

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Rumah Potong Hewan

Menurut Peraturan pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, air limbah adalah air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan. Air limbah dapat berasal dari rumah tangga (domestik) maupun industri yang berwujud cair. Limbah cair merupakan air bekas pakai dari berbagai proses penggunaan yang telah mengandung bahan pencemar atau polutan berupa senyawa organik dan anorganik. Pada umumnya, air limbah atau limbah cair memiliki kuantitas yang lebih besar dibandingkan limbah jenis lainnya dan memiliki tipikal kandungan polutan yang lebih beragam, antara lain; minyak, alkohol, fenol, pewarna sintetis, dan logam berat (Martini et al., 2020).

Limbah cair sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh dari limbah cair biasanya banyak dibuang di sungai, selokan, kamar mandi dan dianggap bentuknya yang cair sehingga mudah dibuang dengan dialirkan di berbagai tempat. Limbah cair yang berasal dari industri biasanya telah memiliki pengolahan limbah (IPAL) sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Standar kualitas air layak pakai yang diharapkan biasanya memiliki karakteristik yang bervariasi dan disesuaikan dengan peruntukannya, antara lain untuk keperluan air minum, air irigasi, atau air proses yang dimanfaatkan untuk kebutuhan proses industri tertentu. Namun, secara umum dapat disimpulkan bahwa air yang diperlukan tersebut harus memenuhi berbagai kriteria, antara lain tidak mengandung polutan yang membahayakan atau setidaknya mengandung polutan yang tidak diinginkan dengan nilai ambang batas semaksimal mungkin sesuai dengan nilai baku mutu yang diamanatkan dalam peraturan pemerintah atau institusi terkait lainnya.

2.2 Baku Mutu Air Limbah

Dalam rangka menjaga kualitas air dan menjamin keberlanjutan pelestarian, perlindungan, serta pengelolaan fungsi lingkungan hidup, semua industri dan/atau kegiatan usaha lainnya yang menghasilkan air limbah wajib mentaati dan tidak boleh melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan.

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepaskan ke dalam sumber air dari suatu usaha. Penetapan baku mutu air limbah bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran sumber air sesuai dengan peruntukannya.

2.3 Karakteristik Limbah Cair Industri Rumah Potong Hewan

Industri Rumah Potong Hewan (RPH) merupakan industri yang air limbahnya memiliki karakteristik berbeda dengan industri lainnya. Limbah cair industri rumah potong hewan memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Astuti & Rosemalia, 2022). Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar - benar terjadi di dalam air. Air limbah dengan BOD yang tinggi tidak dapat mendukung kehidupan organisme yang membutuhkan oksigen. BOD yang tinggi juga dapat mengakibatkan penipisan oksigen dari air limbah dan kondisi anaerobik dalam air limbah. (Bhutiani et al., 2019) Parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran bahan organik pada air limbah pada umumnya adalah BOD₅. Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses

oksidasi biokimia pada bahan organik. Nilai parameter BOD yang di standartkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan adalah sebesar 100 mg/L.

Kandungan BOD (*Biological Oxygen Demand*) pada limbah cair industri rumah potong hewan tinggi karena limbah ini mengandung banyak bahan organik, seperti darah, daging, dan sisa-sisa makanan. Bahan-bahan ini membutuhkan oksigen yang banyak untuk proses pemecahan oleh mikroorganisme, sehingga meningkatkan BOD.

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Konsentrasi COD yang tinggi dalam badan air menunjukkan bahwa adanya bahan pencemar organik dalam jumlah tinggi. Selain itu dapat menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam badan air menjadi rendah dan mengakibatkan kematian pada hewan atau tumbuhan yang hidup di perairan tersebut (Alviomora, 2018). Semua bahan organik sengaja diurai secara kimiawi dengan oksidator kuat sehingga akan teroksidasi. Dengan demikian angka COD dan BOD akan mengetahui selisih nilai dan besarnya bahan organik yang sulit terurai pada perairan. Kemungkinan nilai COD sama dengan nilai BOD, namun pada faktanya nilai COD lebih tinggi dibandingkan nilai BOD, bahkan nilai BOD dapat dikatakan 50% dari nilai COD. Hal tersebut karena faktor dari COD yang menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada.

Nilai parameter COD yang di standartkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan adalah sebesar 200 mg/L. Kandungan COD seringkali memiliki nilai yang lebih tinggi dari BOD dikarenakan banyaknya bahan organik yang sulit dioksidasi secara proses biologis dan dibutuhkan proses kimiawi. (Metcalf & Eddy, 2003)

Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair industri rumah potong hewan tinggi karena limbah tersebut mengandung banyak bahan organik,

seperti darah, lemak, dan sisa daging. Proses pemotongan dan pengolahan hewan menghasilkan limbah yang kaya akan zat organik, yang memerlukan oksigen tinggi untuk terurai secara biokimia.

3. TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) adalah padatan dalam air, termasuk partikel tanah, alga, plankton, dan zat lainnya. TSS mengandung bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas saring *milipore* berukuran 0,45 μm . Peningkatan TSS dalam air dapat meningkatkan kekeruhan yang berakibat meningkatkan penertasi cahaya matahari ke dalam badan air. Kurangnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke badan air akan menghambat pertumbuhan fitoplankton (Kamajaya et al., 2021). Standart baku mutu untuk parameter TSS menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan adalah 100 mg/L.

Kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) pada limbah cair industri rumah potong hewan tinggi karena adanya partikel padat dari sisa-sisa daging, lemak, bulu, dan bahan organik lainnya yang tidak terurai. Proses pemotongan dan pengolahan daging menghasilkan banyak material padat yang terlarut dalam air, serta proses pembersihan yang mengalirkan limbah ini ke dalam sistem limbah. Tingginya TSS dapat menyebabkan pencemaran dan mempengaruhi kualitas air jika tidak dikelola dengan baik.

