

BAB II

PENDAHULUAN

2.1 Karakteristik Air Bersih

Air baku merupakan air bersih yang digunakan untuk kebutuhan air bersih, domestik serta industri. Untuk memenuhi air baku yang setiap harinya semakin meningkat, maka air baku dapat diperoleh dari air sungai, air tanah maupun air sumur. Air yang digunakan sebagai air baku harus memenuhi persyaratan sesuai dengan kegunaannya. Air baku dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air bersih (Prayitno, 2009)

Standar kualitas air bersih di Indonesia diatur pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dimana air yang tersalur harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih dan dapat dinilai dari penglihatan bahwa air seharusnya bersih tanpa berbau, berwarna dan keruh dan layak untuk didistribusikan kepada pelanggan. Kualitas mutu air bersih dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Agar baku mutu air minum dapat terpenuhi, maka diperlukan berbagai usaha untuk menjaga kualitas air, yaitu:

1. Kontrol pada sumber air dapat dilakukan dengan pemilihan sumber air, control terhadap sumber polusi yang masuk ke sumber air, perbaikan kualitas sumber, kontrol pertumbuhan biologi.
2. Instalasi pengolahan air yang tepat
3. Kontrol pada sistem transmisi dan distribusi untuk mencegah kontaminan.

Air baku yang digunakan dalam pengolahan air bersih umumnya menggunakan air permukaan atau air sungai. Namun dalam Tugas Perancangan Bangunan Pengolahan Air Bersih kali ini menggunakan hasil pengolahan air buangan Industri Tahu Kelurahan Moodu, Kota Gorontalo yang sudah memenuhi baku mutu melalui proses pengolahan air buangan sebelumnya. Adapun karakteristik yang terkandung dalam air baku yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.1.1 pH

pH adalah ukuran yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan encer, dan mencerminkan konsentrasi ion hidrogen di dalamnya. pH memiliki peran yang signifikan dalam menilai kualitas air karena memengaruhi berbagai proses biologis dan kimia di dalamnya. Khususnya untuk air minum, pH yang netral (+7) dianggap ideal karena memengaruhi efektivitas proses klorinasi. Secara prinsip, pH memiliki peran dalam mengatur proporsi karbon dioksida, karbonat, dan bikarbonat, yang merupakan faktor penting dalam menjaga keseimbangan kimia dalam air (Chapman, 2000).

2.1.2 COD

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Metcalf & Eddy et al., 2007). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit

teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat. (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

2.1.3 BOD

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (biological oxidation) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis. Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD5. Menurut Perry (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD. Menurut Perry (1998), diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada air limbah domestik dengan temperatur 20°C, materi organik dapat terurai seluruhnya (100% BOD) pada waktu setelah 20 hari (Brake, 1998). Namun, dalam kondisi tertentu, air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, amonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. Oleh karena itu, BOD5 dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik di dalam air limbah domestik. BOD5 juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) dalam pemantauan kualitas air limbah domestik (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

2.1.4 TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya

cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003).

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam sulfat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Nusa Idaman Said, 2017).

2.1.5 Total N

Menurut Effendi (2003), Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrien utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi (Effendi, 2003). Pada limbah yang belum diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik yaitu mendapatkan energinya melalui proses oksidasi dari ion ammonium (Effendi, 2003).

Proses kombinasi aerob-anaerob biasanya digunakan untuk menyisihkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Untuk penyisihan nitrogen, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amonia diubah menjadi ion amonium dan nitrat ($\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik (anoxic) terjadi proses denitrifikasi,

yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}_2$). Kombinasi proses aerob-anaerob juga dapat menghilangkan fosfor maupun BOD/COD secara bersamaan dengan baik. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diambil oleh bakteri/mikroorganisme dan disintesis menjadi polifosfat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa BOD/COD. Sementara pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisis senyawa fosfor, sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada dalam air limbah (Satria et al., 2019).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Bersih

