

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Gula

Setiap industri dan jenis bangunan memiliki karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) yang mempunyai karakteristik limbah domestik, menurut Baku Mutu Air Limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014, sebagai berikut :

2.1.1 pH

Konsentrasi ion hidrogen memiliki peranan penting dalam menjaga kualitas air, baik itu dalam konteks air bersih maupun limbah. Istilah yang biasanya digunakan untuk mengukur konsentrasi ion hidrogen ini adalah pH, yang dapat dijelaskan sebagai nilai logaritma negatif dari jumlah ion hidrogen dalam suatu larutan. $pH = -\log_{10} [H^+]$. Rentang pH yang paling ideal bagi kehidupan biologis adalah antara 6 hingga 9. Limbah dengan tingkat keasaman yang ekstrem sulit untuk diolah secara biologis. Jika limbah cair tidak diatur tingkat keasamannya sebelum dibuang, maka hal ini dapat memengaruhi tingkat pH dalam ekosistem air alami.

Dalam proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman yang boleh dibuang ke badan air umumnya berkisar antara 6,5 hingga 8,5. Untuk mengukur pH, tersedia berbagai alat seperti pH meter dan kertas pH, serta indikator warna pH yang digunakan sebagai panduan (Metcalf & Eddy, 2003). Di beberapa industri, pH dapat mencapai angka yang sangat tinggi, mencapai 13. Namun, peraturan seperti Peraturan Gubernur (Pergub) Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Cold Storage mengatur bahwa tingkat keasaman yang diperbolehkan berada dalam kisaran 6 hingga 9.

2.1.2 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah sebuah sifat yang dapat mengindikasikan jumlah oksigen terlarut dalam air yang diperlukan oleh mikroorganisme. Biasanya, bakteri digunakan untuk secara biokimia mengurangi

bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). BOD adalah banyaknya oksigen yang dinyatakan dalam satuan ppm atau miligram per liter (mg/l) yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai materi organik sehingga limbah tersebut dapat menjadi bening kembali. Pada kondisi alami, proses ini memerlukan waktu 100 hari pada suhu 20°C, tetapi dalam pengujian laboratorium, waktu yang digunakan adalah 5 hari, sehingga disebut BOD5 (Sugiharto, Dasar Pengelolaan Air Limbah, hal.6). Parameter BOD digunakan untuk menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara biologis dengan efisien. Boyd (1990) menekankan bahwa bahan organik yang terurai dalam BOD adalah bahan organik yang dapat dengan mudah terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa nilai BOD menyatakan jumlah oksigen namun dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik yang mudah terurai. Kandungan BOD pada limbah industri gula yaitu 2356 mg/L. Sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD5 yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 39,22 mg/l.

2.1.3 COD (Chemical Oxygen Demand)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah materi organik yang terdapat dalam air sungai atau limbah yang dapat mengalami oksidasi kimia dengan menggunakan dikromat dalam suasana asam. Nilai COD selalu lebih tinggi dibandingkan dengan BOD meskipun terdapat kemungkinan bahwa kedua nilai ini bisa sama, namun hal tersebut sangat langka terjadi. Ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti adanya zat organik yang sulit untuk dioksidasi secara biologis, seperti contohnya lignin yang hanya dapat dioksidasi secara kimia. Selain itu, adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat juga dapat meningkatkan kandungan materi organik dalam sampel. Beberapa zat organik tertentu juga dapat memiliki efek meracuni terhadap mikroorganisme yang digunakan dalam pengujian BOD. Oleh karena itu, tingginya nilai COD dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk reaksi zat anorganik dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2003). Kandungan COD pada air limbah industri gula sebesar 2957 mg/L, sedangkan baku

mutu yang mengatur besar kandungan COD yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 69,61 mg/L.

2.1.4 TSS (Total Suspended Solid)

TSS (Total Suspended Solids) merujuk pada bahan padat yang meliputi pasir, lumpur, tanah liat, atau partikel lain yang mengambang dalam air. TSS adalah padatan yang berada dalam keadaan tersuspensi dan dapat ditangkap oleh kertas saring dengan ukuran partikel maksimal sekitar 2 μm , sesuai dengan standar SNI 06-6989.3-2004. TSS adalah total dari semua padatan yang dapat disaring oleh filter dengan ukuran pori tertentu, dan nilainya diukur setelah padatan tersebut dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk mengukur TSS adalah filter serat kaca Whatman dengan ukuran pori sekitar 1,58 μm . Di sisi lain, TS (Total Solids) adalah sisa padatan yang masih ada setelah seluruh air limbah diuapkan dan dikeringkan dengan suhu yang ditentukan, biasanya antara 103 hingga 105°C (Metcalf & Eddy, 2003). TSS merupakan faktor utama yang menyebabkan air menjadi keruh, karena adanya partikel-partikel yang berada dalam keadaan tersuspensi di dalamnya, yang dapat menghambat penyerapan cahaya matahari oleh air. Kekeruhan ini dapat mengganggu kemampuan mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis, karena sinar matahari sulit menembus air. TSS mencakup semua jenis padatan yang ada di dalam air, termasuk senyawa organik dan anorganik. Kandungan TSS pada air limbah industri gula ini adalah 173 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 40,19 mg/L.

2.1.5 Sulfida

Sulfida adalah sebuah substansi yang tidak memiliki warna, bersifat beracun, dan dapat terbakar, dan memiliki ciri khas bau yang mirip bau telur yang sudah busuk. Sulfida utamanya diserap melalui pernapasan. Ketika seseorang menghirup udara yang mengandung sulfida, substansi ini akan masuk ke dalam aliran darah dan menyebar ke seluruh tubuh. Biasanya, manusia dapat mencium bau sulfida pada konsentrasi rendah di udara, yaitu antara 0,0005 hingga 0,3 ppm, dan konsentrasi ambang batas bau sulfida dalam air bersih berkisar antara 0,025 hingga 0,25 g/L

(Puspasar dkk, 2019). Konsentrasi sulfida dalam ekosistem air alami cenderung turun dengan cepat karena terjadi oksidasi oleh oksigen yang terlarut dalam air serta melalui proses biokimia. Oleh karena itu, kehadiran sulfida dalam ekosistem air alami merupakan tanda adanya kekurangan oksigen yang akut, yang dapat menghambat pertumbuhan hewan air dan bahkan dapat menyebabkan kematian karena kekurangan oksigen. Tingginya tingkat toksisitas sulfida dan bau yang tidak menyenangkan menjadikan air tersebut tidak cocok untuk digunakan sebagai sumber air minum dan keperluan rumah tangga (Al Khazaal dkk, 2019). Kandungan sulfida pada air limbah industri gula ini adalah 7 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan sulfida yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,5 mg/L.