4. Minyak Lemak

Minyak dan lemak adalah salah satu kelompok yang termasuk golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat di alam serta tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non-polar. (Jumanah, 2017) Minyak lemak jika berada dalam air akan terlihat dengan jelas, sehingga dapat menutupi dan menghambat masuknya sinar matahari serta oksigen ke dalam perairan yang mengakibatkan terganggunya aktivitas biologis makhluk hidup di air (Ibrahim et al., 2023). Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk

dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan . Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis dipermukaan, sehingga membentuk selamut. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan, nilai kandungan parameter minyak dan lemak yang di standartkan adalah sebesar 15 mg/L.

Kandungan minyak dan lemak pada limbah cair industri rumah potong hewan tinggi karena proses pemotongan dan pengolahan daging yang menghasilkan sisa-sisa lemak dari hewan. Selain itu, lemak yang ada pada bagian tubuh hewan, seperti kulit dan jaringan adiposa, juga terlarut dalam limbah selama proses pemotongan dan pembersihan. Hal ini menyebabkan akumulasi minyak dan lemak dalam limbah cair.

5. NH_3 (Amonia)

Amonia adalah gas nitrogen anorganik tidak berwarna dan berbau menyengat serta dianggap sebagai salah satu pencemar utama perairan karena toksisitasnya tinggi. Kadar alami ammonia dalam perairan relative rendah, tetapi limbah kegiatan manusia dapat meningkatkan kadarnya. Amonia berlebihan pada badan air dapat menyebabkan eutrofikasi, penyakit bagi manusia, dan lain-lain (Hamonangan & Yuniarto, 2022). Kandungan amonia (NH_3) bersifat mudah terlarut dalam air. Ion ammonium adalah bentuk transisi dari amonia. Sumber amonia yang ada di perairan adalah pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air dan berasal dari dekomposisi bahan organik seperti mikroba, proses ini disebut dengan proses amonifikasi (Nadhira, 2015). Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan, nilai kandungan parameter amonia yang di standartkan adalah sebesar 25 mg/L.

Kandungan amonia pada limbah cair industri rumah potong hewan tinggi karena proses dekomposisi protein dari sisa-sisa daging dan darah. Saat mikroorganisme memecah protein, amonia dihasilkan sebagai produk sampingan.

Selain itu, penggunaan pakan hewan yang kaya protein juga berkontribusi pada kadar amonia yang tinggi.

6. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman adalah suatu bentuk yang menyatakan perbandingan antara ion hidrogen dan hidroksida yang dikandung dalam suatu senyawa atau larutan. Derajat keasaman atau pH ini digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki suatu larutan. Jangkauan pH berada mulai dari 0 – 14 dimana titik tengah 7 adalah netral. (Fadillah, 2018). Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan pH normal pada pH 6-9.

Kandungan pH pada limbah cair industri rumah potong hewan biasanya tinggi karena adanya akumulasi zat-zat organik dan anorganik, seperti darah, lemak, dan protein. Proses pemotongan dan pengolahan hewan menghasilkan limbah yang kaya akan amonia dan senyawa dasar lainnya, yang dapat meningkatkan pH limbah tersebut. Selain itu, jika limbah tidak dikelola dengan baik, proses dekomposisi dapat mengubah karakteristik kimia limbah, sehingga meningkatkan pH-nya.

2.4 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), organisme patogen, komponen beracun dan berbahaya lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut Sugiharto (1987) dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan, yaitu :

1.) Pengolahan Pendahuluan (*Pre-treatment*)

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah- sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah.

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.

3.) Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik.

4.) Pengolahan Ketiga (*Tertiary Treatment*)

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.

5.) Pengolahan Lumpur

Hasil dari pengolahan air limbah adalah berupa lumpur yang perlu dilakukan 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 *sludge*

sebagian besar terdiri dari bahan-bahan yang menimbulkan bau. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis terdiri dari bahan organik. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah mereduksi lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Adapun bangunan pengolahan yang digunakan untuk mengolah air limbah dari industri rumah potong hewan adalah sebagai berikut :

2.4.1 *Pre Treatment*

Pengolahan *pre-treatment* merupakan proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Pengolahan awal dilakukan untuk menghilangkan padatan kasar dan menjaga unit pengolahan selanjutnya mengalami kerusakan karena benda asing. Pada awal pengolahan air buangan terdapat tahapan yang bertujuan untuk menghilangkan, menyisihkan, dan menghancurkan padatan besar atau objek yang kasat mata agar dapat tersaring secara mudah pada unit yang digunakan. Objek tersebut umumnya berupa sampah plastik, ranting pohon, daun, dan ikan. Selain untuk menghilangkan padatan besar, pengolahan awal dibutuhkan untuk melindungi unit pengolahan selanjutnya dari kerusakan akibat benda asing (Richard & Reynold, 1995). Unit proses pengolahan *pre treatment* pada kawasan industri meliputi :

a.) Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, 13 keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana

et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (slope) (Nasoetion et al., 2017).



Gambar 2.1 - Saluran Terbuka dan Tertutup

Saluran pembawa dibagi menjadi 2, yaitu saluran terbuka (*open chanel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). 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. Sedangkan saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaannya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun 10 tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran (v) $= 0,3 - 2,4\text{m/s}$
- Kemiringan (slope) maksimal $= 1,10 - 3\text{m/m}$
- Freeboard saluran $= 5-30\%$

- Dimensi saluran direncanakan (W_s) = $B = 2H$
- Kekasaran saluran (n) = 0,011 – 0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2.1 - Koefisien Manning

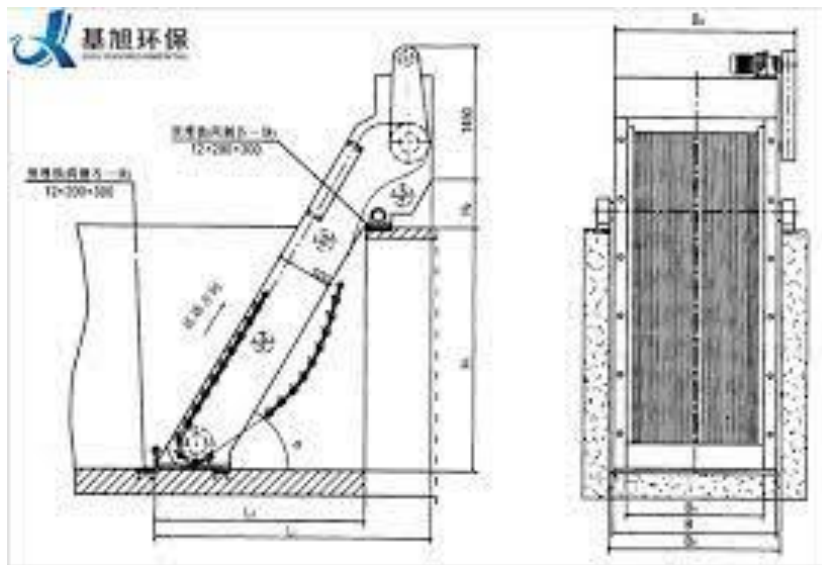
Bahan Batas	n manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

Sumber: Spellman, F. R. (2013). Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability. Halaman 285

b.) *Bar Screen*

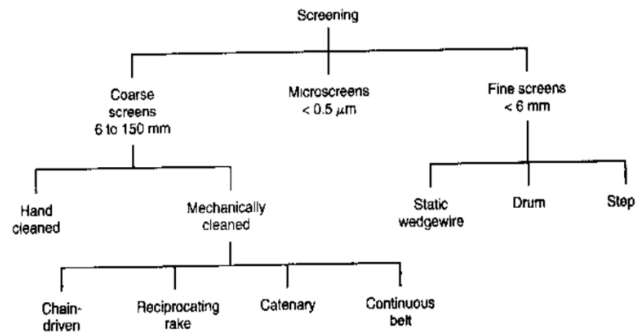
Unit operasi pertama yang umumnya ditemukan pada instalasi pengolahan air limbah adalah *screen* (saringan). *Screen* merupakan perangkat berupa saringan dengan bukaan dengan ukuran seragam. Digunakan untuk menahan padatan pada air limbah yang ikut masuk ke unit instalasi pengolahan. Peran utama *screen* adalah untuk menghilangkan material kasar dari aliran yang dapat merusak peralatan pada proses

pengolahan berikutnya. Peran utama unit *screening* adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar yang ada pada aliran, mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan berikutnya, dan mencemari saluran air (Metcalf & Eddy, 2004). Umumnya unit bar screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. Bar screen dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).



Gambar 2.2 - Gambar Screen

Ada dua jenis *barscreen*, yaitu *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar). Sedangkan untuk mekanisme operasionalnya dibagi menjadi *barscreen* dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2.3 - Jenis Screen

Sumber : Metcalf & Eddy, 2004

Penyaring kasar (*coarse screen*) memiliki bukaan berkisar antara 6-150mm sedangkan penyaring halus (*fine screen*) memiliki bukaan berkisar kurang dari 6mm. Penyaring mikro (*microscreens*) dengan bukaan kurang dari 50 μm biasanya digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari limbah yang diolah (Metcalf & Eddy, 2004).

Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *screen* dengan pembersihan secara manual maupun mekanik untuk *coarse screen* dan *fine screen* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 - Kriteria Perencanaan Barscreen

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran Batang				
Lebar	0,2 – 0,6 in	0,2 – 0,6 in	5-15 mm	5-15 mm
Kedalaman	1 – 1,5 in	1 – 1,5 in	23-38 mm	25-38 mm
Jarak antar batang	1 – 2 in	0,6 – 0,3 in	25-50 mm	15 – 75 mm
Kemiringan terhadap vertikal	30 - 45°	0 - 30°	30 - 45°	0 - 30°

Parameter Lain				
Kecamatan maksimum	1 – 2 ft/s	2 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Headloss maksimum	6 in	6 – 24 in	150 mm	150 – 600 mm

Sumber : Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, page 316

Tabel 2.3 - Klasifikasi Ukuran Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In	mm		
Miring (diam)	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Primary Treatment
Drum (berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Pre-treatment
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Primary Treatment
	Halus		6 – 35 μ m	<i>Stainless-steel</i> dan kain polyester	Meremoval residual dari SS sekunder
Horizontal Recipro-cation	Sedang	0,06 – 0,17	1,6 - 4	Batangan <i>stainless-steel</i>	Gabungan dengan

					saluran air hujan
Tangensial	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Gabungan dengan saluran pembawa

Sumber : Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, page 323

c.) Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.4 - Bak Penampung

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

- Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- *Mixer/aerator*, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

Tabel 2.4 - Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	$H_{\min}$	1,5 – 2	M	
2	Ambang batas (free board)	H_{fb}	5 – 30	%	(Metcalf & Eddy et al., 3 2007)
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Q_{udara}	0,01 – 0.015	m ³ /m ³ -menit	(Metcalf & Eddy et al., 3 2007)
4	Kemiringan dasar tangka	Slope	40 – 100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)

5	Waktu tinggal	Td	1 – 2	jam	(Metcalf & Eddy et al., 3 2007)
---	---------------	----	-------	-----	---------------------------------

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2.5 - Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	• Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
Posite Displacement	Screw	• Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	• Permasalahan zat kimia limbah logam • Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes, Halaman 6-43

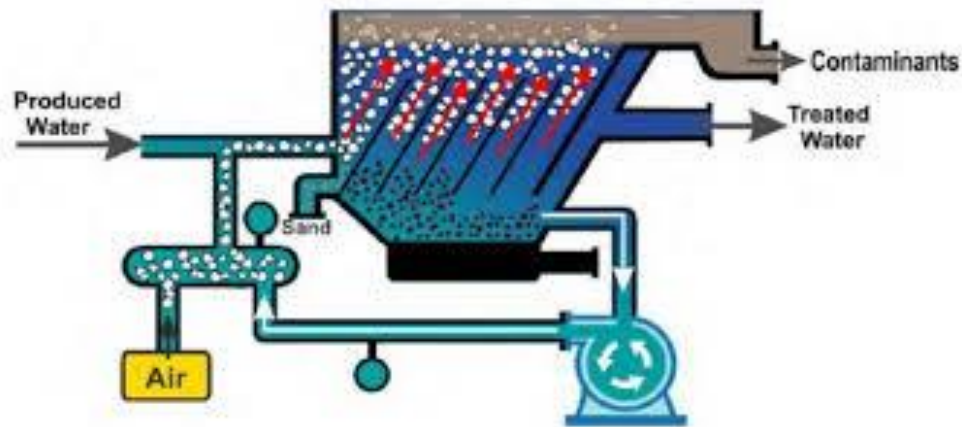
2.4.2 Primary Treatment

Primary treatment pada instalasi pengolahan air limbah adalah tahap awal dalam proses pengolahan air yang bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel besar dan bahan padat yang tersuspensi di dalam air limbah. Proses ini melibatkan metode fisik sederhana seperti penyaringan, pemisahan gravitasi, dan sedimentasi untuk menyaring material seperti plastik, kertas, pasir, dan lumpur. *Primary treatment* bertindak sebagai tahap persiapan sebelum air limbah masuk ke tahap pengolahan berikutnya yang lebih kompleks, seperti pengolahan biologis dan kimiawi, guna memastikan efektivitas dan efisiensi pengolahan secara keseluruhan. Instalasi yang digunakan pada tahap ini adalah *grease trap*.

2.4.2.1 Dissolved Air Flotation (DAF)

Dissolved Air Flotation (DAF) merupakan alat untuk menyisahkan minyak dan lemak yang melibatkan proses pemecahan emulsi didalamnya. Dalam proses DAF, emulsi minyak dan lemak pada limbah dapat dipecahkan menggunakan berbagai cara, salah satunya dengan pelepasan gelembung udara. *Dissolved Air Flotation* (DAF) merupakan alat untuk menyisahkan minyak dan lemak yang melibatkan proses pemecahan emulsi didalamnya. Dalam proses DAF, emulsi minyak dan lemak pada limbah dapat dipecahkan menggunakan berbagai cara, salah satunya dengan pelepasan gelembung udara. DAF adalah proses penyisihan minyak dan lemak yang melibatkan proses pemecahan emulsi di dalamnya. Dalam prosesnya, emulsi pada minyak dan lemak pada limbah dapat dipecahkan menggunakan berbagai cara, diantaranya proses pemanasan, destilasi, pelepasan gelembung udara, pembubuhan senyawa kimia, sentrifugasi, hingga filtrasi. Diantara proses tersebut, proses ultrafiltrasi merupakan

proses yang paling efektif dalam memisahkan minyak dan asam lemak dari limbah industri yang diolah.



Gambar 2.5 - *Dissolved Air Flotation (DAF)*

Pada DAF, udara dilarutkan didalam air dengan tekanan sampai jenuh. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang halus. Ukuran gelembung menentukan keberhasilan proses flotasi. Semakin besar gelembung udara maka kecepatan naiknya juga semakin besar. Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi-flokulasi.

1. Flotasi

Pada DAF dilakukan proses pengapungan dengan melarutkan udara kedalam fluida dengan tekanan tinggi kemudian dilepaskan dalam tekanan atmosfer. Gelembung-gelembung halus ini akan mengangkat flok yang sudah terbentuk dari proses koagulasi keatas dan mengapung.

2. Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi-flokulasi pada DAF dilakukan dengan membubuhkan koagulan kemudian dilakukan pengadukan pada bak koagulasi. Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil dari pada gaya tolak-menolak. Partikel koloid ini kemudian

bersatu dan menjadi ukuran lebih besar yang disebut flok. Pada proses koagulasi-flokulasi, pengadukan merupakan operasi yang mutlak dilakukan. Pengadukan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya pengendapan flok. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016) :

a.) Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b.) Derajat keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum.

c.) Jenis koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

d.) Kecepatan pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

e.) Kadar ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

f.) Tingkat kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

g.) Dosis koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik.

Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Dissolved Air Flotation (DAF) adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk menghilangkan kontaminan seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dalam air limbah. Mekanisme utama penghilangan COD dan BOD pada unit DAF adalah sebagai berikut :

1. Pengapungan Partikel

Pada DAF, udara dilarutkan ke dalam air di bawah tekanan tinggi, kemudian dilepaskan ke dalam tangki flotasi pada tekanan atmosfer. Saat tekanan turun, udara yang terlarut membentuk mikrogelembung. Mikrogelembung ini menempel pada partikel

tersuspensi, minyak, dan bahan organik dalam air limbah. Partikel yang telah ditemplei mikrobelembung menjadi lebih ringan dan terapung ke permukaan air.

2. Penghilangan COD dan BOD

Sebagian besar COD dalam air limbah berasal dari bahan organik terlarut dan tersuspensi. Unit DAF terutama menghilangkan COD dari bahan tersuspensi (SS) dengan mengapungkannya ke permukaan, di mana mereka dapat dihilangkan sebagai sludge. Sebagian besar BOD berasal dari bahan organik yang dapat terurai secara biologis. BOD yang terkait dengan bahan organik tersuspensi juga akan dihilangkan melalui mekanisme pengapungan.

3. Koagulasi dan Flokulasi

Untuk meningkatkan efisiensi penghilangan COD dan BOD, sering digunakan bahan kimia seperti koagulan dan flokulan. Koagulan menginduksi pengendapan partikel kecil menjadi flok yang lebih besar, sementara flokulan membantu pengikatan partikel untuk membentuk flok yang lebih stabil. Flok yang lebih besar ini lebih mudah menempel pada mikrobelembung dan terapung ke permukaan.

4. Pengumpulan dan Penghilangan Sludge

Lapisan bahan organik yang mengapung di permukaan dikumpulkan menggunakan skimmer. Sludge yang terkumpul memiliki konsentrasi tinggi bahan organik dan diolah lebih lanjut atau dibuang sesuai regulasi.

Kriteria Perencanaan

A. Bak Pembubuh

1. Dosis alum : 75-250 mg/L

(Sumber : Eckenfelder, W., W. 2000. Industrial Water Pollution Control 53 3rd edition, pages 132. Singapore: McGrawHill Companies, Inc).

2. Berat jenis alum : 2.67 kg/L
3. Kadar air dalam alum cair : 71.2 – 74.5 %

(Sumber: Qasim, Syed R., Motley & Zhu, G. 2000).

4. Gradien kecepatan (G) : 500 – 1500 /s

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: treatment and Reuse 4th edition, pages 348. New York: McGrawHill Companies, Inc).

5. Diameter propeller : maks. 18 inch
6. Kecepatan putaran propeller : 400 – 1750 rpm

(Sumber: Reynolds, Torn D. and Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, pages 185. Boston: PWS Publishing Company).

7. Massa jenis air (ρ), $T = 30^\circ\text{C}$: 995.7 kg/m^3
8. Viskositas absolut (μ), $T = 30^\circ\text{C}$: $0.8004 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$
9. Viskositas kinematis (ν), $T = 30^\circ\text{C}$: $0.8004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$

(Sumber: Reynolds, Torn D. and Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, pages 762. (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company).

B. Bak Koagulasi

1. Waktu detensi (td) : 20 – 60 s
2. Gradien kecepatan (G) : 700 – 1000/s
3. Tinggi bak (H) : 1 – 1.25 lebar bak
4. Jarak impeller dari dasar : 30% - 50% diameter impeller
5. Diameter turbin impeller : 30% - 50% diameter atau lebar bak
6. Lebar impeller : 1/6 – 1/10 meter
7. Nre : > 10000 turbulen
8. Kecepatan turbin impeller : 400 – 1750 rpm

C. Bak Flotasi

1. Waktu detensi (td) : 20 – 30 menit

(Sumber: Eckenfelder, W., W. 2000. Industrial Water Pollution Control 3rd edition, hal 112. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc)

2. Fraksi kelarutan udara (f) : 0,5
3. Kecepatan aliran (v) : 0.3 – 0.6 m/detik

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, hal 316. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

4. Tekanan udara (P) : 275 – 350 Kpa
5. Tekanan atm (Pa) : 101.35
6. Freeboard (fb) : 5 – 30%

(Sumber: Chow, VenTe. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159) New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

7. Rasio udara per padatan (A/S) : 0.005 – 0.06 mL/mg

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, hal 422. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

8. Konsentrasi minyak mengambang : 3 – 7
9. Surface loading rate (SLR) : 8 – 160 lt.m².min

(Sumber: Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse, fourth Edition, hal 420-423)

D. Bak Penampung Minyak

1. Massa jenis air : 995.68 kg/m³
2. Massa jenis minyak : 820 – 850 kg/m³
3. Massa jenis solid : 1394 kg/m³
4. Specific gravity sludge : 1.02

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003., hal 1456)

5. Kemampuan penyisihan ML : 70% - 85%
6. Freeboard : 5 – 30%

(Sumber: Chow, VenTe. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159) New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

E. Kebutuhan Udara

1. Berat standar udara : $1,2 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, pages 440-441. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

2. Jumlah O₂ di udara : 21%

3. Kapasitas blower : $85 - 1700 \text{ m}^3/\text{menit}$

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, hal 440. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

4. Efisien diffuser O₂ : 4 – 8%

5. Diameter lubang diffuser : 2 – 5 m

(Sumber: Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016. Operasi & Proses Pengolahan Air Edisi Kedua, hal 296. Surabaya: ITS Press)

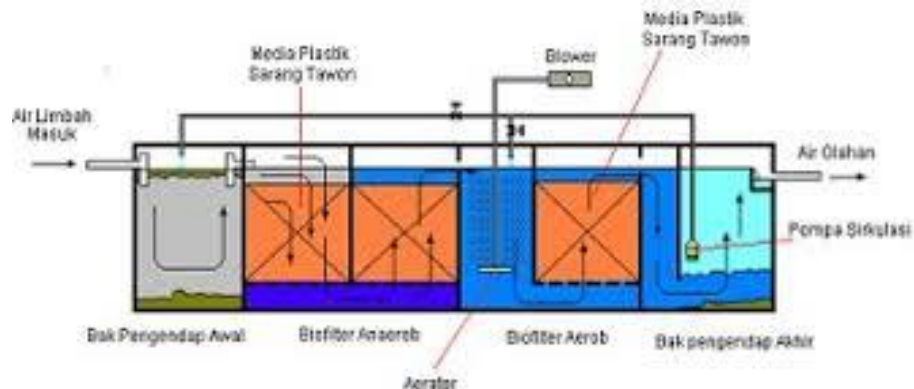
6. Kebutuhan O₂ (oksidasi BOD) : $0.8 - 0.94 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD rem}$

7. Maks. O₂ consumption : 1,2 – 1,5

2.4.3 Secondary Treatment

2.4.3.1 Biofilter Anaerobik

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



Gambar 2.6 - Biofilter Anaerob-Aerob

Biofilter anaerobik adalah unit pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses biologis tanpa oksigen untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Unit ini terdiri dari media filter berpori yang berfungsi sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme anaerob, yang bertanggung jawab untuk mendegradasi bahan organik menjadi produk akhir seperti metana, karbon dioksida, dan biomassa. Proses ini berlangsung dalam kondisi tertutup untuk mencegah masuknya udara dan mendukung aktivitas mikroorganisme anaerobik. Biofilter anaerobik biasanya digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik tinggi, seperti limbah domestik atau industri, karena efisien dalam mengurangi kadar Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan padatan tersuspensi. Selain itu, sistem ini juga memiliki keunggulan dalam menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

Biofilter anaerobik adalah unit proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dengan kondisi tanpa oksigen. Pengolahan air limbah dengan cara anaerobik dalam aplikasinya menggunakan media biofilter dalam reaktor anaerobik. Media biofilter yang digunakan bertujuan untuk tempat melekat atau menempelnya mikroorganisme anaerob (Nababan et al., 2020). Kelebihan biofilter anaerobik, yaitu lebih efisien dan waktu prosesnya lebih cepat. Kelebihan lainnya seperti, serajat stabilitas yang tinggi, produk lumpur buangan biologis rendah, kebutuhan nutrisi rendah, dihasilkan gas metan yang dapat digunakan sebagai sumber energi (Nurfitriyani & Dkk, 2012)

Pada biofilter anaerobik, proses pengolahan air limbah berlangsung tanpa adanya oksigen. Mikroorganisme yang berperan dalam pengolahan limbah adalah mikroorganisme anaerobik, yang menguraikan bahan organik menjadi produk yang lebih sederhana, seperti gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan asam-asam volatil lainnya. Proses ini terjadi dalam reaktor biofilter anaerobik, yang dapat berupa kolom dengan media pengisi (seperti batu kerikil, plastik, atau arang aktif) yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme.

Air limbah mengalir melalui biofilter, dan mikroorganisme anaerobik yang terdapat dalam biofilm pada media filter akan mengurai bahan organik yang ada dalam air limbah. Selain itu, pengolahan air limbah anaerobik sering menghasilkan gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi pengolahan dalam biofilter anaerobik antara lain:

1. Temperatur

Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme anaerobik. Suhu optimal untuk aktivitas mikroba anaerobik biasanya berkisar antara 25-35°C.

2. pH

pH yang terlalu rendah atau tinggi dapat menghambat aktivitas mikroorganisme anaerobik. Nilai pH yang ideal untuk proses anaerobik adalah sekitar 6-8.

3. Waktu tinggal

Waktu tinggal air limbah di dalam biofilter (dwell time) juga penting. Waktu tinggal yang cukup memungkinkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik secara efektif.

4. Kepadatan mikroorganisme

Kepadatan mikroorganisme dalam biofilm pada media filter mempengaruhi kemampuan sistem untuk mengolah air limbah. Jika kepadatan mikroorganisme terlalu rendah, proses pengolahan akan kurang efektif.

5. Komposisi air limbah

Komposisi kimia dan fisik air limbah, seperti kandungan bahan organik, nutrisi, dan bahan berbahaya lainnya, dapat mempengaruhi kinerja biofilter anaerobic.

Kriteria Perencanaan

1.) Waktu detensi	: >6jam
2.) Tinggi ruang lumpur	: 0.5 – 1.5 m
3.) Beban BOD/Volume media	: 0.4-4.7 kg BOD/m ³ .hari
4.) Beban BOD/V satuan permukaan	: 5 – 30 g/m ³ .hari
5.) Tinggi bed media pembiakan	: 0.9 – 1.5 m
6.) Efisin penyisihan	
- BOD	: 95%
- COD	: 90%
- TSS	: 90%
7.) Media biofilter	
8.) Tipe	: Hexagonal bee comb
9.) Material	: PVC sheet
10.) Ketebalan	: 0.15 – 0.23 mm
11.) Luas kontak fisik	: 150-226 m ² /m ³
12.) Diameter lubang	: 3 cm x 3 cm
13.) Berat spesifik	: 30-35 kg/m ³
14.) Porositas rongga	: 0.98

(Sumber : Said, N. I. Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi.

Halaman 302. Jakarta : Erlangga)

2.4.3.2 Biofilter Aerobik

Biofilter aerobik adalah salah satu teknologi yang efektif digunakan dalam pengolahan air limbah, terutama untuk mengurangi polutan organik seperti COD

(*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan NH_3 (amonia). Sistem ini menggunakan mikroorganisme aerobik yang tumbuh pada media filter untuk mendegradasi kontaminan dalam air limbah. Keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk mengolah limbah secara alami tanpa membutuhkan bahan kimia tambahan dan relatif ramah lingkungan. Oleh karena itu, biofilter aerobik banyak digunakan dalam pengolahan air limbah industri, domestik, maupun limbah cair lainnya.

Biofilter aerobik bekerja dengan memanfaatkan mikroorganisme yang hidup pada permukaan media biologis (seperti kerikil, arang aktif, atau bahan organik lainnya). Mikroorganisme ini berfungsi untuk menguraikan kontaminan organik melalui proses respirasi aerobik, yang membutuhkan oksigen.

Efektivitas pengolahan dalam biofilter aerobik dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, antara lain:

1) Ketersediaan oksigen

Oksigen yang cukup diperlukan untuk proses respirasi aerobik oleh mikroorganisme. Jika pasokan oksigen terbatas, proses penguraian senyawa organik dan nitrifikasi akan terhambat.

2) pH

Nilai pH sangat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Bakteri nitrifikasi, misalnya, lebih efektif pada pH antara 7-8. pH yang lebih rendah atau lebih tinggi dapat menurunkan efisiensi pengolahan.

3) Suhu

Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menurunkan laju reaksi biologis dalam biofilter. Suhu yang ideal untuk aktivitas mikroba adalah sekitar 20-30°C.

4) Kepadatan mikroorganisme

Kepadatan mikroorganisme dalam biofilm sangat mempengaruhi kapasitas biofilter dalam mengolah air limbah. Kepadatan yang terlalu tinggi dapat

menyebabkan penghambatan pertumbuhan mikroorganisme, sementara kepadatan yang rendah dapat mengurangi efektivitas pengolahan.

5) Kualitas dan karakteristik air limbah

Komposisi air limbah, termasuk konsentrasi bahan organik dan amonia, juga mempengaruhi kinerja biofilter. Air limbah dengan konsentrasi polutan yang lebih tinggi memerlukan sistem biofilter yang lebih besar atau memiliki kapasitas lebih tinggi.

Biofilter aerobik dapat meremoval kandungan ammonia (NH_3) dalam air. Proses ini terdiri dari dua tahapan penting, yaitu nitrifikasi dan denitrifikasi.

1.) Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah proses biologis yang mengubah ammonia (NH_3) menjadi nitrat (NO_3^-). Proses ini dilakukan oleh dua kelompok mikroorganisme yang berbeda, yaitu bakteri *Nitrosomonas* dan bakteri *Nitrobacter*. Nitrifikasi terdiri dari dua tahap :

a. Tahap oksidasi ammonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-)

Bakteri *Nitrosomonas* mengoksidasi ammonia (NH_3) yang ada dalam air menjadi nitrit (NO_2^-).



b. Tahap oksidasi Nitrit (NO_2^-) menjadi Nitrat (NO_3^-)

Bakteri *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-).



Proses nitrifikasi mengurangi kandungan ammonia (NH_3) dengan mengubahnya menjadi bentuk yang lebih mudah diproses dalam siklus nitrogen, yaitu nitrat (NO_3^-).

2.) Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses kebalikan dari nitrifikasi, dimana nitrat (NO_3^-) diubah menjadi gas nitrogen (N_2) yang dilepaskan ke atmosfer. Proses ini

dilakukan oleh bakteri denitrifikasi yang hidup dalam kondisi anaerobic (tanpa oksigen). Dalam kondisi tersebut, bakteri ini menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron untuk respirasi anaerobiknya.

Mekanisme denitrifikasi, yaitu bakteri (seperti *Pseudomonas* dan *Paracoccus*) mereduksi nitrat (NO_3^-) melalui beberapa langkah untuk akhirnya menghasilkan gas nitrogen (N_2).

Reaksi kimia : $2\text{NO}_3^- + 10\text{e}^- + 12\text{H}^+ = \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ Dengan proses ini, nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dikembalikan ke atmosfer dalam bentuk gas nitrogen yang tidak berbahaya.

Kriteria Perencanaan

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1.) Waktu detensi | : 2-6jam |
| 2.) Tinggi ruang lumpur | : 0.5 |
| 3.) Beban BOD/Volume media | : 0.5-4 kg BOD/m ³ .hari |
| 4.) Beban BOD/V satuan permukaan | : 5 – 30 g/m ³ .hari |
| 5.) Tinggi bed media pembiakan | : 1.2 m |
| 6.) Efisin penyisihan | |
| - BOD | : 95% |
| - COD | : 86% |
| - TSS | : 97% |
| 7.) Media biofilter | |
| 8.) Tipe | : Hexagonal bee comb |
| 9.) Material | : PVC sheet |
| 10.) Ketebalan | : 0.15 – 0.23 mm |
| 11.) Luas kontak fisik | : 150-226 m ² /m ³ |
| 12.) Diameter lubang | : 3 cm x 3 cm |
| 13.) Berat spesifik | : 30-35 kg/m ³ |
| 14.) Porositas rongga | : 0.98 |

(Sumber : Said, N. I. Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi.

Halaman 302. Jakarta : Erlangga)

15.) Densitas udara	: 1.2 kg/m ³
16.) Berat aliran udara (w)	: 85-1700 m ³ /menit
17.) Tekanan absolut outlet	: 25 lb/in ² atau 1.7 atm
18.) Tekanan absolut inlet	: 14.7 lb/in ² atau 1 atm
19.) Konstanta udara	: 8.314 kJ/mol.K
20.) K	: 1.395
21.) N	: 0.28
22.) Efisiensi blower	: 70-90%

(Sumber : Mtecalf & Eddy. 2003. Hal 44)

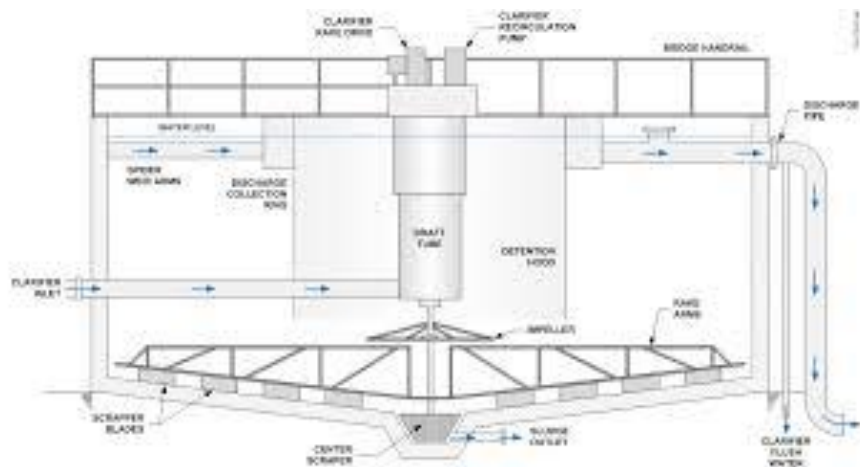
2.4.3.3 Clarifier

Clarifier digunakan untuk pengolahan lebih lanjut apabila pada pengolahan sebelumnya masih terdapat zat atau kandungan yang masih berbahaya apabila dibuang ke badan air atau ke lingkungan. Pengolahan ini biasanya dilakukan pada pabrik yang menghasilkan air limbah yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan lainnya. Unit bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya adalah proses lumpur aktif.

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.

Dalam tangki melingkar, pola alirannya radial (berlawanan dengan horizontal). Untuk mencapai pola aliran radial, air limbah yang akan disetel dapat dimasukkan di

tengah atau di sekitar pinggiran tangki. Kedua konfigurasi aliran bisa digunakan, meskipun tipe influent tengah lebih umum, terutama untuk pengolahan primer. Dalam desain influent tengah, air limbah diangkut ke pusat tangki dalam pipa yang digantungkan dari jembatan, atau dibungkus dengan beton di bawah lantai tangki (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.7 - Clarifier

Pada pengolahan bangunan clarifier biasanya terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk penggerak 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 di tengah 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 38 blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