2.2.1 Aerasi

A. Gambaran Umum

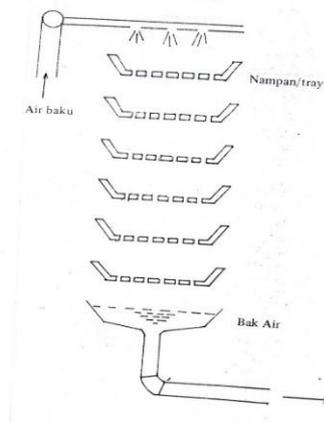
Aerasi adalah pengolahan air dengan menambahkan oksigen ke dalam air. Dengan menambahkan oksigen, pengotor yang tersuspensi dalam air akan dihilangkan, sehingga konsentrasi polutan hilang atau bahkan hilang sama sekali. Dalam prakteknya, ada dua cara untuk menambahkan oksigen ke dalam air, yaitu memasukkan udara ke dalam air dan/atau memaksa air naik hingga bersentuhan dengan oksigen (Yuniarti, Komala, & Aziz, 2019). Tujuan utama dari proses aerasi adalah untuk memungkinkan O_2 di udara bereaksi dengan kation dalam air yang diolah. Reaksi kation dan oksigen mengoksidasi logam yang sulit larut dalam air, sehingga dapat mengendap. Keuntungan dari proses ini adalah penghilangan rasa dan bau yang tidak enak, penghilangan gas yang tidak perlu (CO_2 , metana, hidrogen sulfida) dan peningkatan keasaman air (karena kandungan CO_2 dihilangkan). Selain itu, proses udara juga dapat menurunkan kadar besi (Fe) dan magnesium (Mg). Kation Fe^{2+} atau Mg^{2+} membentuk oksida Fe_3O_3 dan MgO ketika diinjeksikan di udara (Yuniarti, Komala, & Aziz, 2019).

B. Jenis-jenis Aerasi

Empat jenis aerator yang umum digunakan menurut (Qasim, Motley, & Zhu, 2000) adalah (1) *gravity aerators*, (2) *spray aerators*, (3) *diffused-air aerators*, dan (4) *mechanical aerators*. Pertimbangan desain utama untuk semua jenis aerator adalah menyediakan antar muka maksimum antara udara dan air dengan pengeluaran energi minimum.

Jenis-jenis metode aerasi dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

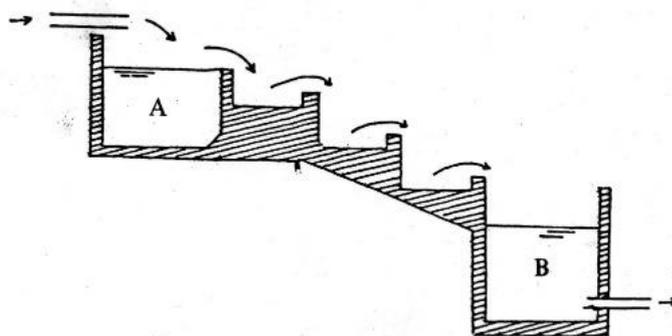
a. *Waterfall aerator* (aerator air terjun)



Gambar 2.1 *Multiple Tray Aerator*

Pengolahan air aerasi dengan metoda *Waterfall/Multiple aerator* seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang-lubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m² permukaan tray. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap tray berikutnya. Tray-tray ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan-lempengan absetos cement berlubang-lubang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.

b. *Cascade aerator*

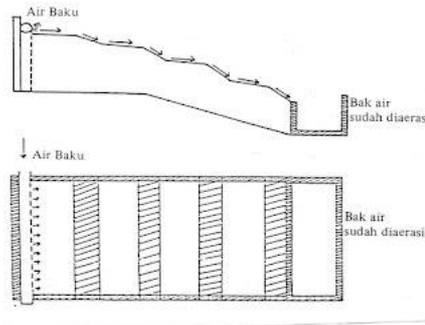


Gambar 2.2 *Cascade Aerator*

Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m³/det per m².

Untuk menghilangkan gerak putaran (turbulence) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan tray aerators, ruang yang diperlukan bagi cascade aerators agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.

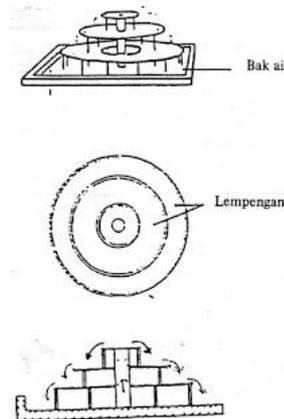
c. *Submerged Cascade Aerator*



Gambar 2.3 Aerasi Tangga Aerator

Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembunggelembung udara kedalam air. Total ketinggian jatuh kirakira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 05 m³/det per meter luas.

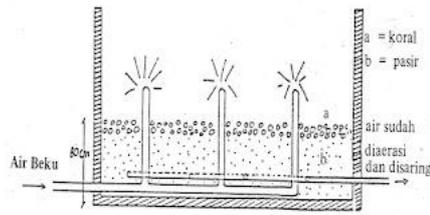
d. *Multiple Platform Aerator*



Gambar 2.4 Multiple Platform Aerator

Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.

