter pipa (cm)

d = diameter partikel karbon aktif (cm)

μ = viskositas air (gram/cm det)

ρ_m = density slurry (gram/cm³)

ρ_s = density karbon aktif (gram/cm³)

ρ_L = density air (gram/cm³)

Bahan pipa harus dipilih agar tahan korosi dan tahan terhadap abrasi oleh partikel karbon aktif. Pipa yang umum dipakai adalah pipa PVC karena harganya relatif murah dan kuat.

5.4 Ruang untuk Peralatan Pembubuhan (Room for Injection Equipment)

Ruangan untuk peralatan pembubuhan (injeksi) karbon aktif harus dekat dengan titik pembubuhan dan harus tahan gempa, mempunyai ventilasi yang baik serta dihindari dari bahaya kebakaran. Disamping itu harus dilengkapi juga dengan alat pengumpul debu (*Dust Collection*).

Untuk luas lantai harus direncanakan agar terdapat ruang yang cukup untuk pemeliharaan dan perbaikan. Salah satu contoh ruang pembubuhan karbon aktif serta bahan koagulan dapat dilihat pada Gambar 20.

V.5 Bak Kontaktor Karbon Aktif

Bak kontaktor karbon aktif harus memenuhi syarat untuk proses pencampuran

dan pengkontakan yang efektif dan kapasitas bak harus cukup untuk waktu kontak minimal 20 menit. Konstruksi bak kontaktor harus kuat dan tahan gempa, biasanya dibuat dari beton bertulang (*reinforced concrete*) atau dari baja serta dilengkapi dengan peralatan pengadukan agar terjadi pencampuran (*mixing*) yang cukup. Disamping itu perlu juga dilengkapi dengan peralatan untuk pencucian dan pengetapan (*draining*) serta peralatan untuk keperluan perbaikan. Untuk jumlah bak kontaktor (*contact basin*), disarankan minimal dua bak. Salah satu contoh bak kontaktor karbon aktif bubuk untuk pengolahan air minum dapat dilihat seperti Gambar 21.

Gambar 20 : Ruang pembubuhan bahan kimia koagulan dan karbon aktif untuk pengolahan air minum.

Gambar 21: Bak kontaktor karbon aktif bubuk untuk pengolahan air minum.

5.6 Fasilitas Penyimpanan Karbon Aktif (Storage Facilities)

Karbon aktif bubuk biasanya diangkut dan disimpan dalam kantong dengan ukuran 10 - 50 kg atau kantong (kontainer) ukuran 100 - 500 kg. Untuk *checking* jumlah karbon aktif, maka diperlukan peralatan timbangan yang sesuai dengan jenis transportasi yang digunakan serta ukuran kontainer yang dipakai. Untuk ukuran kontainer yang kecil cukup dengan timbangan biasa, tetapi untuk ukuran kontainer yang besar biasanya digunakan *track scale*.

Kapasitas penyimpanan (gudang) harus disesuaikan dengan jumlah kebutuhannya dan juga disesuaikan dengan waktu yang diperlukan untuk pemesanan. Jika karbon aktifnya merupakan produksi lokal, waktu pengiriman biasanya lebih cepat bila dibandingkan dengan ekspor. Oleh karena itu ditentukan dengan pertimbangan yang sebaik-baiknya.

Bangunan gudang harus tahan terhadap api dan bebas dari bahaya kebakaran, dan fasilitas pembangkit tenaga harus aman dari bahan-bahan yang mudah meledak.

6. PENUTUP

Dari uraian tentang prinsip dasar pengolahan dengan karbon aktif bubuk, sifat-sifat karbon aktif, proses operasi dan juga tentang kriteria perencanaan seperti tersebut di atas, maka sistem pengolahan air minum dengan karbon aktif bubuk sangat sesuai untuk dipakai pada saat kondisi darurat misalnya pada saat terjadi penurunan kualitas air baku secara tiba-tiba atau dipakai untuk jangka waktu pendek atau periode tertentu misalnya pada musim kemarau dimana kualitas air baku menjadi menjadi buruk. Hal ini disebabkan karena cara pengolahannya dapat dilakukan dengan memakai fasilitas peralatan yang telah ada dengan sedikit modifikasi tanpa harus membangun peralatan khusus yang baru, dan juga karena karbon aktif bubuk yang telah diinjeksikan kedalam air baku akan terpisah atau keluar bersama-sama dengan kotoran-kotoran yang lain misalnya lumpur berupa *sludge* berwarna hitam sehingga regenerasi karbon aktif sulit dilakukan.

Oleh sebab itu jika untuk penggunaan untuk jangka waktu yang panjang, pengolahan dengan karbon aktif bubuk kurang sesuai karena akan memerlukan biaya untuk karbon aktif yang besar karena karbon aktifnya hanya satu kali pakai dan sulit untuk diregenerasi.

Ditinjau dari cara pengkontakan dengan air bakunya, ada beberapa cara operasi yaitu : operasi satu tahap (*single stage operation*), operasi dengan aliran berlawanan tahap banyak (*multi stage crosscurrent operation*) dan operasi dengan aliran berlawanan tahap banyak (*multi stage countercurrent operation*). Dari ketiga cara operasi tersebut, yang paling ekonomis yaitu dalam arti pemakaian karbon aktif yang paling sedikit adalah operasi dengan aliran berlawanan tahap banyak (*multi stage countercurrent operation*).

Secara keseluruhan proses pengolahan air minum dengan karbon aktif bubuk dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain :

- ❖ Kualitas air baku maupun kualitas karbon aktifnya, dalam hal ini tergantung dari macam zat yang akan diadsorp oleh karbon aktifnya.
- ❖ Dosis pembubuhan karbon aktif.
- ❖ Waktu kontak dan juga cara operasi yang digunakan.
- ❖ Disamping itu dipengaruhi juga oleh faktor-faktor teknis lainnya, misalnya tingkat pemerataan pencampuran, bentuk geometri reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Suidou Shisetsu Sekkei Shishin (Design Criteria for Waterworks Facilities), Japan Water Works Association (JWWA, 1977).
- Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okun, D.A., Element Of Water And Wastewater Disposal. Second Edition John Weley and Sons, New York, 1971.
- Maron, S.H., and Prutton, C.F., Principles Of Physical Chemistry, McMillan Company. London, 1965.
- Naitoh, S., and Fujita, K., Jousuidou Kougaku Enshuu. Gakkensha, Tokyo, 1985.
- Treyball, R.E., Mass Transfer Operations, Third Edition. McGraw Hill Kogakusha, 1980.