

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Sumber air yang ada di alam pada umumnya mengandung bakteri dengan jumlah dan jenis berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya (Sumampouw, 2019). Air baku merupakan bahan yang dimanfaatkan sebagai air bersih maupun air minum. Air baku berasal dari alam yang di ambil dari sumber-sumber yang sudah memenuhi standar baku mutu terlebih dahulu seperti air hujan, air tanah, air permukaan dan air laut. Air baku yang banyak digunakan adalah air tanah dan air permukaan (sungai). Proses pengolahan air baku harus disesuaikan dengan klasifikasi kelas badan air yang akan digunakan, lalu di olah menjadi air bersih maupun air minum sesuai kelasnya. Pada Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum kali ini, air baku yang digunakan adalah air limbah industri hasil dari proses pengolahan air buangan.

2.2 Karakteristik Air Baku

Air minum merupakan kebutuhan pokok manusia untuk bertahan hidup. Air minum umumnya tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, serta tidak mengandung bakteri atau zat yang berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia. Selain air minum, air bersih juga merupakan hal penting yang dibutuhkan oleh manusia. Mulai dari memasak, mandi, mencuci baju, dan kegiatan lain yang membutuhkan air bersih sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas air bersih. Oleh karena itu, air baku yang akan diolah harus memperhatikan karakteristik serta parameter dari air baku. Hal ini dilakukan supaya mempermudah proses pengolahan air baku menjadi air bersih atau air minum sesuai sehingga diketahui jenis pengolahan serta unit yang akan digunakan. Adapun karakteristik serta parameter dalam air baku yang akan diolah yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Karakteristik dan Parameter Air Baku

No.	Parameter	Kadar
1.	BOD	2

No.	Parameter	Kadar
2.	COD	83
3.	TSS	8
4.	Minyak dan Lemak	5
5.	Amoniak	4
6.	Fenol	0.005
7.	pH	7

(Sumber: Data Perencanaan)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk BOD memiliki nilai standar baku mutu sebesar 2 mg/L, COD sebesar 10 mg/L, dan TSS sebesar 25 mg/L, Minyak dan Lemak sebesar 1 mg/L, Amoniak sebesar 0,1 mg/L, dan Fenol sebesar 0,002 mg/L, dan pH antara 6,5-8,5 pH units. Ketujuh parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan dari karakteristik air baku sebagai berikut:

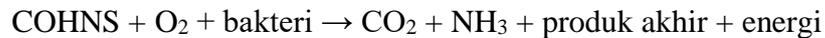
2.2.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* merupakan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisikan bahan organik dalam kondisi aerobik. BOD sendiri sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung di dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. BOD5 adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 1987).

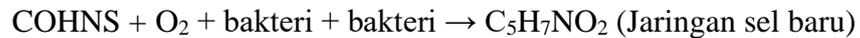
Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru

akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



(Metcalf & Eddy *et al.*, 2007)

2.2.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi bahan organik secara kimia. Proses penguraian bahan organik menyebabkan kelarutan oksigen menjadi berkurang. Berkurangnya bahan organik hasil oksidasi COD secara tidak langsung mengindikasikan jumlah bahan organik yang terkandung dalam perairan (Effendi H. , 2003).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai/limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD *ultimate* meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2003). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk standar baku air minum adalah sebesar 10 mg/L.

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan residu dari padatan total (*Total Solid/TS*) yang tertahan saringan dengan ukuran maksimal partikel sebesar 2 μ m dan lebih besar dari ukuran koloid. TSS menyebabkan air menjadi keruh karena padatan jenis ini tidak terlarut dalam air serta tidak dapat mengendap secara langsung. Secara umum TSS disebabkan oleh partikel yang memiliki berat maupun ukuran lebih kecil dari sedimen seperti tanah liat, bahan organik tertentu, sel mikroorganisme, dan sebagainya (Nasution, 2008). Partikel yang dapat digolongkan ke dalam TSS antara lain tanah liat, lumpur, sulfida, ganggang, logam oksida, bakteri dan jamur (Tarigan, 2021). Umumnya TSS dapat di removal dengan menggunakan unit filtrasi serta flokulasi. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 untuk efluen adalah sebesar 40 mg/L.

2.2.4 Minyak Lemak

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan dari lemak pada umumnya tercampur dengan berbagai macam trigliserida (ester gliserol dari asam lemak). Minyak dan lemak juga sering pada tumbuhan dan hewan, yang merupakan komponen penting bagi kehidupan manusia. (EPA, 1997)

Setiap aspek pengolahan awal perlu mempertimbangkan kehadiran minyak dan lemak dalam limbahnya. Hal ini disebabkan karena kehadiran kandungan minyak dan lemak dalam limbah industri dapat menghasilkan banyak permasalahan dalam proses pengolahan limbah industri. Permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri antara lain:

- Tersumbatnya saluran pembawa.
- Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa
- Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya.
- Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.

- Tertutupnya porositas (pori-pori) karbon aktif akibat minyak dan lemak pada proses filtrasi.
- Sukarnya pemadatan dan pengurangan kandungan air pada proses biosolid (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008)

Minyak dan lemak pada umumnya hadir pada limbah industri dalam bentuk minyak secara umum (yang pada umumnya mengapung di atas air), minyak dalam bentuk emulsi, dan minyak yang tercampur dengan padatan tertentu. Untuk minyak secara umum dapat dipisahkan secara gravitasi, hal itu disebabkan karena *specific gravity* (sg) minyak berada pada nilai yang lebih kecil dari 1. Minyak hasil olahan petroleum dapat dipisahkan dari limbah dengan skimmer yang digerakkan pada bagian atas bak sedimentasi, termasuk minyak dari proses refinery, pabrik petrochemical, manufaktur logam dan laundry. (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008)

Minyak yang teremulsi merupakan campuran minyak yang bersifat stabil, yang tidak dapat secara cepat dipisahkan dengan proses gravitasi tanpa penambahan bahan kimia tertentu (bahan kimia deemulsifikasi). Minyak yang teremulsi dapat berbentuk fisika maupun kimiawi. Emulsi fisika merupakan campuran dari air dan minyak pekat atau bahan lain yang berminyak yang pada umumnya tidak terlarut dalam air, mereka juga biasanya terbentuk secara mekanik (melalui proses pemompaan sentrifugal secara cepat). Emulsi fisika juga pada umumnya tidak terlalu stabil (lebih mudah dipisahkan) dibandingkan dengan emulsi secara kimia yang hanya dapat dipisahkan dengan pemanasan atau dengan pembubuhan koagulan (seperti aluminium sulfat ($\text{Al}(\text{SO}_4)_2$) (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008)

Emulsi kimiawi banyak dijumpai pada cairan yang digunakan pada bagian mesin pada industri otomotif dan industri perakitan mesin. Cairan ini biasanya merupakan campuran dari beberapa bahan kimia yang tercampur secara stabil (petroleum, mineral dan air) oleh karena pembubuhan agen emulsifier. Untuk memisahkan minyak dari air, agen emulsifier harus dipecah dengan penambahan senyawa asam pada limbah (seperti aluminium sulfat ($\text{Al}(\text{SO}_4)_2$). (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008).