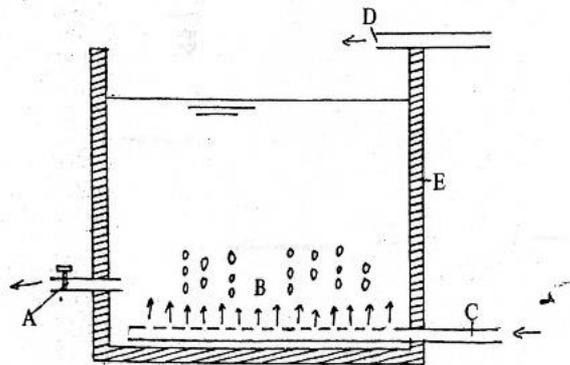
e. *Spray Aerator*



Gambar 2.5 Spray Aerator

Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (Stationary nozzles) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik. Spray aerator sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air ke arah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm. piringan melingkar ditempatkan beberapa cm di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetes-tetes yang halus. Nozzle untuk spray aerator bentuknya bermacam-macam, ada juga nozzle yang dapat berputar-putar.

f. Aerator Gelembung Udara (*Bubble aerator*)



Gambar 2.6 Bubble Aerator

Jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi bubble (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3 – 0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.

g. *Multiple-Tray Aerator*

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (tray) dan dilubangi pada bagian dasarnya. Air dialirkan dari puncak

berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (tray) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (*collecting pans*). Pemerataan distribusi air di atas tray sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 26 inch (5-15 cm) adalah sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalis dari mangan oksida. *Multiple Tray Aerator* harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan dimana terdapat pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan

C. Rumus Perhitungan

1. Pipa Inlet

$$D \text{ pipa} = \left(\frac{Q}{V \times \frac{1}{4} \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V \text{ cek} = \left(\frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \right)$$

2. Td

$$\text{Volume bak} = H \times \text{Luas bak}$$

$$T_d = \frac{\text{volume}}{Q}$$

3. Dimensi bak aerasi

$$V = P \times L \times H$$

$$H \text{ total} = \text{kedalaman} + (20\% \times \text{kedalaman})$$

Cek volume

$$V_{\text{cek}} = P \times L \times H$$

4. Jumlah Nozzle = $\frac{Q \text{ tiap bak}}{Q \text{ tiap nozzle}}$

5. Diameter pipa untuk nozzle

$$\text{Maka debit tiap pipa} = \frac{\text{jumlah nozzle}}{\text{jumlah pipa}} \times Q \text{ nozzle}$$

$$D \text{ pipa} = \left(\frac{Q}{V \times \frac{1}{4} \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V \text{ cek} = \left(\frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \right)$$

6. Jarak antar nozzle

$$\text{Jumlah nozzle tiap pipa} = \frac{\text{jumlah nozzle}}{\text{jumlah pipa}}$$

$$\text{Jarak antar nozzle} = \frac{\text{panjang pipa}}{\text{jumlah nozzle} + 1}$$

7. Perhitungan kebutuhan oksigen (O₂)

Jumlah BOD atau COD = BOD atau COD influent x Q produksi

Kebutuhan udara teoritis = jumlah BOD atau COD x 1,5

Keterangan: nilai 1,5 merupakan faktor keamanan

$$\text{Jumlah kebutuhan udara teori} = \frac{\text{kebutuhan oksigen}}{\text{berat udara x oksigen di udara}}$$

$$\text{Kebutuhan udara aktual} = \frac{\text{jumlah kebutuhan udara teori}}{\text{efisiensi removal}}$$

2.2.2 Filtrasi

A. Gambaran Umum

Filtrasi adalah menghilangkan partikel padat dari fluida dengan cara memindahkan partikel padat ke media filter atau septum, dan padatan tersebut akan diendapkan pada media filter atau septum. Filtrasi adalah operasi atau proses di mana campuran heterogen partikel fluida dan padat dipisahkan oleh media filter yang melewati fluida tetapi tetap mempertahankan partikel padat. Filtrasi adalah penggunaan media filter atau filter untuk memisahkan partikel koloid atau padat dari suatu fluida. Air yang mengandung padatan atau koloid dialirkan melalui media filter dengan ukuran pori lebih kecil dari ukuran padatan.

Tujuan filtrasi adalah proses pemisahan padatan dari padatan pembawa cairan (cair atau gas) menggunakan media berpori atau bahan berpori lainnya untuk menghilangkan sebanyak mungkin padatan halus dan koloid tersuspensi. Dalam pengolahan air bersih, filtrasi digunakan untuk menyaring air hasil proses koagulasi-flokulasi-sedimentasi untuk menghasilkan air bersih yang berkualitas tinggi. Selain mengurangi kandungan padatan, filtrasi juga dapat menurunkan kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, zat besi dan mangan. Sistem filter yang dirancang untuk pengolahan air tergantung pada tujuan pengolahan dan pengolahan awal air baku sebagai filter influen.