2.1.6 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak sebenarnya memiliki kesamaan, yaitu keduanya merupakan jenis ester yang terbentuk dari gliserol (gliserin) dan asam lemak. Perbedaannya terletak pada sifat fisiknya, dimana gliseride asam lemak yang berwujud cair pada suhu normal disebut minyak, sementara yang berwujud padat disebut lemak. Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, hal ini dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan dan membentuk lapisan yang menghambat penembusan cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk membentuk lapisan yang memblokir cahaya di permukaan badan air hanya sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in) (Metcalf & Eddy, 2003). Kandungan minyak lemak yang ada di industri gula adalah 18,9 mg/L. Baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak lemak yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5,09 mg/L.

2.1.7 Total Coliform

Sumber-sumber alami air biasanya mengandung bakteri, termasuk air yang berasal dari atmosfer, air permukaan, dan air tanah. Jumlah dan jenis bakteri ini dapat bervariasi tergantung pada tempat dan kondisi lingkungannya. Untuk digunakan dalam keperluan sehari-hari, air harus bebas dari bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Meskipun bakteri Coliform bukanlah bakteri

patogen, mereka digunakan sebagai indikator pencemaran air oleh bakteri patogen. Jika air yang mengandung bakteri patogen dikonsumsi, ini dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kholera, penyakit tifus, hepatitis infeksi, dan disentri basiler (Cut Khairunnisa, Wirsal Hasan, 2012). Kandungan total coliform pada air limbah industri gula adalah 24000 MPN. Menurut peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk-Setjen/2016 kadar maksimum total Coliform yang diperbolehkan untuk air minum adalah 3000 MPN/100 ml sampel.

2.2 Bangunan Pengolahan Air

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, diantaranya adalah sebagai berikut:

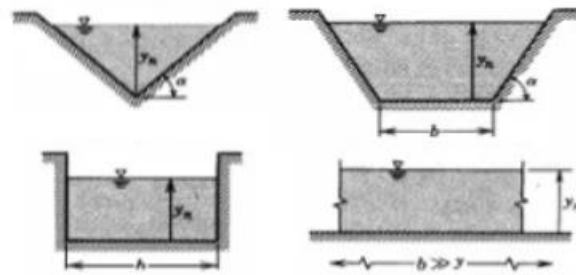
2.2.1 Pre Treatment (Pengolahan Pendahuluan)

Tahap awal pengolahan ini adalah proses awal yang dilakukan secara fisik untuk membersihkan dan menghilangkan sampah-sampah yang besar atau sedang yang terdapat dalam pasir. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses pengolahan yang akan datang. Selain itu, pre-treatment juga berperan dalam mengalirkan air limbah dari unit produksi industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbah. Unit-unit proses yang termasuk dalam tahap pre-treatment untuk industri mencakup:

1. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Jenis saluran pembawa ini dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini memiliki kapasitas untuk mengalirkan air dengan memperhitungkan perbedaan tinggi atau elevasi antara satu bangunan dengan bangunan lainnya. Jika saluran pembawa ini berada di atas lahan yang datar, maka diperlukan suatu kemiringan atau slope (m/m) untuk mengatur aliran air. Dalam perencanaannya, saluran pembawa biasanya direncanakan menggunakan beton, karena memberikan kebebasan desain yang tinggi untuk potongan

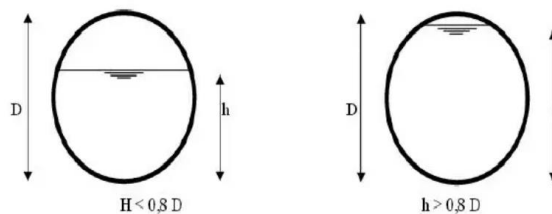
melintang saluran (kustanrika, 2016). Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.



Gambar 2. 1 Potongan Saluran Terbuka

(Sumber: <https://darmadi18.wordpress.com/2016/03/10/menghitung-kecepatan-aliran-saluran-terbuka-pada-aliran-uniform/>)

Saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran di mana permukaan airnya tidak terhubung dengan atmosfer atau udara luar. Saluran tertutup ini sering kali dibangun dengan menanamnya ke dalam tanah pada kedalaman tertentu, dan sistem ini biasanya disebut sebagai sistem sewerage. Meskipun berada dalam saluran tertutup, aliran air tetap dipengaruhi oleh gravitasi, sehingga prinsip aliran pada saluran terbuka tetap berlaku.



Gambar 2. 2 Potongan Saluran Tertutup (Pipa)

(Sumber: <https://www.slideshare.net/jefrymaulana7/01-hidrolika>)

Perbedaan antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) terletak pada keberadaan permukaan bebas, yang umumnya berupa

lapisan udara, pada saluran terbuka. Artinya, jika ada ruang hampa udara dalam pipa karena alirannya tidak sepenuhnya mengisi pipa tersebut, karakteristik aliran akan serupa dengan aliran dalam saluran terbuka (Kodoatie & Sugiyanto, 2002). Proses kerja unit pengolahan ini melibatkan pengaliran air limbah dari proses produksi ke sebuah bak penampung atau sumur pengumpul melalui saluran pembawa.

a. Luas permukaan

$$A=QV.....(2.1)$$

Dengan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

v = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

b. Kedalaman Saluran Pembawa

$$H=AB.....(2.2)$$

Dengan:

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = Lebar saluran pembawa (m)

$$H_{total}=H+(10\%-30\% \times H).....(2.3)$$

Dengan:

H_{total} = Kedalaman total saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

F_b = 10% - 30% H

c. *Slope* saluran pembawa

$$h=v^2 \times g(2.4)$$

dengan:

h = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

v = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

$$H_f = n \times L(2.5)$$

Dengan :

H_f = Headloss saluran pembawa (m)

n = Koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

$$S = h_{\text{statis}} + H_f \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

S = Slope saluran pembawa (m)

h = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

H_f = Headloss saluran pembawa (m)

d. Cek kecepatan

$$v = QB \times H \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

v = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

B = Lebar saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

2. Bar Screen

Unit pertama yang umumnya digunakan dalam proses pengolahan air limbah adalah proses penyaringan (screening). Penyaringan menggunakan perangkat berongga dengan ukuran seragam yang bertujuan untuk menangkap partikel-partikel padat yang ada dalam air limbah masuk, sehingga partikel tersebut tidak mengganggu proses pengolahan selanjutnya di bangunan pengolahan air limbah. Prinsip utama penyaringan adalah untuk menghilangkan bahan kasar yang dapat menyebabkan:

1. Kerusakan pada peralatan pengolahan,
2. Menurunkan efektivitas pengolahan dan meningkatkan biaya proses pengolahan,
3. Kontaminasi dalam aliran air.

Penyaringan biasanya terbagi menjadi tiga jenis, yaitu penyaringan kasar (coarse screen), penyaringan halus (fine screen), dan penyaringan sangat halus (microscreen). Umumnya, perangkat penyaring terdiri dari batang-batang yang disusun sejajar dan biasanya terbuat dari logam atau

kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf & Eddy, 2003).

Coarse screen memiliki bukaan dengan ukuran berkisar antara 6 hingga 150 mm (0,25-6 inci). Dalam proses pengolahan air limbah, jenis penyaringan ini digunakan untuk melindungi peralatan seperti pompa, katup (valve), saluran pipa, dan peralatan lainnya dari potensi kerusakan akibat penyumbatan oleh benda-benda kasar. Pembersihan coarse screen dapat dilakukan menggunakan dua metode, yaitu secara manual dan mekanik. Dalam metode pembersihan manual, tenaga manusia digunakan untuk membersihkannya, sementara metode mekanik melibatkan penggunaan mesin.

Pembersihan manual umumnya diterapkan pada industri dengan skala kecil hingga menengah. Prinsip yang digunakan dalam pembersihan manual adalah menghilangkan bahan padat kasar dengan bantuan sejumlah batang baja yang ditempatkan secara melintang sejajar dengan arah aliran air. Kecepatan aliran air biasanya diatur pada kisaran 0,3 hingga 0,6 m/s agar bahan padat yang terjebak di depan penyaring tidak terjepit. Jarak antara batang-batang biasanya berkisar antara 20 hingga 40 mm, dan penampang batang tersebut berbentuk empat persegi panjang. Biasanya, dalam coarse screen yang dibersihkan secara manual, penyaringnya akan dimiringkan dengan sudut kemiringan sekitar 30° - 45° terhadap horizontal.



Gambar 2. 3 Bar Screen

(Sumber: <https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/pre-treatments/barscreening-straining-comminution/barscreening>)

Adapun kriteria perancangan untuk mendesain coarse screen baik dengan membersihkan secara manual maupun mekanis adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Kriteria Perancangan Saringan Kasar (Coars Screen)

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanikal	Unit	Manual	Mekanikal
<u>Ukuran batang</u>						
Lebar	inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	inch	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar Batang	inch	1,0 - 2,0	0,6 - 0,3	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30 - 45	0 - 30	mm	30 - 45	0 - 30
<u>Kecepatan</u>						
Maximal	ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimal	ft/s	-	1,0 - 1,6	m/s	-	0,3 - 0,5
Headloss	inch	6		mm	150	150 - 600

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

Berdasarkan Qasim & Zhu (2017), untuk mengitung desain unit screen dilakukan tahap sebagai berikut:

a. Lebar Screen

$$L_{screen} = n_{bukaan} \times r + n_{kisi} \times d \quad (2.1)$$

Dengan:

L_{Screen} = lebar screen (m)

n_{bukaan} = jumlah bukaan (buah)

r = jarak antar kisi (m)

n_{kisi} = jumlah kisi atau bar, - 1 (buah)

d = lebar kisi (m)

b. Dimensi Screen

$$X = \frac{H}{\sin \theta} \quad (2.2)$$

$$L = \frac{H}{\sin \theta} \quad (2.3)$$

Dengan:

X = panjang kisi (m)

L = panjang screen (m)

H = tinggi total screen (m)

θ = kemiringan horizontal (derajat)

c. Kecepatan melalui kisi:

$$v_2 = \frac{Q}{n_{bukaan} \times r \times h_{aliran}} \quad (2.4)$$

Dengan:

h_L = kecepatan setelah melalui kisi (m/detik)

β = debit (m^3 /detik)

h_{aliran} = tinggi kedalam air (m)

d. Headloss saat non-clogging dan clogging:

$$h_L = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} \times h_v \times \sin \theta \quad (2.5)$$

$$h_L = \frac{1}{C_d} \times \frac{(v_2)^2 \times (v)^2}{2 \times g} \quad (2.6)$$

Dengan:

h_L = headloss (m)

β = nilai faktor tipe batang

W = total lebar kisi, $n_{kisi} \times d$ (m)

b = total lebar bukaan, $n_{bukaan} \times r$ (m)

h_v = total kecepatan aliran saat masuk screen (m)

C_d = koef. discharge (saat *non-clogging* = 0,7)
(saat *clogging* = 0,6)

e. Bak Penampung

Bak penampung adalah wadah yang berfungsi untuk menyimpan air limbah yang berasal dari saluran pembawa. Selain itu, bak penampung juga

bertindak sebagai unit pengaturan untuk menjaga agar aliran dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi tetap dalam keadaan stabil.



Gambar 2. 4 Bak Penampung

(Sumber: <https://www.tanindo.net/ipal-instalasi-pengolahan-air-limbah/>)

Prinsip kerja dari unit pengolahan ini adalah sebagai berikut: Setelah air limbah mengalir melalui saluran pembawa, langkah berikutnya adalah mengarahkannya ke bak penampung untuk menjaga agar debit air limbah tetap konstan.