Adapun tipe dan definisi bentuk kehadiran minyak dan lemak dalam limbah antara lain:

1. Minyak bebas, merupakan minyak yang hadir dalam air namun tidak tercampur akibat perbedaan *specific gravity* (s) yang terjadi di antaranya. Dapat dipisahkan secara gravitasi.
2. Emulsi fisika, merupakan minyak yang tercampur ke dalam air secara stabil dan membentuk padatan pada ukuran 5-20 μm . Terbentuk akibat proses pemompaan pada pipa dan valve.
3. Emulsi kimia, merupakan minyak yang tercampur dalam air dan membentuk padatan pada ukuran $< 5 \mu\text{m}$. Terbentuk akibat kehadiran deterjen, senyawa basa, *chelating agent*, dan protein.
4. Minyak terlarut, merupakan minyak yang terlarut dalam air. Dapat dideteksi dengan analisa *infrared* dan semacamnya.
5. Padatan berminyak, merupakan minyak yang menempel pada permukaan padatan pada limbah (Arizona Department of Environmental Quality, 1996) Kandungan minyak dan lemak yang dapat memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 sebesar 1 mg/l.

2.2.5 Fenol

Pada proses pewarnaan dan pembilasan rokok dapat menghasilkan air limbah yang berwarna. Zat warna yang dapat digunakan antara lain fenol dan logam. (Clifton Potter, M.Soeparwadi, Aulia Gani, 1994).

Kandungan fenol air buangan Industri Rokok ini adalah 0,005 mg/L sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan fenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,002 mg/L. fenol merupakan padatan tidak berwarna, dan bersifat higroskopis. Fenol merupakan racun protoplasma dan bersifat toksik terhadap segala jenis sel, kadar fenol yang tinggi akan mengendapkan protein tanpa koagulasi.

2.2.6 Amoniak

Ammonia berfungsi sebagai nutrisi bagi tanaman air dan mikroba fotosintetik seperti *cyanobacteria* dan mikroalga. Oleh karena itu, konsentrasi ammonia dalam air harus diatasi agar tidak terjadi ledakan jumlah organisme fotosintetik seperti *algae blooming*.

Kandungan ammonia yang ada di limbah ini adalah 4 mg/L. Sedangkan pada Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan kadar Amonia yang diperbolehkan adalah 0,1 mg/L. Amoniak dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tersebut tergantung dari pH dan temperatur yang mempengaruhi air. Nitrogen amonia berada dalam air sebagai amonium (NH₄⁺) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut :

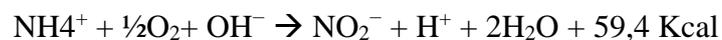


Kadar amoniak bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan temperatur. Di dalam air limbah, senyawa amonia dapat diolah secara mikrobiologis dengan cara aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat. Adapun proses penghilangan amoniak secara biologis sebagai berikut :

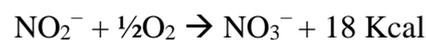
1) Nitrifikasi

Proses nitrifikasi menurut Grady & Lim (1980) didefinisikan sebagai konversi nitrogen *ammonium* (NH₄⁺N) menjadi nitrit (NO₂⁻N) yang kemudian menjadi nitrat (NO₃⁻N) yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Proses nitrifikasi ini dapat dilihat dalam dua tahap yaitu :

- a. Tahap nitritasi, merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH₄⁺) menjadi ion nitrit (NO₂⁻) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrosomonas menurut reaksi berikut :



- b. Tahap nitration, merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO₃⁻) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrobacter menurut reaksi berikut :



Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



2) Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit dimana nitrat digunakan sebagai terminal hydrogen pada saat potensial oksigen rendah

dalam limbah. Produk akhir yang dihasilkan dari penguraian nitrat dan nitrit tersebut adalah gas nitrogen (N_2) atau nitrogen oksida (N_2O). Kedua gas tersebut bersifat inert dan dapat menguap di udara. Penyisihan nitrogen dari bentuk nitrat dikonversi menjadi gas nitrogen pada kondisi anoksik. Reaksi penyisihan nitrat adalah sebagai berikut :



2.2.7 Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan hasil pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam air baku. Total skala pH berkisar dari 1 sampai 14, dengan 7 dianggap netral. Nilai pH kurang dari 7 dikatakan asam dan nilai pH lebih dari 7 basa atau alkali (Allan et al., 2019). Nilai pH pada suatu perairan memiliki pengaruh terhadap jumlah organisme perairan sehingga dijadikan petunjuk untuk menyatakan baik atau buruknya suatu perairan. Perubahan nilai pH dapat disebabkan beberapa hal seperti hujan asam, limbah buangan industri, limbah penambangan, dan pelapukan mineral yang akan berakibat fatal terhadap organisme perairan. Batas maksimum Standar Baku Mutu menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 yaitu untuk pH sebesar 6,5-8,5.

2.3 Standar Kualitas Air Minum

Standarisasi kualitas air minum diperuntukkan bagi kehidupan manusia, tidak mengganggu kesehatan dan secara estetika diterima, serta tidak merusak fasilitas penyediaan air bersih itu sendiri. Agar kualitas air yang akan dikonsumsi dapat memenuhi persyaratan kesehatan, maka menteri kesehatan mengeluarkan peraturan berupa persyaratan kualitas air minum seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023.

Standar air minum merupakan angka-angka batasan pada beberapa parameter air yang menjadi acuan bagi para praktisi dalam mengolah dan membagikan air minum. Air minum yang merupakan air olahan harus memenuhi persyaratan tertentu dalam standar sehingga dapat dikonsumsi langsung oleh manusia. Peryaratan tertentu tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023. Standar air minum dapat berbeda antara negara yang satu dengan

lainnya, tergantung kemampuan akses setiap negara. Namun pada umumnya dunia internasional memakan standar air minum dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebagai acuan. Selain itu juga ditetapkan kualitas air baku untuk air minum pada Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021.