Pada filtrasi dengan media berbutir, terdapat beberapa mekanisme filtrasi sebagai berikut:

- a) Penyaringan secara mekanis (mechanical straining)
- b) Sedimentasi
- c) Adsorpsi atau gaya elektrokinetik
- d) Koagulasi di dalam filter bed
- e) Aktivitas biologis

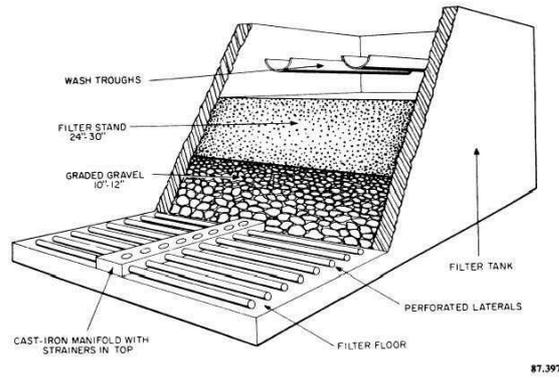
B. Jenis-jenis Bangunan Filter

Berdasarkan pada kapasitas produksi air yang terolah, filter pasir dapat dibedakan menjadi dua, yaitu filter pasir cepat dan filter pasir lambat.

1. Filter Pasir Cepat

Filter pasir cepat atau rapid sand filter adalah filter dengan laju filtrasi cepat 4 hingga 21 m/jam. Sebelum filter ini, proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan dilakukan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika kekeruhan influen saringan pasir cepat antara 5-10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhan bisa mencapai 90-98%. Bagian-bagian dari saringan pasir cepat termasuk:

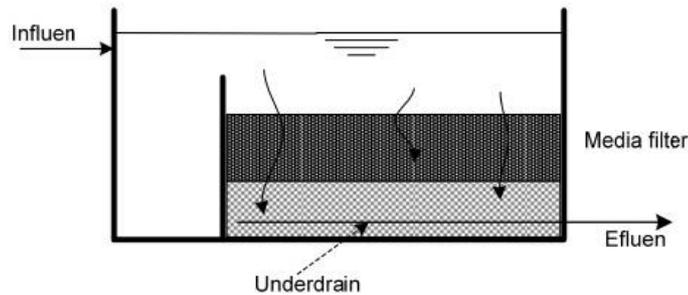
- A. Bak filter, merupakan tempat proses filtrasi berlangsung. Jumlah dan ukuran bak tergantung debit pengolahan (minimum dua bak).
- B. Media filter, merupakan bahan berbutir/granular yang membentuk pori-pori di antara butiran media. Pada pori-pori inilah air mengalir dan terjadi proses penyaringan.
- C. Sistem underdrain. Underdrain merupakan sistem pengaliran air yang telah melewati proses filtrasi yang terletak di bawah media filter. Underdrain terdiri atas:
 - Orifice, yaitu lubang pada sepanjang pipa lateral sebagai jalan masuknya air dari media filter ke dalam pipa.
 - Lateral, yaitu pipa cabang yang terletak di sepanjang pipa manifold.
 - Manifold, yaitu pipa utama yang menampung air dari lateral dan mengalirkannya ke bangunan penampung air.



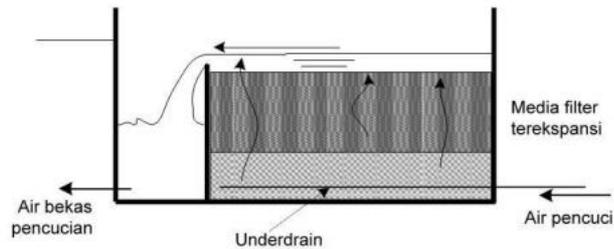
Gambar 2.7 Bagian-bagian Filtrasi

Sistem operasi filter pasir cepat adalah sebagai berikut:

1. Selama proses filtrasi berlangsung, partikel yang terbawa air akan tersaring di media filter. Sementara itu, air terus mengalir melewati media pasir dan penyangga, masuk lubang/orifice, ke pipa lateral, terkumpul di pipa manifold, dan akhirnya air keluar menuju bak penampung (Gambar 2.8).
2. Partikel yang tersaring di media lama kelamaan akan menyumbat pori-pori media sehingga terjadi clogging (penyumbatan). Clogging ini akan meningkatkan headloss aliran air di media. Peningkatan headloss dapat dilihat dari meningkatnya permukaan air di atas media atau menurunnya debit filtrasi. Untuk menghilangkan clogging, dilakukan pencucian media.
3. Pencucian dilakukan dengan cara memberikan aliran balik pada media (backwash) dengan tujuan untuk mengurai media dan mengangkat kotoran yang menyumbat pori-pori media filter. Aliran air dari manifold, ke lateral, keluar orifice, naik ke media hingga media terangkat, dan air dibuang melewati gutter yang terletak di atas media (Gambar 2.9).
4. Bila media filter telah bersih, filter dapat dioperasikan kembali.