Kriteria Perencanaan

1. Bentuk bak : lingkaran (*circular*)
2. Kedalaman bak (H) : 3 – 4.9 meter
3. Diameter bak (D) : 2 – 60 meter

4. Slope dasar bak (S) : $1/16 - 1/6$ mm/mm
5. Flight speed : $0.02 - 0.05$ m/menit
(Sumber : Metcalf & Eddy. Waste Water Engineering Treatment & Reuse. 4th Edition. Page 398)
6. Waktu detensi sedimentasi : $1.5 - 2.5$ jam
7. Over flow rate :
Average : $30 - 50$ m³/m².hari
Peak : $80 - 120$ m³/m².hari
8. Weir loading rate : $125 - 500$ m³/m².hari
(Sumber : Metcalf & Eddy. Waste Water Engineering Treatment & Reuse. 4th Edition. Page 401)
9. Diameter inlet wall : $15\% - 20\%$ diameter bak
10. Konsentrasi solid : $4\% - 12\%$
11. Massa jenis air, T 28°C : 996.36 kg/m³
12. Viskositas kinematic : 0.8746×10^{-6} m²/detik
13. Viskositas dinamik : 0.8746×10^{-3} Ns/m²
(Sumber : Reynolds & Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd Edition. Page 762.)
14. Bilangan Reynold Vs : < 1 (laminer)
15. Spesific gravity sludge : 1.005
16. Specific gravity solid : 1.25
(Sumber : Metcalf & Eddy. Waste Water Engineering Treatment & Reuse.)
17. Bilangan Reynold Vh : < 2000 (laminar)
18. Bilangan fraude : $> 10^{-5}$
(Sumber : SNI 6774 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air Limbah 2008. Hal. 6)
19. Ketinggian inlet well : $0,5 - 0,7$ meter
20. Kecepatan inlet well : $0,3 - 0,75$ m/detik

(Sumber : Metcalf & Eddy. Waste Water Engineering Treatment & Reuse. 4th Edition. Page 401.)

2.4.4 Pengolahan Lumpur

1. *Sludge Drying Bed*

Sludge drying bed merupakan metode pemisah air dari sludge yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. Sludge drying bed secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur/sludge yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (landfill) (Metcalf & Eddy, 2003). Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

- a. Sludge sebagian besar terdiri dari bahan-bahan yang dapat menimbulkan bau.
- b. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis terdiri dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25 – 12% solid)

Unit *sludge drying bed* (SDB) memiliki fungsi untuk membantu proses pengeringan lumpur dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari (Dian & Herumurti, 2016). Menurut Putri (2015), lumpur dari pengendapan biologis akan diangkut dan diletakkan pada unit SDB yang dilengkapi dengan media pasir dan kerikil sehingga cairan dan padatan akan terpisah. Cairan akan menuju ke saluran bawah dan padatan akan dikeringkan dengan menggunakan cahaya matahari.

Tabel 2.6 - Kelebihan dan Kekurangan Sludge Drying Bed

Kelebihan	Kekurangan
• Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan • Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan	• Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya • Dibutuhkan lahan yang lebih luas

• Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan	• Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan sludge / lumpur
--	---

Prinsip kerja unit SDB yaitu memanfaatkan penguapan alamiah oleh sinar matahari. SDB dilengkapi dengan media pasir dan kerikil di bagian bawah agar didapatkan supernatan yang kualitasnya lebih baik. Supernatan akan mengalir menuju bada air melalui sistem perpipaan bawah tanah (underdrain) (Putra, 2020). Dalam unit SDB tidak menyisihkan parameter apapun. Kriteria desain unit SDB ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Kriteria Perencanaan

Tabel 2.7 - Kriteria Perencanaan Sludge Drying Bed

Kriteria	Nilai	Satuan
Waktu pengeringan, HRT	10 – 15	Hari
Total lapisan lumpur, H_{lumpur}	30 – 50	cm
Tebal media pasir, H_{pasir}	20 – 30	cm
Tebal media kerikil, H_{kerikil}	20 – 30	cm
Kadar air, P	60	%
Kadar solid, P_i	40 – 50	%
Kecepatan underdain, v	0,75	m/detik
Kemiringan, S	1	%

2.5 Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, diperoleh rangkuman persen removal untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah Rumah Potong Hewan (RPH) sehingga dapat diolah dalam bangunan instalasi pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman persen removal air limbah Rumah Potong Hewan (RPH) beserta sumber yang tertera.

Tabel 2.5.1 - Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Yang Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
<i>Dissolved Air Flotation (DAF)</i>	Minyak lemak	80-98%	Qasim 1999. Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation.
	TSS	80-95%	
	BOD	73%	Herlambang & Hidayah. 2021. Efektivitas Penambahan PAC sebagai Pengolahan Awal dengan Flotasi Untuk Menurunkan FOG, BOD, serta TSS Menggunakan Kombinasi Koagulasi pada Limbah Kawasan Industri Ngoro Persada. Jurnal Envirotel. Vol 13. No 1.
	COD	87%	Pereira, M. D. S. et al. 2018. Treatment of Synthetic Milk Industry

			Wastewater using Batch Dissolved Air Flotation.
Biofilter Anaerobik	BOD	92%	Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 7 No. 2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Media Plastik Bioball. Hal. 55
	COD	90%	
	TSS	95-98%	Jurnal Air Indonesia Vo. 1 No. 1 (2005). Aplikasi Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. Hal 9
Biofilter Aerobik	BOD	90-95%	Said, Nusa Idaman (2017). Teknologi Pengolahan Air Limbah Hal. 305
	COD	86%	Jurnal Air Indonesia Vol. 1 No. 1 (2005). Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam Hal. 9

	NH ₃	97%	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 20 No. 2 (2019). Pengolahan Nitrifikasi dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup. Hal. 243
--	-----------------	-----	--

2.6 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) 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.

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 aksesoris. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:
 - a. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris,
 - b. Kehilangan tekanan pada perpipaan,

- c. Kehilangan tekanan pada aksesoris, dan
- d. Kehilangan tekanan pada pompa.
- 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
- Pompa. Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

2.7 BOQ dan RAB

2.7.1 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 :

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

Tujuan Membuat BOQ :

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

2.7.2 RAB (Rincian Anggaran Biaya)

RAB Adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang kita anggarakan 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. Menghitung volume RAB berdasarkan gambar bestek atau forcont,
4. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.

Tujuan Membuat RAB :

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.

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.