Tabel 2. 2 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	Mikrobiologi <i>Escherchia coli</i>	0	CFU / 100 ml	SNI / APHA
2	Total Coliform	0	CFU / 100 ml	SNI / APHA
	Fisik			
3	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI/APHA
4	Total Dissolve Solid	<300	mg/L	SNI/APHA
5.	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/APHA
7	Bau	Tidak Berbau	-	APHA
	Kimia			
8	pH	6,5 – 8,5	mg/L	SNI/APHA
9	Nitrat (sebagai NO^3 (terlarut))	20	mg/L	SNI/APHA
10	Nitrit (sebagai NO^2 (terlarut))	3	mg/L	SNI/APHA
11	Kromium valensi 6 (Cr^{6+}) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	Mg/L	SNI/APHA
14	Sisa Khlor	0,2-0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI/APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
15	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
16	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/APHA
17	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
18	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
19	Alumunium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

Tabel 2. 3 Parameter Wajib Air Minum Wilayah Industri

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
B.	Wilayah Industri			
1	Total Kromium (Cr)	0,05	mg/L	SNI/APHA/US EPA
2	Amonia (NH ³) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
3	Hidrogen Sulfida (H ₂ S) (terlarut)	0,05 – 0,1	mg/L	SNI/APHA
4	Sianida (CN)	0,07	mg/L	SNI/APHA
5	Tembaga (Cu)	2	mg/L	SNI/APHA
6	Selenium (Se)	0,01	mg/L	SNI/APHA
7	Seng (Zn)	23	mg/L	SNI/APHA
8	Nikel (Ni)	0,07	mg/L	SNI/APHA
9	Senyawa diazo (zat pewarna sintetik)			SNI/APHA
10	Fenol (C ₆ H ₆ O) (C ₆ H ₅ OH)			SNI/APHA
11	Fosfat (PO ₄)			SNI/APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
12	Methylene Blue Active Substances (MBAS)			SNI/APHA
13	Deterjen			SNI/APHA

Sesuai dengan Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, adapun parameter untuk air baku sungai adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Parameter Wajib Persyaratan Air Baku Sungai

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara diatas permukaan air
2	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5	Derajat Keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
6	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8	Oksigen Kimia (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9	Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	300	300	300	400	
10	Klorida (Cl^-)	mg/L	300	300	300	600	
11	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16	Fluorida (F^-)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17	Belerang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18	Sianida (CN^-)	mg/L	0,02	0,002	0,002	-	
19	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
22	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
27	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33	Kromium heksavalen (Cr-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34	Minyak dan Lemak	mg/L	1	1	1	10	
35	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37	Aldrin/Deldrin	µg/L	17	-	-	-	
38	BHC	µg/L	210	210	210	-	
39	Chlordane	µg/L	3			-	
40	DDT	µg/L	2			2	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
41	Endrin	µg/L	1	4	4	-	
42	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
43	Lindane	µg/L	56	-	-	-	
44	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
45	Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
46	Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1.000	1.000	2.000	
47	Total Coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	5.000	10.000	
48	Sampah		Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	
49	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

2.4 Bangunan Pengolahan Air Minum

2.4.1 Bak Penampung Transisi (Saluran Pembawa)

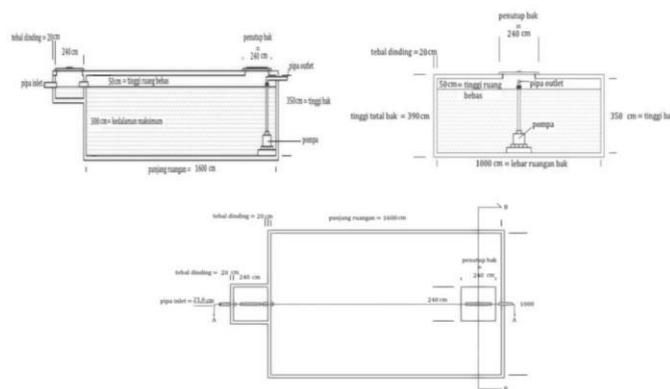
Bak penampung transisi merupakan unit yang digunakan untuk menampung air dari hasil proses pengolahan air buangan yang selanjutnya akan diolah menjadi air minum. Bak penampung sendiri merupakan bangunan yang memiliki fungsi untuk menampung serta menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa 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 memiliki maksimum yaitu selama 30 menit, hal tersebut dilakukan 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., 2003).

Beberapa manfaat utama dari penggunaan unit bak penampung yaitu:

- 1) Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan
- 2) Kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- 3) Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan);
- 4) Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Selain manfaat, unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya:

- 1) Memerlukan area/lokasi yang cukup luas
- 2) Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal
- 3) Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.1 Bak Penampung

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

- 1) Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.

- 2) 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.

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

Tabel 2.5 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman Air Minimal	h_{min}	1,5 – 2	m	Metcalf & Eddy et al., 2007
2	Ambang Batas (Freeboard)	h_{fb}	5 – 30	%	
3	Laju Pemompaan Udara (aerasi)	Q_{udara}	0,01 - 0,015	m^3/m^3 -menit	
4	Kemiringan Dasar Tangki	Slope	40 – 100	mm/m diameter	Qasim & Zhu, 2017
5	Waktu Tinggal	T_d	1 – 2	jam	Metcalf & Eddy et al., 2007

(Sumber: Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018)

Pada proses pengaliran air dari bak penampung menuju unit selanjutnya diperlukan pompa supaya debit yang masuk akan menjadi teratur sehingga dapat mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang akan digunakan yaitu:

Tabel 2.6 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolah Air

Klasifikasi	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	1. Air limbah sebelum diolah 2. Penggunaan Lumpur Kedua 3. Pembuangan <i>effluent</i>
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	<i>Rotor</i>	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan buangan
Posite <i>Displacement</i>	<i>Screw</i>	1. Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua 2. Air limbah pertama
	<i>Diafragma Penghisap</i>	1. Permasalahan zat kimia limbah logam 2. Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	<i>Pneumatic Ejector</i>	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

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

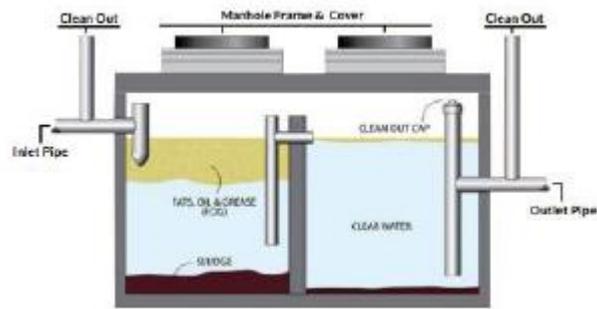
2.4.2 Grease Trap

Untuk mengambil zat-zat yang tercampur selain dengan cara pengendapan dapat juga dilakukan dengan cara pengapungan. Flotasi adalah unit operasi yang digunakan untuk menyisahkan minyak dan lemak dalam air limbah agar tidak mengganggu sistem pengolahan selanjutnya. Penyisihan minyak dan lemak menggunakan grease trap dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya grease trap

terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisahkan berbagai jenis padatan dengan berat jenis yang lebih ringan daripada air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air selanjutnya kompartemen kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut dalam aliran air menuju proses selanjutnya (PUPR).

Grease trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar gemuk/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang. Jenis *Grease Trap* :

- Yang paling umum adalah grease trap pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. Grease trap ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan gemuk akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
- Jenis yang paling umum kedua adalah tangki in-ground berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau 20 baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat / trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, gemuk dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
- Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices/Perangkat Pemulihan Lemak*), menghapus lemak / minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.