Gambar 2.8 Aliran Air Pada Saat Operasi Filter



Gambar 2.9 Aliran Air Pada Saat Pencucian Filter

2. Filtrasi Pasir Lambat

Saringan pasir lambat atau slow sand filter adalah saringan dengan laju filtrasi yang lebih lambat, sekitar 0,1-0,4 m/jam. Kecepatan yang lebih lambat ini disebabkan oleh ukuran medium pasir yang kecil (ukuran efektif = 0,15-0,35 mm). Saringan pasir lambat adalah sistem penyaringan yang paling awal digunakan untuk pengolahan air, yang telah dikembangkan sejak tahun 1800 SM. Sebelum proses filtrasi, air baku diendapkan terlebih dahulu.

Saringan pasir lambat sangat efektif untuk menghilangkan bahan organik dan organisme patogen pada air baku dengan kekeruhan yang relatif rendah. Filter pasir lambat banyak digunakan dalam pengolahan air dengan kekeruhan air baku di bawah 50 NTU. Efisiensi saringan pasir lambat bergantung pada distribusi ukuran partikel pasir, rasio luas permukaan terhadap kedalaman saringan, dan laju filtrasi.

Prinsip kerja slow sand filter adalah membentuk lapisan biofilm beberapa milimeter di atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan "hygegeal" atau "schmutzdecke". Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifer dan larva serangga air. Schmutzdecke adalah cat yang secara efektif dapat memurnikan dalam pengolahan air bersih. Saat air melewati schmutzdecke,

partikel akan ditangkap dan bahan organik terlarut akan diserap, diserap dan dicerna oleh bakteri, jamur dan protozoa. Proses yang terjadi di schmutzdecke sangat kompleks dan dapat diubah, tetapi masalah utamanya adalah regangan mekanis dari sebagian besar bahan tersuspensi berada pada lapisan tipis dengan pori-pori yang sangat kecil (kurang dari 1 mikron). Ketebalan lapisan ini meningkat seiring waktu hingga mencapai sekitar 25 mm, yang mengakibatkan penurunan aliran. Ketika kecepatan penyaringan turun ke tingkat tertentu, penyaring harus dibersihkan dengan mengambil lapisan pasir atas setebal 25 mm.

a) Keuntungan filter lambat antara lain:

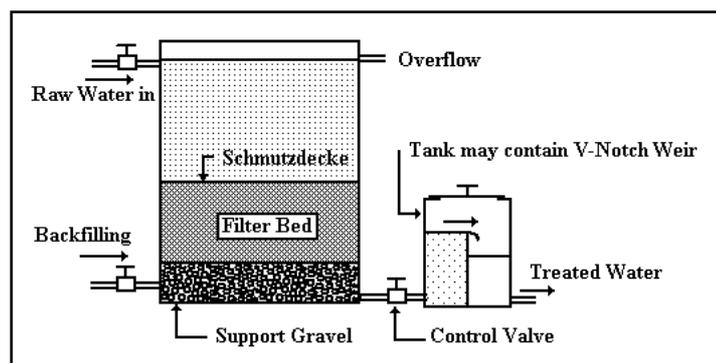
- Biaya konstruksi rendah
- Rancangan dan pengoperasian lebih sederhana
- Tidak diperlukan tambahan bahan kimia
- Variasi kualitas air baku tidak terlalu mengganggu
- Tidak diperlukan banyak air untuk pencucian, pencucian tidak menggunakan backwash, hanya dilakukan di bagian atas media

b) Kerugian filter pasir lambat:

- besarnya kebutuhan lahan, yaitu sebagai akibat dari lambatnya kecepatan filtrasi.

Secara umum, filter pasir lambat hampir sama dengan filter pasir cepat.

Filter lambat tersusun oleh bak filter, media pasir, dan sistem underdrain.



Gambar 2.10 Skema Filter Pasir Lambat

C. Media Filter dan Distribusi Media

Bagian filter yang berperan penting dalam melakukan penyaringan adalah media filter. Media Filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir

garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang akan digunakan dilakukan dengan analisa ayakan (*sieve analysis*). Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif (*effective size*) dan keseragaman media yang diinginkan (dinyatakan sebagai *uniformity coefficient*).

Effective Size (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai d10 (diameter pada persentil 10).

Uniformity Coefficient (UC) atau koefisien keseragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60 % fraksi berat terhadap ukuran efektif atau dapat ditulis: ($UC = d_{60}/d_{10}$. d6 adalah diameter butiran pada persentil 60).

Berdasarkan jenis dan jumlah media yang digunakan dalam penyaringan, media filter dikategorikan menjadi:

- a) Single media: Satu jenis media seperti pasir silika, atau dolomit saja. Filter cepat tradisional biasanya menggunakan pasir kwarsa. Pada sistem ini penyaringan SS terjadi pada lapisan paling atas sehingga dianggap kurang efektif karena sering dilakukan
- b) Dual media: misalnya digunakan pasir silica, dan anthrasit. Filter dual media sering digunakan filter dengan media pasir kwarsa di lapisan bawah dan antharasit pada lapisan atas.