2.2.2 Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.

1. Grease Trap

Grease Trap adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk menangkap lemak atau minyak dalam air. Alat ini berfungsi untuk memisahkan minyak dari air guna mencegah terjadinya penggumpalan dan pembekuan minyak dalam pipa pembuangan yang dapat menyebabkan penyumbatan. Penyisihan minyak dan lemak menggunakan grease trap dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Prinsip pemisahan pada grease trap ini memanfaatkan sifat alami lemak/minyak yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada air, sehingga minyak cenderung mengapung di permukaan. Cara kerja

grease trap dijelaskan dalam skema berikut: Air memasuki alat melalui inlet, kemudian minyak akan terangkat karena memiliki berat jenis yang lebih ringan dibandingkan air. Setelah itu, lumpur akan mengendap dan ditahan oleh penyaring, dan akhirnya air keluar melalui pipa outlet. Minyak dan lemak yang tertahan tersebut harus dibersihkan secara berkala untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah terjadinya penyumbatan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa grease trap mampu menyisihkan hingga 80% minyak dan lemak (EPA, 1998), serta 50-80% BOD dan TSS (DPH, 1998).

Kriteria Perencanaan :

- Freeboard = 10 20%
- Waktu Detensi = < 2 jam
- Kecepatan = 0,3 2,5 m-detik
- Kedalaman (H) = < 3 m

Rumus yang digunakan :

a. Volume bak kontrol

$$V = Q \times t_d \quad (2.7)$$

Dengan :

Q = debit limbah ($m^3/detik$)

V = volume (m^3)

Td = waktu detensi

b. Ketinggian total

$$H_{total} = H + (20\% \times H) \quad (2.8)$$

Dengan : H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

c. Luas permukaan

$$A = P \times L \times H \quad (2.9)$$

Dengan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

P = panjang (m), dengan asumsi 2 x 1

2.2.3 Pengolahan Tahap Kedua (Secondary Treatment)

Pengolahan kedua umumnya mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya (Sugiharto, 1987).

1. Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah proses yang berlangsung secara berkesinambungan, dimulai dari pencampuran koagulan hingga pembentukan flok yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan. Fungsi pengadukan adalah untuk memastikan koagulan tercampur secara optimal dengan air baku. Ada dua sistem pengadukan yang digunakan dalam proses koagulasi, yaitu pengadukan cepat, dan dalam proses flokulasi, digunakan pengadukan lambat. Terdapat empat faktor yang memengaruhi proses koagulasi dan flokulasi, di antaranya:

- Destabilisasi Partikel atau Koloid
- Tumbukan Van der Waals
- Gradien Kecepatan
- Waktu Detensi (Td)

Pengadukan adalah merupakan unit yang sangat penting pada pengolahan air

limbah meliputi :

- Pengadukan satu substansi dengan substansi lain
- Mencampur cairan yang dapat dicampur
- Flokulasi partikel air limbah
- Melanjutkan pengadukan cairan tersuspensi
- Transfer panas.

Sebagian besar pengadukan pada pengolahan air limbah dapat dikelompokkan sebagai continuous-rapid (kurang dari 30 detik) atau continuous (terus-menerus).

a. Continuous Rapid Mixing (Pengadukan Cepat)

Pengadukan cepat biasanya digunakan dimana satu substansi diaduk dengan yang lain. Prinsip dari pengadukan cepat ini adalah :

- Mencampur bahan kimia dengan air limbah (misal: penambahan alum, garam
- besi untuk di flokulasi dan pengendapan atau untuk menyebarkan klorin dan
- hypoklorin ke air buangan untuk desinfektan)
- Mencampur cairan yang dapat dicampur
- Penambahan bahan kimia untuk lumpur dan biosolid untuk memperbaiki karakteristik pengeringan.

b. Continuous Mixing (Pengadukan Terus-menerus)

Pengadukan berkelanjutan diterapkan di mana konsistensi suspensi harus dipertahankan, seperti pada bak penyeimbang, bak flokulasi, serta proses pengolahan pertumbuhan biologis, kolam aerasi, dan digester aerobik. Proses koagulasi (pengadukan cepat) bertujuan untuk menyelaraskan bahan kimia secara merata di dalam bak dan membentuk interaksi yang memadai antara koagulan dan partikel padatan tersuspensi. Harapannya, hasil akhir dari proses koagulasi adalah pembentukan mikroflok. Terdapat tiga tahap dalam pengadukan, termasuk :

- Pengaduk secara mekanik
- Pengaduk dengan hidrolis atau udara
- Pengaduk dengan pneumatic atau baffle

Proses flokulasi selalu mengikuti proses koagulasi dalam pengolahan air. Proses koagulasi bertujuan untuk memasukkan koagulan seperti aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida ke dalam air buangan. Sementara itu, proses flokulasi bertujuan untuk membentuk partikel-partikel berukuran flok. Perbedaan utama antara proses koagulasi dan flokulasi adalah dalam kecepatan pengadukannya, di mana proses

koagulasi memerlukan pencampuran yang relatif cepat dibandingkan dengan proses flokulasi. Berbagai jenis koagulan yang sering digunakan meliputi:

- Koagulan Aluminium Sulfat
- Koagulan Ferri Clorida
- Koagulan Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Komponen-komponen dalam pengadukan lambat atau mekanisme kerjanya

diantaranya adalah :

- Impeller
- Motor
- Controller
- Reducer
- Sistem Transmisi
- Shaft
- Bearing

Kendala yang ada dapat dialami dalam melalukakn unit pada pengadukan lambat adalah:

- Kurang Fleksibel Terhadap Perubahan Kualitas Air Baku
- Sulit Beradaptasi Terhadap Perubahan Debit
- Headloss Besar

Flokulasi memiliki berbagai macam jenis. Jenis-jenis flokulasi yang sering digunakan, yaitu :

- Flokulasi mekanis
- Flokulasi hidrolis
- Flokulasi pneumatis

Proses flokulasi selalu mengikuti proses koagulasi dalam pengolahan limbah. Proses ini diperlukan khususnya untuk mengolah limbah yang memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi akibat adanya pencemar. Perbedaan antara proses koagulasi dan flokulasi terletak pada kecepatan pengadukannya. Proses koagulasi memerlukan pengadukan yang relatif cepat, sementara proses flokulasi memerlukan pengadukan yang lebih lambat. Jenis pengaduk cepat secara mekanik yang biasa digunakan termasuk:

- Turbine
- Paddle
- Propellers

Jika hanya menggunakan suatu koagulan maka menggunakan satu kompartemen, tetapi apabila lebih dari suatu koagulan jumlah kompartemen bisa lebih dari satu. Diharapkan aliran dalam bak pengaduk cepat adalah aliran turbulen. Volume bak tergantung dari waktu detensi. Hubungan waktu detensi dan gradien kecepatan pada pengaduk cepat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 2 Hubungan Waktu Detensi dan Gradien Kecepatan pada Pengaduk Cepat

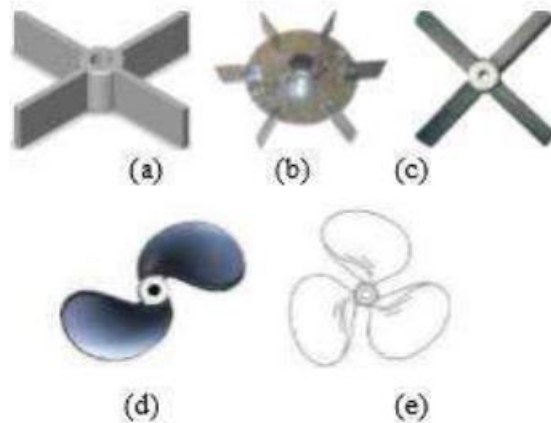
Waktu detensi (Detik)	G (fps/ft.or sec ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
50	700

Dengan Kriteria :

- Untuk koagulasi-flokulasi
Waktu detensi = 20 – 60 detik
G = 700 – 1000 fps/ft
Tinggi bak = 1 – 1,25 diameter atau lebar bak

- Untuk presipitasi
Waktu detensi = 0,5 – 6 menit
 $G = 700 - 1000 \text{ fps/ft}$

a. Tipe Turbine



Gambar 2.5 Tipe Turbine Impeller

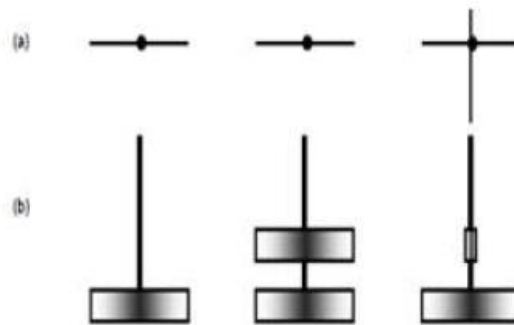
Ada beberapa jenis turbine impeller antara lain :

- Straight blade
- Vaned disc
- Curved blade
- Propeller 2 blade
- Propeller 3 blade.

Sedangkan kriteria dari turbin propeller ini adalah sebagai berikut :

- Diameter impeller = 30 – 50% dari diameter atau lebar bak
- Kecepatan impeller = 10 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0,1 dari diameter atau lebar bak

b. Paddle



Gambar 2. 6 Tipe Paddle

Kriteria-kriteria yang terdapat pada Paddle Impeller dan umum digunakan

adalah sebagai berikut :

- Diameter = 50 – 80% dari diameter atau lebar bak
- Kecepatan = 20 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0,1 dari diameter atau lebar bak
- Lebar paddle = $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{10}$ dari diameter bak atau lebar bak

Tabel 2. 3 Nilai Konstanta K_L dan K_T

Type Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65

Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blade (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 6$	71,0	3,82

Sumber: *Reynold, Richards Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, Second Edition, 1996, Halaman 184*

Reynold, T.D. and Richards. 1996, Units Operation and Processes in Environmental Engineering, Second Edition, PWS Publishing Company., Boston.

2. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pemisahan antara partikel padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan berdasarkan gravitasi, yang bertujuan untuk mengisolasi partikel-partikel yang mengambang dalam cairan. Bak sedimentasi biasanya terbagi menjadi empat kelas berdasarkan konsentrasi partikel dalam cairan dan kemampuan interaksi partikel tersebut. Keempat kelas ini mencakup:

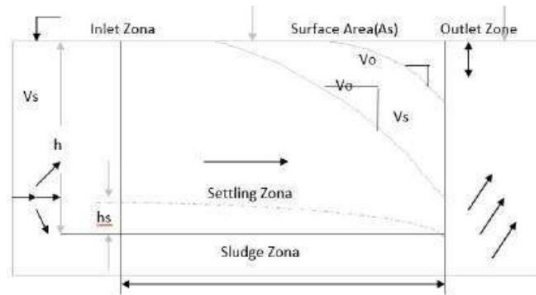
- Pengendapan Tipe I (Free Settling)
- Pengendapan Tipe II (Flocculent Settling)
- Pengendapan Tipe III (Zone/Hindered Settling)
- Pengendapan Tipe IV (Compression Settling)

Pada setiap bangunan sedimentasi tentunya memiliki pembagian zona, terdapat empat zona, yaitu:

- Zona Inlet
- Zona Outlet
- Zona Settling

- Zona Sludge

Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 2. 7 Zona Pada Bak Sedimentasi

Sumber: Al Layla, Water Supply Engineering Design

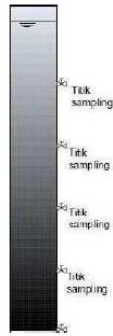
Dimana pada setiap zona yang ada pada bak pengendap 1 terjadi proses-proses

sebagai berikut :

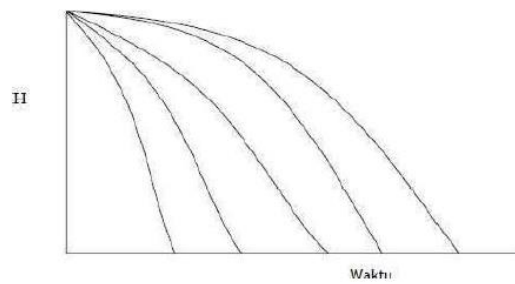
- Zona Inlet = Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling (\pm 25% Panjang bak)
- Zona Settling = Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
- Zona Sludge = Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurusan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak
- Zona Outlet = Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspense yang ikut terbawa.

Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap di uji dengan column settling test dengan multiple withdraw ports. Dengan menggunakan kolom

pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik.

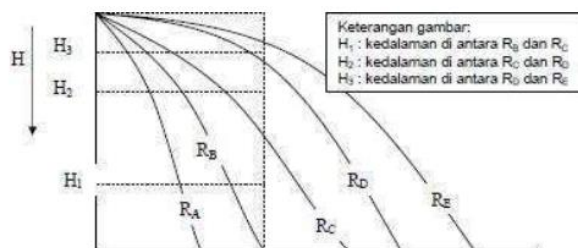


Gambar 2. 8 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2. 9 Grafik Isoremoval

Grafik Isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertical dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman H1, H2 dan H3.



Gambar 2. 10 Ketentuan Kedalaman

Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_T = R_B + \frac{H_1}{H}(R_C - R_B) + \frac{H_2}{H}(R_D - R_C) + \frac{H_3}{H}(R_E - R_D)$$

Grafik Isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau overflow rate bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah :

- Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu (mengulangi Langkah di atas minimal dua kali)
- Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x)
- Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan overflow rate (sebagai sumbu x)

Kedua grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (T_d) dan overflow rate (V_o) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara batch). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan overflow rate, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynold and Richards, 1996). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

a. Horizontal-flow Sedimentation

Desain yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi panjang yang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkatkan ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang circular biasanya menggunakan

pengambil lumpur mekanik. Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Beberapa keuntungan horizontal-flow dibandingkan dengan up flow

adalah :

- Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air
- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim
- Biaya konstruksi murah
- Operasional dan perawatannya mudah

Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah (Q), waktu detensi, luas permukaan dan kecepatan pengendapan.

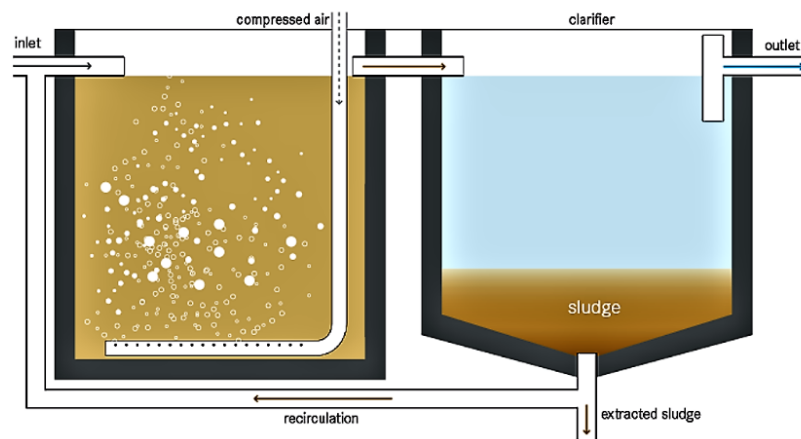
b. Upflow Sedimentation

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahannya yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil.

3. Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan yang menggunakan bakteri aerobik yang dikultivasi dalam tangki aerasi. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi kandungan organik karbon atau organik nitrogen dalam air limbah. Dalam konteks pengurangan bahan organik, bakteri heterotrof berperan penting. Mereka mendapatkan sumber energi dari oksidasi senyawa organik dan

menggunakan organik karbon sebagai sumber karbon. Dalam konteks ini, BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) digunakan sebagai indikator atau parameter yang mengukur konsentrasi organik karbon, dan keduanya disebut sebagai substrat.



Gambar 2. 11 Activated Sludge

(Sumber : Tilley et al., 2014)

Tabel 2. 4 Activated Sludge

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi	hari	2-6
Kedalaman	m	3-5
Laju beban volumetrik	gBOD/m ³ .hari	20-30

(Sumber: Tilley et al 2014)

4. Clarifier

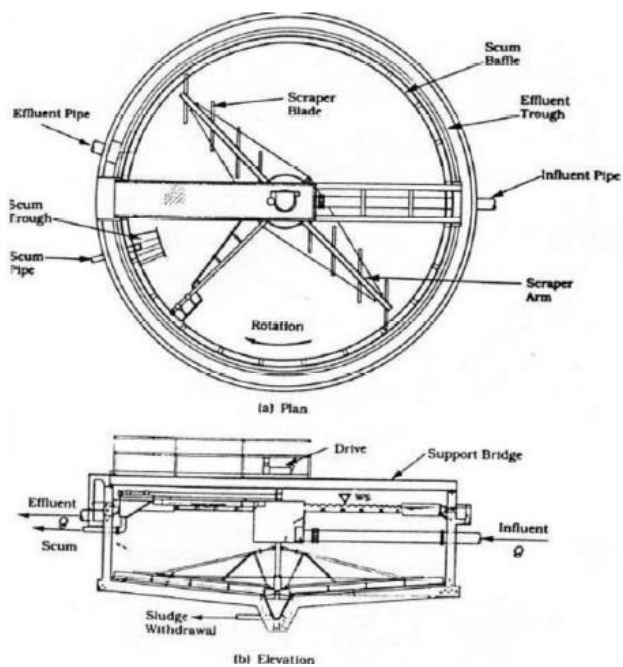
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri

patogen dan lainnya. Bangunan clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat ditengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi. Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10 - 15 feet (3 - 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

Tabel 2. 5 Kriteria Perencanaan Bangunan Clarifier

Kriteria	Satuan	Nilai
Overflow rate (OFR)	$\text{mg}^3/\text{m}^2.\text{hari}$	8 - 14
Solids loading (SLR)	$\text{kg}/\text{m}^2.\text{jam}$	1 - 5
Kedalaman (H)	m	4 - 5,5

Sumber : (Metcalf & Eddy. 2014)



Gambar 2. 12 Denah dan Potongan Clarifier

(Sumber : Metcalf & Eddy. 2003)

5. Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air adalah persyaratan mikrobiologis, yaitu air harus bebas dari mikroorganisme patogen. Desinfeksi merupakan proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme, yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme. Sedangkan metode disinfeksi secara kimiawi adalah memberikan bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme yang berakibat matinya mikroorganisme tersebut.

Desinfeksi secara kimia menggunakan larutan kaporit, gas klor dan gas ozon. Sedangkan desinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan desinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan

Kalium Permanganat. Kemampuan desinfeksi dalam pengolahan air minum adalah:

1. Menghilangkan bau.
2. Mematikan alga.
3. Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.
4. Mengoksidasi ammonia menjadi senyawa amin.
5. Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya.

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

1. Waktu kontak.
2. Konsentrasi desinfeksi.
3. Jumlah mikroorganisme.
4. Temperatur air.
5. pH.
6. Adanya senyawa lain dalam air.

Dalam perancangan kali ini, kami menggunakan metode desinfeksi dengan cairan klor. Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air (Benny, 2008). Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8-8. Oksidasi besi membutuhkan waktu 15-30 menit. Pada umumnya proses standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisa klor yang dianjurkan 0,2-0,5 mg/l (Said, 2009). Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat *Chlor* (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa *chlor* (Cl₂) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat *Chlor* ditentukan cara selisih antara chlor yang dibutuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit 58

(Sawyer et al., 2003). Berikut adalah berbagai macam desinfeksi dengan metode yang berbedabeda beserta penjelasannya:

1. Desinfeksi dengan Ozon

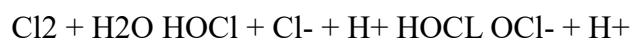
Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600 – 3000 lebih kuat dari klorin. Penggunaannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O₂ berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi akan menghasilkan lompatan electron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Jika elektroda mencapai kecepatan cukup, maka akan menyebabkan molekul oksigen *splitting* ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom ini akan bergabung membentuk O₃ (ozon).

2. Desinfeksi dengan UV

Desinfeksi dengan UV dapat terjadi dengan interaksi langsung menggunakan sinar UV dan tidak langsung menggunakan zat pengoksidasi. Biasanya sinar UV yang digunakan mampu mematikan semua mikroorganisme. Daerah yang berperan dalam efek garmicial adalah UV-AC, dengan panjang gelombang 280-220 nm.

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

Metode ini menggunakan bahan kimia yang dicampurkan daam air kemudian diberikan waktu yang cukup agar memberi kesempatan kepada zat untuk berkontak dengan bakteri. Desinfeksi air minum yang sering dilakukan yaitu dengan memanfaatkan klorin. Reaksi yang terjadi pada pembubuhan klorin yaitu:



4. Desinfeksi dengan gas klor

Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air (Aji, 2015). Klorin digunakan karena

memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8-8,3 oksidasi besi membutuhkan waktu 15-30 menit.

6. 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 dengan 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.

Berdasarkan tinggi relative reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)

Reservoir permukaan adalah reservoir yang sebagian besar atau seluruh bagian reservoir tersebut terletak dibawah permukaan tanah.

2. Reservoir Menara

Reservoir menara adalah reservoir yang seluruh bagian penampungannya terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksinya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi empat, yaitu:

1. Reservoir Tanki Baja

Banyak Reservoir menara dan “*standpipe*” atau Reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.

2. Reservoir Beton Cor

Tanki dan Reservoir beton pertama kali dibuat tanpa penutup. Perkembangan selanjutnya konstruksi ini memakai penutup dari kayu atau beton. Dengan tutup ini maka masalah sanitasi akan terselesaikan. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Kelemahan umum dari bahan beton adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.

3. Reservoir fiberglass

Penggunaan fiberglass sebagai bahan untuk membuat reservoir memiliki beberapa kelebihan seperti ringan, tekstur dinding tanki kaku dan terlihat kuat. Namun dari kelebihan yang dimiliki, adapun kekurangan yang dimiliki yaitu rentan terhadap benturan dan dinding tanki mudah retak, tidak tahan terhadap UV dan oksidasi bila terjemur sinar matahari.

2.2.4 Pengolahan Lumpur

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

1. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
2. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.

3. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

1. Mereduksi kadar lumpur
2. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur. Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu belt-filter press, yang selengkapnya akan dijelaskan dibawah ini:

a. Belt Filter Press

Sebagian besar dari jenis Belt-Filter Press, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Dibeberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan vacuum, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan pergeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan Scrapper blade Sistem operasi jenis belt-filter press dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), belt-filter press, conveyor cake lumpur, dan sistem pendukung (compressor, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari belt-filter press, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. Belt filter press ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2. 13 Belt Filter Press

2.2.5 Aksesoris Pompa

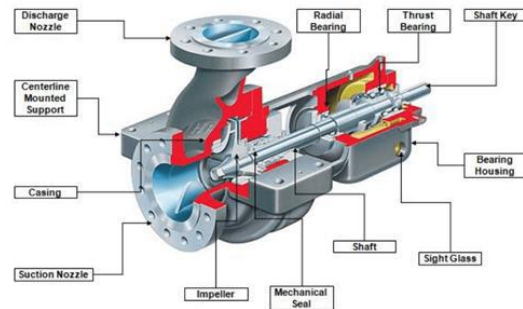
a. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan pengaliran yang berupa perbedaan tekanan, ketinggian, atau hambatan gesek. Pada prinsipnya pompa dapat mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida, energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa memiliki dua kegunaan, yaitu untuk memindahkan cairan dari suatu

tempat ketempat lainnya dan untuk mensirkulasikan cairan sekitar sistim. Pompa sendiri memiliki bermacam-macam jenis, yaitu:

1. Sentrifugal Pump

Sentrifugal Pump merupakan pompa dengan susunan atas sebuah impeller dan saluran inlet di tengah-tengahnya. Ketika impeller berputar, fluida akan mengalir menuju casing di sekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penggunaan pompa sentrifugal di dunia mencapai angka 80% karena penggunaannya yang cocok untuk mengatasi jumlah fluida yang besar daripada pompa *positive-displacement*.



Gambar 2. 14 Sentrifugal Pump

2. Rotary Pump

Rotary Pump adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Keuntungan dari pompa ini adalah efisiensi yang tinggi karena secara natural dapat mengeluarkan udara dari pipa alirannya, serta dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengeluarkan udara tersebut secara manual. Dan untuk kelemahan dari pompa ini adalah apabila pompa bekerja pada kecepatan yang terlalu tinggi, maka fluida kerjanya justru dapat menyebabkan erosi pada sudut-sudut pompa.



Gambar 2. 15 Rotary Pump

3. Gear Pump

Gear Pump merupakan jenis pompa roda gigi positif yang dapat memindahkan cairan dengan berulang kali menutup volume tetap menggunakan roda gigi yang saling mengunci, dan mentransfernya secara mekanis menggunakan pemompaan siklik yang memberikan aliran pulsa-halus mulus sebanding dengan kecepatan rotasinya.



Gambar 2. 16 Gear Pump

4. Screw Pump

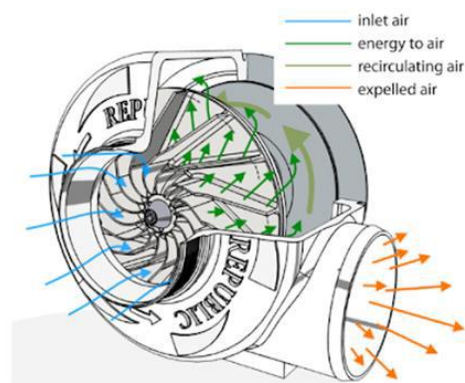
Screw Pump merupakan pompa yang di gunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitive terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Perisin kerja *Screw* di temukan oleh seorang *engineer* Prancis bernama *Rene Moneau*, sehingga sering di sebut juga dengan *Moneau pump*.

b. Blower

Blower merupakan mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan dan sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. *Blower* juga merupakan mesin yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ketekanan akhir melebihi dari 40 psig. Menurut klasifikasinya *blower* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. *Blower* Sentrifugal

Blower Sentrifugal merupakan *blower* dengan memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. *Blower* sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm².



Gambar 2. 17 Blower Sentrifugal

2. Blower Positive Displacement

Blower Positive Displacement merupakan blower yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah blower. Blower ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan system nya bervariasi. Blower ini berputar lebih pelan daripada blower sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.

c. Pipa

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal maka dibutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris

pipa adalah untuk membangun jalur belokan, membangun jalur percabangan, mendukung metode penyambungan, dan menyambung antar pipa. Adapun aksesoris yang dimiliki pipa terdiri dari:

1. Shock pipa/Socket

Shock pipa/Socket merupakan aksesoris untuk menyambung pipa yang bertujuan untuk memperpanjang pipa dengan menyambung lurus satu pipa dengan pipa lainnya. Aksesoris ini biasa digunakan untuk menyambung pipa dengan diameter yang sama, dengan ulir yang berada di dalam. Shock pipa terbagi menjadi beberapa jenis seperti:

- Shock pipa PVC polos, yang digunakan untuk menyambung dua pipa PVC dengan ujungnya tidak ada ulir atau drat.
- Shock pipa drat luar, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat dalam.
- Shock pipa drat dalam, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.

2. Elbow

Elbow merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (Elbow). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45° .

3. Tee

Tee merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris tee berbentuk seperti huruf “T” , namun ada beberapa kasus Tee berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya Y-Branch.

4. Reducer

Reducer merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menyambung dua pipa dengan diameter berbeda. Reducer ini terbagi menjadi dua tipe, yakni reducer elbow untuk membelokkan aliran dan reducer socket untuk memperpanjang pipa dengan sambungan lurus.

2.3 Persen Removal

Di bawah ini adalah persentase pengurangan pada setiap fasilitas dalam sistem pengolahan air limbah yang akan digunakan:

Jenis Bangunan	Parameter Removal	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Grease Trap	Minyak dan lemak	80%	Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal.25
Koagulasi Flokulasi	-	-	-
Sedimentasi	BOD	80%	(Sumber : Metcalf and Edyy, 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition.)
	TSS	80%	
Activated Sludge	BOD	80%	Cavaseno, Industrial Waste water and solid Waste
	COD	90%	
	Sulfida	70%	
Clarifier	TSS	60%	Sumber: Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR. (2018). Panduan Perencanaan Teknik Terinci - Sub Sistem Pengolahan Terpusat. (SPALD-T), Halaman 37

Desinfeksi	Coliform	90%	Metcalf & Eddy. 2002. Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition). Page 1221
Belt filter press	-	-	-

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing-masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini.

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 upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. 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:

- a) Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b) Kehilangan tekanan pada bak
- c) Kehilangan tekanan pada pintu
- d) Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus.

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut:

- a) Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.

- b) Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus.

- c) Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya. d) Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. 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. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- a) Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b) Menambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.

c) Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake.

d) Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.

2.6 BOQ dan RAB

2.6.1 BoQ (Bill Of Quantity)

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:

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

Tujuan membuat BoQ adalah:

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

2.6.2 RAB (Rincian Anggaran Biaya)

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. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya. Karakteristik RAB:

1. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan,
2. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat. Artinya tidak dapat berubah (bertambah atau berkurang) kemudian hari,
3. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.

Tujuan membuat RAB adalah:

1. 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.
2. Ketika maincont menyatakan agar subcont melakukan perhitungan RAB, maka secara otomatis BoQ yang disusun oleh konsultan perencana tidak berlaku. Dengan kata lain BoQ tersebut menjadi rahasia oleh maincont, yang tidak perlu diketahui oleh subcont.

Berdasarkan situasi seperti ini, maka tujuan melakukan penyusunan RAB adalah:

1. Untuk keperluan pengajuan penawaran harga dengan sistem lump sum,
2. Sebagai dasar melaksanakan saat klarifikasi dan negosiasi harga,

3. Pedoman untuk pelaksanaan proyek bilamana kontraktor ternyata menang tender.