Gambar 2. 2 Grease Trap

Kriteria Desain

1. Kecepatan aliran (v) = 2-6 m/jam = 0,00055 m/s - 0,0016 m/s
2. Waktu tinggal (td) = 5-20 menit

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Tabel 2. 7 Rumus yang Perencanaan Grease Trap

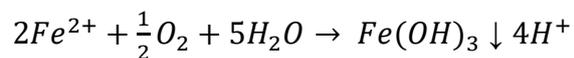
RUMUS PERENCANAAN GREASE TRAP	
Volume	
$V = Q \times t_d$	Keterangan: td = waktu detensi Q = debit air limbah (m ³ /detik)
Luas Area	
$A = \frac{Q}{V}$	Keterangan: Q = debit air limbah (m ³ /detik) V = Volume (m ³)
Panjang Kompartemen 1 dan 2	
Panjang kompartemen 1 = 2/3P Panjang kompartemen 2 = 1/3P A' = P x L	
Cek kecepatan aliran	
$V = \frac{Q \text{ influent}}{\text{Luas Permukaan}}$	

RUMUS PERENCANAAN GREASE TRAP
Dimensi Pipa
$A = \frac{Q}{V}$ $A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$
Headloss
Jari-jari Hidrolis $R = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$ Keterangan: R = jari-jari hidrolis (m) H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m) B = lebar saluran pembawa (m)
Slope
$s = \left(\frac{n \times v}{(R)^{2/3}} \right)^2$ s = kemiringan saluran/slope (m/m) n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa v = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/detik) R = jari-jari hidrolis (m)

2.4.3 Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penambahan udara ataupun oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara (air ke dalam udara) atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air (udara ke dalam air). Perpindahan gas dari atmosfer ke air (penambahan oksigen terlarut) akan meningkatkan oksidasi besi, mangan, dan logam lain ke tingkat oksidasi yang lebih tinggi dan lebih tidak larut. Endapan ini akan menjadi dibuang di bak sedimentasi dan unit filtrasi (Droste, 1997).

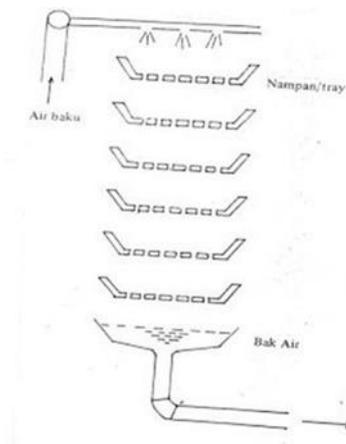
Tujuan dari proses aerasi adalah meningkatkan konsentrasi oksigen yang berada didalam air yang berguna dalam pengolahan air. Terjadi kontak antara air dan oksigen dikarenakan adanya penambahan udara dalam air pada proses aerasi sehingga dapat membentuk endapan $(OH)_3$, hal tersebut juga berlaku pada logam lain. Selain itu aerasi juga meningkatkan produksi oksigen ditandai dengan penurunan parameter organik dan chemical oxygen demand (COD). Berikut reaksi kimia yang terjadi pada besi saat aerasi berlangsung (Izzati Istihara, 2019):



Jenis-jenis metode aerasi, antara lain:

1. *Waterfall aerator* (aerator air terjun)

Pengolahan aerasi dengan metode *waterfall/multiple aerator* seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 *tray* dengan dasarnya penuh lubang-lubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang air dibagi rata melalui atas *tray*, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m^2 permukaan *tray*. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap *tray* berikutnya. *Tray-tray* ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan-lempengan absetos cement berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara parallel.

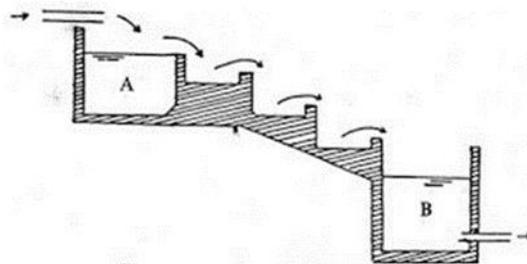


Gambar 2. 3 Waterfall Aerator

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

2. Cascade Aerator

Pada dasarnya *aerator* ini terdiri dari 4-6 *step*/tangga, setiap *step* kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m³/det per meter. Untuk menghilangkan gerak putaran (*turbulence*) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peraltan pada setiap *step*. Dibanding dengan *tray aerator*, ruang (tempat) yang diperlukan bagi *cascade aerators* agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.

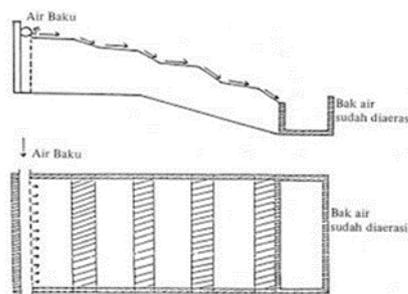


Gambar 2. 4 *Cascade Aerator*

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

3. Submerged Cascade Aerator

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

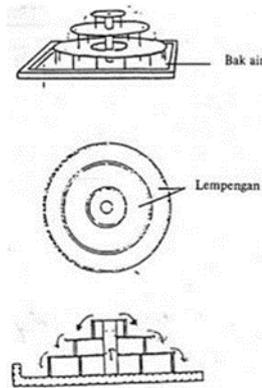


Gambar 2. 5 *Sumerged Cascade Aerator*

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

4. *Multiple Plat Form Aerator*

Multiple Plat Form Aerator memakai prinsip yang sama, yaitu memiliki lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh terhadap air.

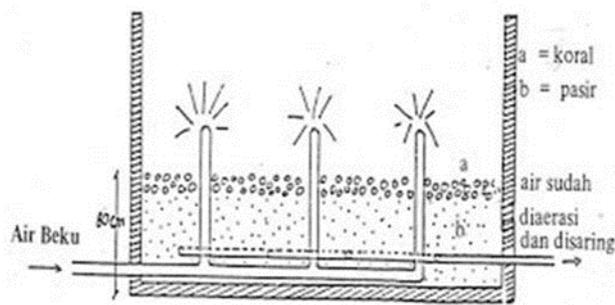


Gambar 2. 6 *Multiple Plat Form Aerator*

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

5. *Spray Aerator*

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

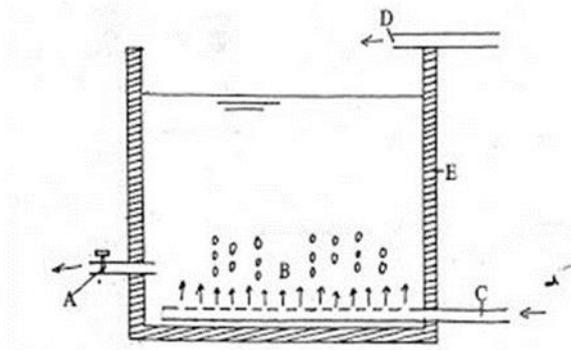


Gambar 2. 7 *Spray Aerator*

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

6. *Bubble Aerator* (Aerator Gelembung Udara)

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



Gambar 2. 8 *Bubble Aerator*

Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

7. *Multiple Tray Aerator*

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (*tray*) dan dilubangi pada bagian dasarnya. Air dialirkan dari puncak berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (*tray*) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (*collecting pons*). Pemerataan distribusi air diatas *tray* sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti

arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 26 inch (5-15 cm) adalah sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalis dari mangan oksida.