Keuntungan dual media:

- Kecepatan filtrasi lebih tinggi (10 – 15 m/jam)
 - Periode pencucian lebih lama
 - Merupakan peningkatan filter single media (murah)
- c) *Multi media*: misalnya digunakan pasir silica, anthrasit dan garnet atau dolomit. Fungsi *multi media* adalah untuk memfungsikan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring.

Susunan media berdasarkan ukurannya dibedakan menjadi:

1. Seragam (*uniform*), ukuran butiran media filter relatif sama dalam satu bak.
2. Gradasi (*stratified*), ukuran butiran media tidak sama dan tersusun bertingkat.

3. Tercampur (*mixed*), ukuran butiran media tidak sama dan bercampur.

Pada Tabel 2.1 mencantumkan beberapa jenis dan jumlah ukuran efektif media filter dan standar nilai keseragaman media. Jika pasir tidak memenuhi standar, maka ukuran harus dipilih untuk memenuhi standar tersebut. Metode penghitungan persentase pasir yang tersedia, pasir terlalu kecil dan pasir terlalu besar adalah sebagai berikut:

1. Presentase stok pasir yang dapat digunakan

$$P_{use} = 2(P_{st60} - P_{st10})$$

2. Presentase pasir yang terlalu kecil

$$P_f = P_{st10} - 0,1P_{use} = P_{st10} - 0,2(P_{st60} - P_{st10})$$

3. Presentase ukuran pasir yang terlalu besar

$$P_c = 100 - P_f - P_{use}$$

Keterangan:

- P_{st10} adalah persentase pasir stok yang memenuhi ES sesuai kriteria yang diminta
- P_{st60} adalah persentase pasir stok yang memenuhi ES x UC sesuai kriteria yang diminta.

Setelah dilakukan pemilihan ukuran butiran pasir stok, maka pasir stok dapat digunakan sebagai media filter yang memenuhi kriteria.

Tabel 2.1 Perbedaan Karakteristik Media

No.	Karakteristik	Nilai	
		Nilai	Rekomendasi
1	Single media		
	A. Media pasir		
	- kedalaman	610-760	685
	- ES (mm)	0,35-0,70	0,60
	- UC	<1,7	<1,7
	B. Media Antrasit		
	- kedalaman	610-760	685
	- ES (mm)	0,70-0,75	0,75
- UC	<1,75	<1,75	

	C. Rate Filtrasi (I/det.m ²)	1,36-3,40	2,72
2	Dual media		
	A. Antrasit		
	- kedalaman	460-610	610
	- ES (mm)	0,0-1,1	1,0
	- UC	1,6-1,8	<1,7
	B. Pasir		
	- kedalaman	150-205	150
	- ES (mm)	0,45-0,55	0,50
	- UC	1,5-1,7	1,6
	C. Rate Filtrasi (I/det.m ²)	2,04-5,44	3,4
3	Multi media		
	A. Antrasit		
	- kedalaman	420-530	460
	- ES (mm)	0,95-1,0	1,0
	- UC	1,55-1,75	<1,75
	B. Pasir		
	- kedalaman	150-250	230
	- ES (mm)	0,45-0,55	0,50
	- UC	1,5-1,65	1,6
	C. Garnet		
	- kedalaman	75-115	75
	- ES (mm)	0,20-0,35	0,20
	- UC	1,6-2,0	<1,6
	D. Rate Filtrasi (I/det.m ²)	2,72-6,80	4,08

Sumber: (Tom D. Reynolds, 1996)

- a. Dimensi Bak Filter Luas permukaan bak filter tergantung pada jumlah bak, debit pengolahan, dan kecepatan (rate) filtrasi. Jumlah bak ditentukan berdasarkan debit pengolahan dengan rumus pendekatan: $N = 1,2 Q^{0,5}$ dengan Q adalah debit pengolahan (mgd). Jumlah bak juga dapat ditentukan dengan batasan luas permukaan maksimum 100 m² per bak. Jumlah bak minimum adalah dua. Berdasarkan luas permukaan bak, ukuran bak (panjang dan lebar,

atau diameter) dapat ditentukan. Ratio lebar terhadap panjang berkisar 1 : 1 hingga 1 : 2. Tinggi bak filter ditentukan dari tinggi total bahan yang terdapat di bak, meliputi underdrain, media penyangga, media filter dan air di atas media ditambah dengan tinggi jagaan (freeboard). Tinggi air di atas media direncanakan sekitar 90-120 cm.

b. Hidrolika Filtrasi

1. Headloss (HL) Pada prinsipnya aliran pada media berbutir (filter pasir) dianggap sebagai aliran dalam pipa berjumlah banyak. Kehilangan tekanan dalam pipa akibat gesekan aliran mengikuti persamaan Darcy – Weisbach.
2. Bilangan Reynold, N_{re} Bilangan Reynold, N_{Re} merupakan fungsi diameter dan kecepatan aliran.
3. Koefisien Drag Merupakan koefisien yang besarnya tergantung bilangan Reynolds.

c. Hidrolika Pencucian (Backwashing)

Filter pasir cepat yang digunakan dalam jangka waktu tertentu, maka akan tersumbat karena media filter menahan partikel halus dan koloid. Media filter yang tersumbat ditandai oleh:

1. Penurunan kapasitas produksi (digunakan untuk filter head tekanan konstan).
2. Kehilangan energi (headloss) meningkat, dan kemudian ketinggian air di atas media filter meningkat (untuk filter constant rate).
3. Mengurangi kualitas air produksi.

Jika tujuan ini tercapai (seperti yang ditunjukkan oleh head tekanan negatif), filter harus dibersihkan. Teknologi pembersihan filter yang cepat dapat dilakukan dengan menggunakan kecepatan backwashing tertentu untuk memfluidisasi media filter dan bertabrakan di antara media. Benturan antar media akan menyebabkan kotoran menempel pada media, dan kotoran yang terkelupas akan terbawa aliran air. Untuk meningkatkan kinerja backwash, biasanya permukaan harus dibersihkan terlebih dahulu dan/atau tekan dari bawah dengan blower (pembersihan udara).

Tujuan pembersihan filter adalah untuk mengeluarkan kotoran pada media filter ke atas hingga media mengembang. Biasanya, ketinggian ekspansi adalah 15% hingga 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter, yaitu:

1. Menggunakan menara air
2. Interfilter
3. Pompa backwash

Untuk menghitung head pompa pencucian atau tinggi menara, maka harus dihitung headloss melalui media, dasar filter (under drain), dan sistem perpipaan pada saat awal backwash. Saat awal backwash, tekanan air backwash harus mampu memecahkan media yang kemungkinan memadat akibat adanya kotoran yang melekat pada permukaan media. Tekanan air backwash juga harus mampu mengangkat pasir hingga ketinggian tertentu (terfluidasi).

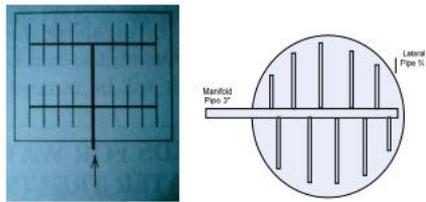
d. Sistem Underdrain

Sistem underdrain adalah sistem pengaliran air di bawah media filter setelah air melewati proses penyaringan. Persyaratan sistem underdrain adalah :

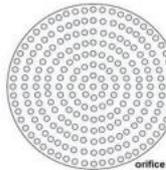
1. Dapat mendukung media di atasnya.
2. Distribusi merata pada saat pencucian.

Kriteria untuk sistem underdrain adalah sebagai berikut :

1. Dasar filter dapat terdiri dari sistem perpipaan yang tersusun dari lateral dan manifold, dimana air diterima melalui lubang orifice yang diletakkan pada pipa lateral.
2. Kecepatan pencucian ± 36 m/jam (600 L/m².menit), dengan tinggi ekspansi sebesar 15 cm sehingga headloss = 25 cm.
3. Manifold dan lateral ditujukan agar distribusi merata, headloss 1 – 3 m dengan kriteria sistem manifold – lateral:
 - a. Perbandingan luas orifice/filter = 0,0015 – 0,005
 - b. Perbandingan luas lateral/ orifice = 2 – 4
 - c. Perbandingan luas manifold/lateral = 1,5 – 3
 - d. Diameter orifice = 0,6 – 2 cm.
 - e. Jarak antara orifice = 7,5 – 30 cm
 - f. Jarak antara lateral = orifice.



Gambar 2.11 Sistem underdrain dengan model manifold pipe



Gambar 2.12 Sistem underdrain dengan model perforated plate



Gambar 2.13 Sistem underdrain dengan model nozzle dan strainer

D. Rumus Perhitungan

a) Bak Filtrasi

1. Debit saluran pembawa (Q_s)

$$Q_s = \frac{Q}{n}$$

2. Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{v}$$

3. Dimensi saluran ($W : L = 1 : 2$)

$$A = W \times L$$

$$L = 2 \times W$$

b) Kehilangan Tekanan Media Filtrasi

Antrasit, Pasir, dan Garnet

1. Nilai bilangan Reynold (N_{re})

$$N_{re} = \frac{\text{shape factor } (\theta) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (V_a)}{\text{viskositas dinamik } (\mu)}$$

2. Koefisien drag (C_d)

$$C_d = \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34$$

3. Kehilangan tekanan (H_1)

$$H1 = 1,067 \times \frac{D \times Va^2}{\psi \times \epsilon^4 \times g} \sum \frac{CD}{d}$$

c) Backwash

Antrasit, Pasir, dan Garnet

1. Nilai bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{\text{shape factor } (\theta) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (Va)}{\text{viskositas dinamik } (\mu)}$$