Multiple tray aerator harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan yang terdapat pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang, karena terjadi kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan atau unsur-unsur tertentu yang ingin dihilangkan. Secara garis besar, desain dan karakteristik operasional aerator dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000), sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Desain Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi: Cascade	20-45% CO ₂	- Tinggi: 1-3 m - Luas: 85-105 m ² /m ² .det - Kecepatan aliran: 0,3 m/det
Packing tower	>95% VOC >90% CO ₂	- Diameter kolom maksimum: 3 m - Beban hidrolis: 2000 m ³ /m ² . hari - Kecepatan aliran: 0,3 m/det
Tray	>90% CO ₂	- Kecepatan: 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit - Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ . Air - Jarak rak (tray): 30-75 cm - Luas: 50-160 m ² /m ³ . Det
Spray Aerator	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	- Tinggi: 1-2,9 m - Diameter nozzle: 2,5-4 cm - Jarak nozzle: 0,6-3,6 m - Debit nozzle: 5-10 l/det

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Bedifusi	80% VOC8	<ul style="list-style-type: none"> - Luas bak: 105-320 m³/m². det - Tekanan semprotan: 70 kPa - Waktu detensi: 10-30 menit - Udara: 0,7-1,1 m³/m². Air - Tinggi kedalaman: 2,7-4,5 m - Lebar: 3-9 m - Lebar/kedalaman: <2 volume - Maksimum: 150 m³ - Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
Aerator mekanis	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> - Waktu detensi: 10-30 menit - Kedalaman tangki: 2-4 m
Harga	Rp45.000.000,00	

Sumber: (Qasim et al., 2000)

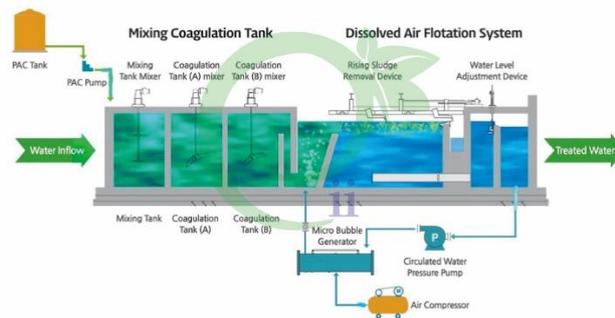
2.4.4 *Dissolved Air Flotation (DAF)*

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.

Pada sistem (DAF), udara dilarutkan didalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang halus (30-120 mikron).

Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga

kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif.



Gambar 2. 9 Dissolved Air Flotation

Sumber : (<https://www.pakaripal.com/produk-servis/waste-water-treatment-plant-wwtp/88-flotasi-pengapungan-daf-dissolved-air-flotation.html>)

Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi-flokulasi dalam sistem pengolahan sebagai berikut:

1. Flotasi

Flotasi merupakan unit pemisah pada fase cair atau fasa padat dari fasa cair. Pemisahan partikel dari cairan flotasi didasarkan pada perbedaan berat jenis partikel dengan bantuan gelembung udara. Proses flotasi dibagi menjadi 3 jenis, antara lain:

a) *Air Flotation*

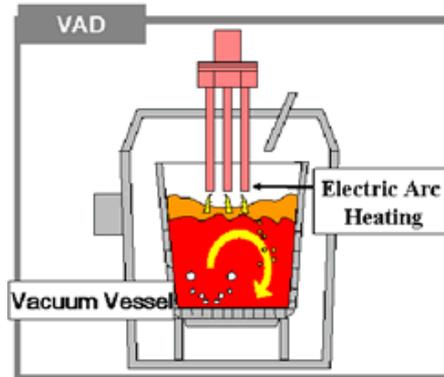
Udara akan masuk ke dalam fluida dengan menggunakan mekanisme rotor-disperser. Rotor yang terendam dalam fluida akan mendorong udara menuju bukaan disperser sehingga udara bercampur dengan air sehingga partikel yang mengapung disisihkan. Sistem ini memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan area yang luas dan lebih efektif dalam menyisihkan partikel minyak.

b) *Dissolved Air Flotation (DAF)*

Dissolved Air Flotation melakukan pengapungan dengan melarutkan udara ke dalam fluida dengan tekanan yang tinggi kemudian dilepaskan dalam tekanan atmosfer. Penggabungan dari gelembung-gelembung gas halus dengan suspended solid atau oil mengakibatkan penurunan gravitasi sehingga menambah daya pengapungan.

c) *Vacuum Flotation*

Limbah cair diaerasi hingga jenuh sehingga akan terbentuk gelembung udara yang akan lolos ke atmosfer dengan mengangkat partikel-partikel ke atas.



Gambar 2. 10 *Vacuum Flotation*

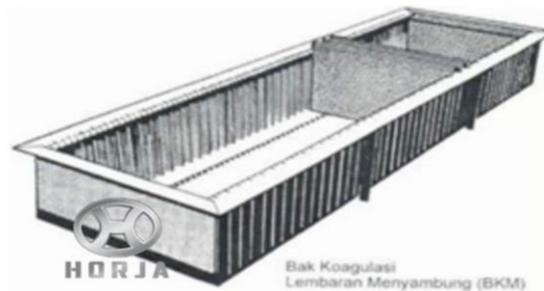
Pada tugas perancangan ini kelompok kami menggunakan jenis *Dissolved Air Flotation (DAF)*.

2. Koagulasi – Flokulasi

Kogulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi.

Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi

zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi (Said, 2017).



Gambar 2. 11 *Bak Koagulasi*

Sumber : (alatpertanian.net)

Proses koagulasi ini merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (flash mixing) bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan ferric chloride karena proses hidrolisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses flash mixing. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, aluminium sulfat, feri sulfat, dan ferro sulfat (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014).

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 Koagulen

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).

Pada pengolahan DAF terdapat bak pembubuh untuk menambahkan koagulan pada bak DAF. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

a) Bak Pembubuh

- Kebutuhan Koagulan

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{dosis koagulan} \times Q \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari) Dosis

koagulan = dosis optimum koagulan (mg/L)

Q = debit air limbah (L/hari)

- Volume tangki koagulan

$$V = \frac{\text{Kebutuhan Koagulan}}{\rho \text{ koagulan}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

V = volume koagulan (m³/hari)

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

p koagulan = massa jenis koagulan (kg/m³)

- Volume air pelarut (Vair)

$$V_{\text{air}} = \frac{\text{kadar air dalam larutan}}{\text{kadar koagulan dalam larutan}} \times \text{Volume}$$

$$\text{Koagulan} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

V total = volume total bak pembubuh (L/hari)

V air pelarut = volume air pelarut (m³/hari)

V koagulan = volume koagulan (m³/hari)

- Kedalaman air

$$V = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H$$

$$H \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

V = volume tangki koagulasi (m³) D = diameter tangki pembubuh (m)

π = 3,14

H = kedalaman air dalam tangka pembubuh (m)

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \mu x$$

$$v \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

P = suplai tenaga ke air (watt)

G = gradien kecepatan (L/s)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- V = volume total tangki koagulasi (m³)

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (l/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 \geq	700
20	1000

Sumber: (Reynolds, 1996, page 184)

- Diameter impeller

$$Di = \left(\frac{1}{KT \times n^3 \times p} \right)^{\frac{1}{5}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

Di = diameter impeller/pengaduk(m)

P = suplai tenaga ke air (watt)

KT = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n = kecepatan putaran (rps)

p = massa jenis air (kg/m³)

Tabel 2. 9 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi
---------------	-------------------	---------

Paddle	20-150 rpm	Diameter = 50-80% Lebar Bak lebar = 0,1-1,67 Diameter paddle
Turbine	10-150 rpm	Diameter = 30-50% Lebar bak
Propeller	400-1750 rpm	Diameter = Max. 45 cm

Sumber: (Reynolds, 1996, page 184 & 185)

Tabel 2. 10 Konstanta KT dan KL

Jenis Impeller	KL	KT
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 blades (single paddles), Di/Wi=4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi=6	49,0	2,75

Jenis Impeller	KL	KT
Flat padd;es, 6 blades, Di/Wi=8	71,0	3,82
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
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 blades (single paddles), Di/Wi=4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi=6	49,0	2,75
Flat padd;es, 6 blades, Di/Wi=8	71,0	3,82

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188)

- Cek bilangan Reynold

$$\text{Cek Nre} = \left(\frac{Di^3 \times n \times p}{\mu} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

Nre = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

n = putaran impeller (rps)

p = massa jenis air (kg/m³)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- b) Bak flotasi

Tekanan udara (P)

$$\frac{A}{S} = \left(\frac{1,3 \times sa \times ((f \times p) - 1)}{sa} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

P = tekanan udara (atm)

sa= kelarutan udara (ml/liter) f = fraksi kelarutan udara

S_a = influent minyak dan lemak (mg/L)

A/S = rasio udara per padatan (ml/mg)

- Volume bak flotasi

$$V = (Q \text{ limbah} + Q \text{ bak pembubuh}) \times t_d \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

V = volume bak flotasi (m^3)

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

Q pembubuh = debit pembubuh (m^3 /detik) t_d = waktu detensi (detik)

- Dimensi bak flotasi

$$V = L \times B \times$$

$$H \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

V = volume bak flotasi (m^3)

L = panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman air pada bak (m)

- Kedalaman bak flotasi

$$H \text{ total} = H +$$

$$\text{Freeboard} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

H total = kedalaman bak (m)

H = ketinggian air dalam bak penampung (m) Freeboard = 5% - 30%

- *Surface Loading Rate* (SLR)

$$SLR = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

SLR = *Surface Loading Rate* Q = debit air limbah (m^3 /detik) A = luas permukaan (m^2)

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampungan basah}} = \frac{B \times H}{B + (2H)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam bak penampung (m)

B = lebar bak penampung (m)

c) Zona Lumpur/Sludge

- TSS tersisihkan

$$\text{TSS tersisihkan} = \text{TSS influent} \times \% \dots\dots\dots(2.14)$$

- TSS effluent

$$\text{TSS} = \text{TSS influent} - \text{TSS tersisihkan} \dots\dots\dots(2.15)$$

Massa TSS yang tersisihkan

- Massa tersisihkan = TSS effluent x Q.....(2.16)

Keterangan:

Q = debit air limbah (m³/s)

- Volume TSS tersisihkan

$$V \text{ TSS} = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampungan basah}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

ρ = massa jenis solid

- Massa air tersisihkan

$$\text{Massa air} = \frac{\text{presentase jumlah air}}{\text{presentase jumlah sludge}} \times \text{massa tersisihkan} \dots\dots\dots(2.18)$$

ρ air = massa jenis air

- Volume sludge

$$V \text{ sludge} = V \text{ TSS} + V \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

V TSS = volume TSS tersisihkan

V air = volume air

- Debit lumpur

$$Q \text{ lumpur} = \frac{V \text{ sludge}}{\text{waktu pengurasan}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

Q lumpur = debit lumpur

V sludge = volume sludge/lumpur

- Berat sludge

$$\text{Berat sludge} = V \text{ sludge} \times \rho \text{ sludge} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

V sludge = volume lumpur/sludge (m³/hari)

ρ sludge = massa jenis sludge (kg/m³)

- Dimensi zona lumpur

$$V \text{ limas terpuncung} = \frac{1}{3} \times H (A + \sqrt{AA'} + A') \dots \dots \dots / \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

H = kedalaman zona lumpur (m)

A = luas permukaan atas zona lumpur (m²)

A' = luas permukaan bawah zona lumpur (m²)

- Kebutuhan Udara

$$\text{Kebutuhan udara teoritis} = \text{jumlah TSS yang tersisihkan} \dots \dots \dots (2.23)$$

- Kebutuhan O₂ teoritis

$$\text{Keb. O}_2 \text{ teoritis} = \text{kebutuhan udara} \times f \dots \dots \dots (2.24)$$

Kebutuhan Teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

f = faktor desain

- Jumlah kebutuhan O₂ teoritis

$$\Sigma \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = \frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{berat standar udara} \times \text{O}_2 \text{ dalam udara}} \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan:

Kebutuhan O₂ teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

Berat standar udara = Berat standar udara (kg/m³)

O₂ dalam udara = Oksigen dalam udara (%)

- Kebutuhan O₂ aktual

$$\Sigma \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = \frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{efisiensi diffuser}} \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan:

Kebutuhan O₂ aktual = Kebutuhan oksigen actual (m³/menit)

Kebutuhan O₂ teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

Efisiensi diffuser = Efisiensi pada diffuser (%)

2.4.5 Adsorpsi

Salah satu cara untuk menghapus kontaminan dari air limbah adalah melalui metode adsorpsi, seperti yang telah dijelaskan oleh Rios et al. (1999) dan Saiful et al. (2005). Adsorpsi adalah proses di mana suatu zat, baik molekul maupun ion, terperangkap pada permukaan adsorben. Terdapat dua mekanisme utama dalam

penjerapan, yaitu fisiosorpsi, yang terjadi secara fisik, dan kemisorpsi, yang terjadi secara kimia. Dalam fisiosorpsi, gaya van der Waals berperan dalam mengikat adsorbat pada adsorben, dengan energi yang dilepaskan relatif rendah, sekitar 20 kJ/mol (Castellan, 1982). Sebaliknya, pada kemisorpsi, interaksi antara adsorbat dan adsorben melibatkan pembentukan ikatan kimia. Proses ini dimulai dengan fisiosorpsi, di mana partikel adsorbat mendekati permukaan adsorben melalui gaya van der Waals atau ikatan hidrogen. Kemudian, terjadi kemisorpsi ketika ikatan kimia terbentuk, seringkali berupa ikatan kovalen, dan partikel cenderung mencari tempat dengan koordinasi substrat yang maksimum (Atkins, 1999).

Adsorpsi ialah suatu proses ketika fluida, termasuk cairan dan gas, terikat pada suatu bahan padat dan membentuk lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut. Ini berbeda dengan absorpsi di mana fluida diserap oleh fluida lain untuk membentuk larutan. Dalam konteks adsorpsi, kita menggunakan istilah adsorbat dan adsorben. Adsorbat merujuk pada substansi yang terjerap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sementara adsorben adalah media penyerap yang umumnya berupa senyawa karbon.

2.4.6 Filtrasi

Menurut Al-Layla pada tahun 1978, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan proses filtrasi. Proses filtrasi sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang terjadi di dalam proses filtrasi itu sendiri

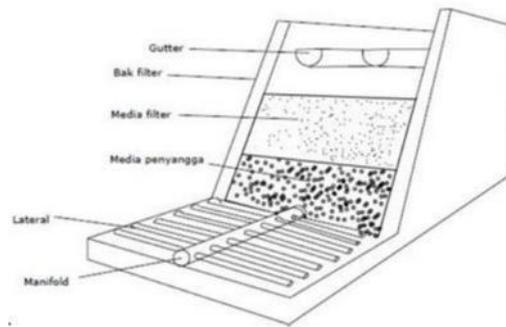
Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah sebagai berikut :

1. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
2. Proses sedimentasi di dalam filter
3. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang sudah terkumpul di atas lapisan filter d. Proses adsorpsi atau proses eletrokinetik
4. Proses koagulasi di dalam filter
5. Proses biologis di dalam filter
6. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain rapid sand filter, slow sand filter, pressure sand filter, multiple media filters, diatomateous earth filters, upflow filters dan lain sebagainya. Menurut Al-Layla pada tahun 1980, pada proses purifikasi air, rapid sand filters memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan slowsand filters. Kecepatan pada rapid sand filters ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara $4-5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ (namun terkadang laju filtrasinya dapat lebih dari $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$).

Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45-0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80cm. Proses backwash pada rapid sand filter berbeda dengan slow sand filter. Pada rapid sand filters waktu backwash ditentukan dari headloss filter saat itu.

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukurannya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. Namun jika ukuran partikel terlalu kecil (contohnya: partikel koloid dan bakteri) akan lebih sulit untuk dihilangkan karena akan lebih mudah lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Namun dapat juga digunakan oleh partikel-partikel flok yang belum seratus persen terendapkan pada bak sedimentasi untuk mengendap pada lapisan kerikil ini. Pada gambar 2.17 dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2. 12 Bagian-bagian filter

Sumber: (Reynolds & Richard, 1996)

Keuntungan menggunakan rapid sand filters adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan slow sand filters. Sedangkan kekurangan dari rapid sand filters adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrazit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan *Effective Size* (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat.

Fraksi berat ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari rasio ukuran rata – rata dan standar deviasi nya. *Uniformity Coefficient* (UC) atau koefisien keragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60% fraksi berat terhadap ukuran (size). Kriteria untuk keperluan rapid sand filter adalah:

- Single media pasir:

$$UC = 1,3-1,7$$

ES = 0,45-0,7 mm

- Dual media:

UC = 1,4-1,9

ES = 0,5-0,7 mm

1. Filter Pasir Cepat

Filter pasir cepat atau rapid sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 6 hingga 11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika kekeruhan pada influen filter pasir cepat berkisar 5-10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi & Assomadi, 2012:171). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2. 11 Kriteria Perencanaan *Rapid Sand Filter*

Sumber: (SNI 6774-2008)

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1-0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir

Kriteria	Nilai/Keterangan
Filter run	20-60 hari

2. Filter Pasir Lambat

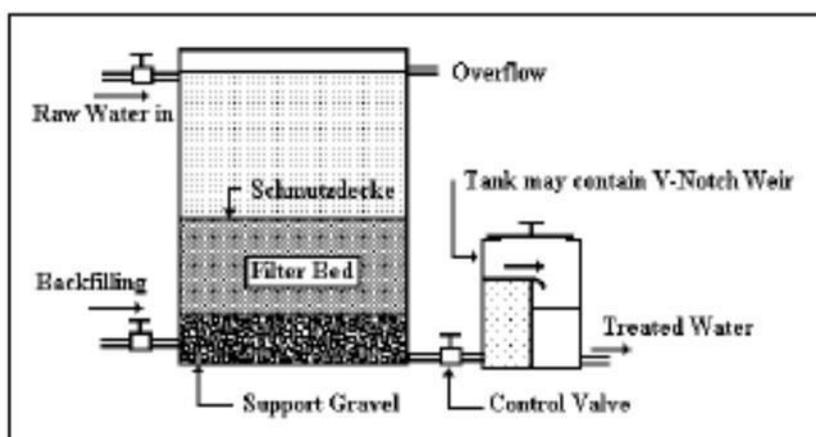
Filter pasir lambat atau slow sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter pasir lambat bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *hypogeal* atau *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, *fungi*, *protozoa*, *rotifera*, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati *schmutzdecke*, partikel akan dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, *fungi*, dan *protozoa* (Masduqi & Assomadi, 2012:176). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1 -0,4 m ³ /jam
Ukuran bed	Besar,2000 m ²
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20-60 hari

Kriteria	Nilai/Keterangan
Metode pembersihan	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2-0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah
Harga	Rp1.700.000,00

Sumber: (Schulz & Okun, 1984)



Gambar 2. 13 Filter Pasir Lambat

Sumber: (BAB_II_62.pdf (undip.ac.id))

3. Filter Bertekanan (*Pressure Filter*)

Pada dasarnya Filter bertekanan (*pressure filter*) mempunyai prinsip yang sama dengan filter grafitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada filter cepat dan filter lambat, aliran air melewati media berbutir hanya didorong oleh tekanan atmosfer atau sistem aliran terbuka. Pada dilter bertekanan, diperlukan pendorong tekanan yang lebih besar. Oleh karena itu tangki dirancang dengan sistem tertutup dan menggunakan pompa untuk menambah tekanan dalam tangki. Filter bertekanan terdiri atas tangki tertutup, media filter, media

penyangga, dan sistem *underdrain*. Kriteria filter bertekanan terdapat pada tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Kriteria Filter Pasir Bertekanan

No.	Unit	Nilai/Keterangan
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12-33
2.	Pencucian: Sistem pencucian Kecepatan(m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antara dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	Tanpa atau dengan blower & atau surface wash 72-198 - - 30-500
3.	Media pasir Tebal (mm) Single media Media ganda Ukuran efektif (ES) mm Koefisien keseragaman (UC) Berat jenis (kg/L) Porositas Kadar SiO ₂	300-700 600-700 300-600 - 1,2-1,4 2,5-2,65 0,4 >95%
4.	Media antrasit Tebal (mm) ES (mm) (UC) Berat jenis (kg/L) Porositas	400-500 1,2-1,8 1,5 1,35 0,5
5.	Dasar Filter Nozel Lebar slot nozel (mm)	<0,5

No.	Unit	Nilai/Keterangan
	Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	>4%

Sumber: (SNI 6774-2008)

4. Hidrolika Pencucian (*Backwash*)

Apabila hidrolika pencucian (*Backwash*) digunakan dalam kurun waktu tertentu, filter akan mengalami penyumbatan akibat tertahannya partikel halus dan koloid oleh media filter. Tersumbatnya media filter ditandai oleh:

- Penurunan kapasitas produksi
- Peningkatan kehilangan energi (headloss) yang diikuti oleh kenaikan muka air di atas media filter
- Penurunan kualitas produksi

Tujuan pencucian filter adalah melepaskan kotoran yang menempel pada media filter dengan aliran ke atas (*upflow*) hingga media terekspansi. Umumnya tinggi sebesar 15 sampai 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter yaitu :

- Menggunakan menara air
- Interfilter

2.4.7 Reservoir

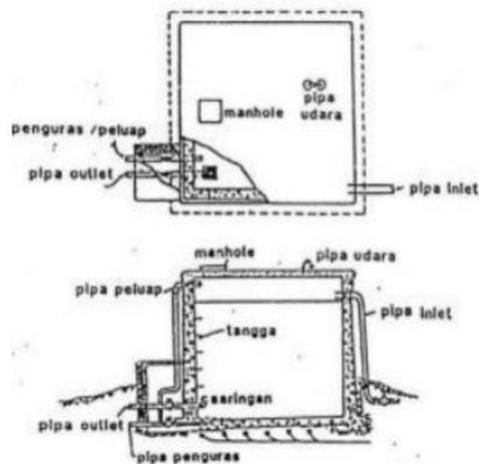
Reservoir merupakan tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Reservoir umumnya diperlukan dalam sistem penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air.

Seringkali debit produksi air bersih tidak 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

relatif reservoir terhadap 47 permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1) Reservoir Permukaan

Reservoir permukaan adalah reservoir yang sebagian besar atau seluruh reservoir tersebut terletak di bawah permukaan tanah



Gambar 2. 14 Reservoir Permukaan

(Sumber: BPSDM PU)

2) Reservoir Menara

Reservoir Menara adalah reservoir yang seluruh bagian penampungan dari reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan tangki sekitarnya.



Gambar 2. 15 Reservoir Menara

(Sumber: BPSDM PU)

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksi, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

A. 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.



Gambar 2. 16 Reservoir Tanki Baja

Sumber: ([Qdhy Tangki Reservoir Penyimpanan Air Baja,Kaca Menyatu DenganTangki Baja Dirakit Berenamel - Buy Water Reservoir Storage Tank,Pvc Water Storage Tank,50 M3 Water Storage Tank Product on Alibaba.com](#))

B. 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



Gambar 2. 17 Reservoir Beton Cor

Sumber: ([Aplikasi dan Fungsi Ground Tank Beton Berikut Pemeliharaan |Supplier Beton Cor \(readymix.co.id\)](#))

C. 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.



Gambar 2. 18 Reservoir Fiberglass

Sumber: (<http://www.pancawira.com/reservoir.html>)

2.5 Aksesoris Perancangan Bangunan

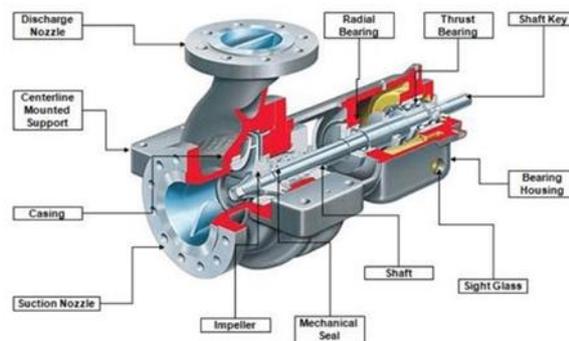
a. Pompa

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. 19 Sentrifugal Pump

Sumber: ([Pengertian Pompa Sentrifugal Manfaat, Cara Kerja dan Keunggulannya\(serviceacjogja.pro\)](#))

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. 20 *Rotary Pump*

Sumber: ([Rotary displacement pumps | The Best Chemical Handling Pumps -IWAKI \(iwakipumps.jp\)](#))

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 rotasi gir-nya.



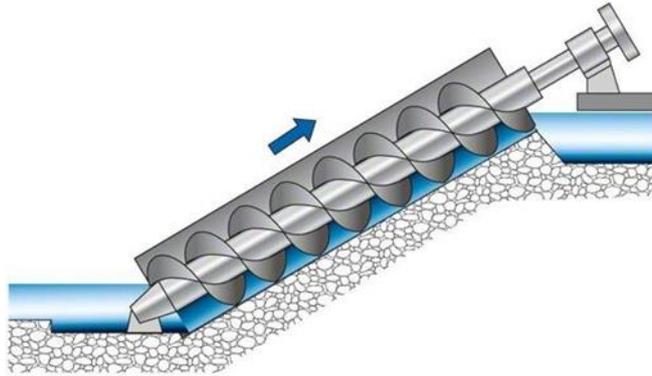
Gambar 2. 21 *Gear Pump*

Sumber: ([Chemical gear pumps GM-V series | The Best Chemical HandlingPumps - IWAKI \(iwakipumps.jp\)](#))

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. Perisn kerja Screw di temukan oleh seorang engineer Prancis bernama Rene Moneau, sehingga sering di sebut juga dengan Moneau pump.



Gambar 2. 22 *Screw Pump*

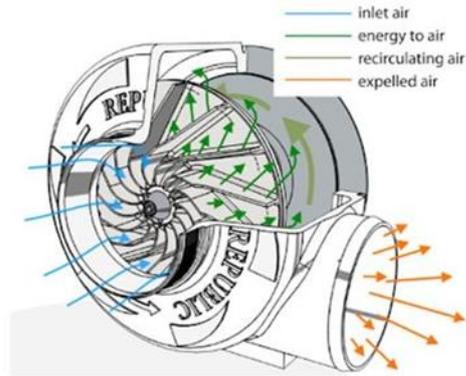
Sumber: ([Archimedean screw pump \(ksb.com\)](http://ksb.com))

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. 23 *Blower Sentrifugal*

Sumber: ([Mesin dan Proses: Prinsip Kerja Blower Centrifugal\(sarmansilverius.blogspot.com\)](#))

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.



Gambar 2. 24 *Blower Positive Displacement*

Sumber: ([Positive Displacement Blower series GM | Contact AERZEN FRANCE\(industry-plaza.com\)](#))

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.

5. Dop/plug/cap/clean out

Dop/plug/cap/clean out merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menutup saluran pipa pada ujung pipa yang tidak dihubungkan lagi. Cap adalah penutup yang lebih simpel dari yang lain, Plug adalah penutup yang sangat rapat dengan sistem ulir/drat, clean out adalah penutup yang dapat ditutup dan dibuka sesuka hati. Namun kebanyakan kontraktor memilih untuk menutup ujung pipa dengan kran, agar sewaktu-waktu ujung pipa dapat digunakan dan bermanfaat.

2.6 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 IPAB adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydrolic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

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.

2.7 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 adalah:

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 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. 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 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.