2. Koefisien drag (Cd)

$$Cd = \frac{24}{Nre} + \frac{3}{\sqrt{Nre}} + 0,34$$

3. Kecepatan pengendapan partikel (Vs)

$$Vs = \left[\frac{4g}{3CD} (Sg - 1)d \right]^{\frac{1}{2}}$$

4. Kecepatan backwash (Vb)

$$Vb = Vs \times \epsilon^{4,5}$$

5. Debit backwash (Qb)

$$Qb = Vb \times 1000 \text{ L/m}^3$$

6. Kehilangan tekanan awal backwash (HL)

$$HL = (Sg - 1) \times (1 - \epsilon) \times D$$

7. Tinggi ekspansi media (Le)

$$Le = D \frac{1-d}{1 - \left(\frac{Va}{Vs}\right)^{0,22}}$$

d) Sistem Manifold

a. Pipa manifold

1. Luas penampang pipa

$$A = \frac{Q}{v}$$

2. Diameter pipa manifold

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

3. Cek kecepatan aliran pipa

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

4. Panjang pipa manifold

$$Lm = \text{panjang bak filtrasi}$$

b. Pipa lateral

1. Diameter pipa lateral

$$DL = 1/3 \times Dm$$

2. Luas penampang pipa

$$A = 1/4 \times \pi \times DL^2$$

3. Debit tiap pipa lateral

$$QL = V \times A$$

4. Jumlah pipa lateral

$$n = \frac{Q}{QL}$$

5. Jumlah lateral tiap sisi

$$n = \frac{\text{jumlah pipa lateral}}{2}$$

6. Cek debit lateral

$$Q \text{ cek} = \frac{Q}{\text{jumlah pipa lateral}}$$

7. Panjang pipa lateral

$$LL = \frac{\text{lebar bak} - Dm \times (2 \times DL)}{2}$$

- c. Orifice

1. Luas lubang orifice

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D \text{ orifice}^2$$

2. Jumlah lubang orifice tiap bak filter

$$n = \frac{0,0025 \times A \text{ filter}}{A \text{ orifice}}$$

3. Jumlah orifice tiap pipa lateral

$$n = \frac{\text{jumlah lubang orifice}}{\text{jumlah pipa lateral}}$$

2.2.3 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya Reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari Reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengna debit pemakaian air. Pada saat

jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air.

2.3 Persen Removal

Persen removal merupakan persen keberhasilan pengolahan dalam meremoval suatu kadar pencemar. Persen removal biasanya berfungsi untuk menentukan unit mana yang sesuai untuk mengolah air limbah agar effluent dapat sesuai dengan baku mutu. Persen removal pada sistem perancangan pengolahan sangat penting digunakan untuk dapat menentukan apakah jenis atau unit pengolahan yang digunakan telah efektif dan efisien.

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/ head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa.

Profil hidrolis adalah gambaran yang menunjukkan garis ketinggian muka air bebas dalam tiap unit bangunan pengolah limbah ketika proses berlangsung. Hal – hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat Profil Hidrolis, antara lain:

- Kehilangan tekanan. Pada bangunan pengolahan Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu: kehilangan tekanan pada saluran terbuka dan kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus.
- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan assesoris

- Tinggi muka air Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi ketinggian bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan

2.5 BOQ dan RAB

2.5.1 BOQ

BOQ (daftar kuantitas) adalah perincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. Yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap dan sebagainya.

Karakteristik BOQ :

- a. Dalam BoQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume.
- b. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga.
- c. Dalam BOQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan.
- d. Menghitung volume BOQ berdasarkan gambar rencana.
- e. Pihak yang menyusun BOQ adalah konsultan perencana.

Tujuan Membuat BOQ antara lain:

- 1) Sebagai perhitungan awal, untuk mengetahui jumlah biaya yang harus disiapkan oleh Owner untuk pelaksanaan proyek.
- 2) Untuk keperluan pelaksanaan proses tender (lelang) proyek.
- 3) Berguna sebagai acuan/dasar bagi peserta lelang (kontraktor) untuk mengajukan penawaran harga.

2.5.2 RAB

RAB Adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang kita anggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat maupun biaya/upah tenaga kerja. RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja.

Pada proyek berskala kecil yang tidak menggunakan jasa konsultan perencana, misalnya pembangunan rumah tinggal. Kontraktor selalu melakukan perhitungan RAB untuk diajukan kepada owner. Sementara kasus yang sedikit berbeda, jika kontraktor ingin nge-sub salah satu pekerjaan dari maincont. Walaupun sebenarnya maincont memiliki BoQ, namun tak jarang kontraktor harus melakukan perhitungan RAB. sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya.