

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR PERENCANAAN

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Lumpur Buangan Instalasi Pengolahan Air (IPA)

Air merupakan kebutuhan pokok bagi manusia, hal ini dapat diketahui dengan adanya pertambahan jumlah penduduk dari waktu ke waktu yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan air. Proses pengolahan air minum yang dilakukan PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa tentu akan menimbulkan residu berupa lumpur. Lumpur tersebut dapat mengandung bahan organik maupun anorganik tergantung pada sumber air baku serta tipe unit pengolahan yang digunakan serta penggunaan bahan kimia ketika proses pengolahan dilakukan. Residu yang dihasilkan dari proses pengolahan air memiliki 4 tipe yaitu lumpur, konsentrat, *ion exchange resin*, dan emisi gas (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Karakteristik tipe residu yang dihasilkan dari pengolahan air di Indonesia umumnya berupa lumpur, hal ini dikarenakan proses pengolahan air yang digunakan bertujuan untuk mengolah air agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan agar bisa digunakan oleh masyarakat seta untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi yang berasal dari air baku. Lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air sangat dipengaruhi oleh kualitas air baku dan jumlah koagulan yang digunakan.

Lumpur merupakan campuran dari zat cair atau semi cair antara air dan padatan tersuspensi (tanah). Lumpur pada umumnya masih memiliki kadar air yang cukup tinggi karena persentase kandungan air di dalam lumpur dapat mencapai 95-99% (Julian et.al, 2015). Lumpur PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa adalah *solids* (padatan) yang dihilangkan dalam proses pengolahan air minum dan tanah liat (maupun air limbah), dan lumpur ini akan dialirkan melalui satu saluran untuk dibawa ke pembuangan akhir (*disposal*). Jumlah lumpur dapat diketahui berdasarkan jumlah pemakaian bahan kimia dalam proses koagulasi-flokulasi (*flocculation*), kekeruhan (*turbidity*), dan jumlah ataupun debit air baku yang digunakan dalam pengolahan air bersih dan air minum (Fahmi, 2020)

Tujuan dari adanya Instalasi Pengolahan Air (IPA) adalah untuk memproduksi atau melakukan pengolahan air minum dengan menghilangkan

partikel-partikel zat kotor yang ada di dalam air, maka tujuan adanya Instalasi Pengolahan Lumpur (IPL) adalah untuk menghilangkan kadar air yang terdapat di dalam hasil residu berupa lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum. Permasalahan utama dari pengolahan lumpur adalah volume air yang terkandung di dalam lumpur, dan kemudian residu padatnya dapat dimanfaatkan atau dibuang. Hasil akhir dari buangan lumpur yang dibuang ke sungai adalah air tanpa adanya suspensi padatan. Kuantitas lumpur yang dihasilkan oleh IPA yang harus dibuang ke pembuangan akhir sangat mempengaruhi dalam besarnya biaya operasi IPA, sehingga hal ini selalu menjadi salah satu faktor pertimbangan yang penting dalam memilih pengolahan lumpur yang tepat. Reduksi dari volume lumpur yang dihasilkan dapat mengurangi biaya operasional terkait pengolahan, penanganan dan pembuangan lumpur. Lumpur yang telah diolah pada *dewater* akan berbentuk *cake* sehingga lumpur tersebut lebih mudah ditangani dibandingkan lumpur berbentuk *liquid*, serta biaya pengoperasian lumpur ke lokasi pembuangan akhir akan lebih rendah jika volume lumpur diperkecil (Julian et.al, 2015).

Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan manajemen pengolahan lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air bersih sebagai berikut : (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996)

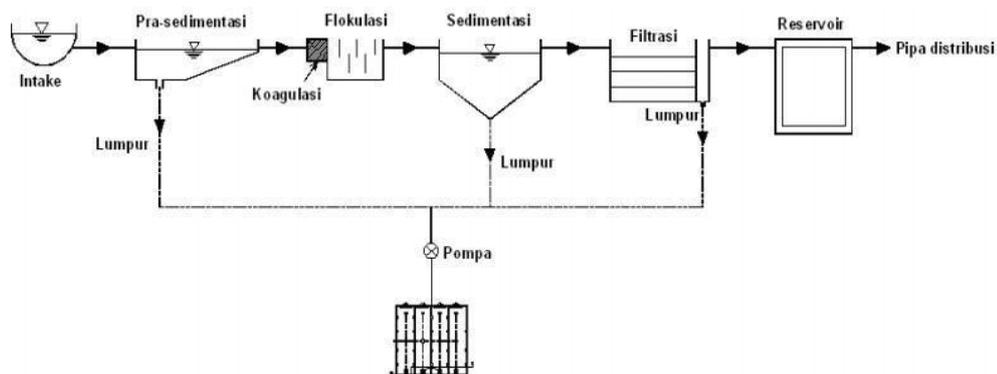
- Tipe dari instalasi pengolahan
- Karakteristik lumpur
- Peraturan yang berlaku
- Pemilihan pengolahan
- Pemilihan pembuangan

2.1.2 Sumber Lumpur Instalasi Pengolahan Air (IPA)

Pengolahan air minum menghasilkan residu berupa lumpur yang berasal dari proses pengolahan air minum. Residu lumpur ini memiliki kandungan anorganik, endapan lumpur serta penambahan bahan kimia saat proses pengolahan air dilakukan. Volume lumpur (*sludges*) yang dihasilkan dalam proses pengolahan air di IPA akan meningkat sesuai dengan peningkatan kapasitas produksi air yang dibutuhkan serta *impurities* yang terkandung di badan air. Lumpur dapat diartikan

sebagai *solids* atau padatan yang dihilangkan dalam proses pengolahan air minum maupun dalam proses pengolahan air limbah (Julian et.al, 2015).

Sumber utama penghasil lumpur pada proses pengolahan air minum umumnya berasal dari proses koagulasi-flokulasi, yang tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghilangkan kekeruhan pada air baku. Proses koagulasi-flokulasi ini juga berfungsi untuk membentuk flok-flok, dengan melakukan penambahan pengolahan yang lengkap seperti adanya *screening*, proses kimia, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi dan lain sebagainya sehingga air tersebut aman dikonsumsi oleh masyarakat. Unit operasi pengolahan air bersih akan menghasilkan residu yang berbeda karakteristiknya. Sumber lumpur yang dihasilkan dalam proses pengolahan air minum di IPA perlu diketahui. Sumber lumpur baku dari unit IPA dapat dilihat pada skema **Gambar 2.1** sebagai berikut.



Gambar 2.1 Skema Sumber Lumpur yang Dihasilkan di IPA

Sumber : SNI 7510-2011

Unit-unit yang menghasilkan lumpur atau hasil residu di dalam proses pengolahan air minum adalah sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003) :

1. Unit Sedimentasi

Unit sedimentasi, merupakan unit yang berfungsi mengendapkan flok-flok yang masih terbawa oleh air dalam proses koagulasi-flokulasi. Lumpur sedimentasi umumnya terdiri dari lumpur memiliki kandungan seperti koloid, *suspended solids*, pasir, zat organik dan anorganik, serta Metil Hidroksida (CH_3OH) yang berasal dari koagulan itu sendiri, misalnya *alum sludges*, *iron sludges*. Karakteristik lumpur yang terdapat pada unit sedimentasi pada proses pengolahan air umumnya terdiri dari kandungan

bahan kimia berupa koagulan yang digunakan. Presipitasi bahan kimia dengan menggunakan garam logam sebagai koagulan umumnya akan berwarna gelap dan mengandung banyak besi. Presipitasi merupakan pengurangan bahan-bahan terlarut (yang kebanyakan bahan anorganik) dengan cara penambahan bahan-bahan kimia terlarut yang dapat menyebabkan terbentuknya padatan-padatan (flok dan lumpur). Residu tersebut mengandung lumpur, sehingga hidrasi dari besi atau aluminium akan menyebabkan lumpur yang dihasilkan menjadi kental. Karakteristik lumpur dari bak sedimentasi juga tergantung pada kualitas air baku. Sumber air baku yang memiliki konsentrasi padatan tersuspensi (TSS) atau kekeruhan yang tinggi maka lumpur dari pengolahan kimia dengan menggunakan koagulan akan memiliki persentase presipitasi hidroksida dengan kekentalan yang tinggi juga.

2. Unit Filtrasi

Air *backwash* pada unit filtrasi mengandung flok berukuran lebih halus yang tidak dapat dihilangkan dan diendapkan pada unit sedimentasi. Flok-flok halus tersebut akan masuk dalam saringan pasir dan terbawa oleh aliran air ketika dilakukan *backwash* filter. Residu yang berasal dari unit filtrasi sulit dilakukan pengolahan dikarenakan memiliki kandungan padatan yang halus dan sedikit. Padatan dari air pencucian filtrasi ini akan sulit dipisahkan karena kandungan padatan relatif kecil, umumnya jumlah padatan yang masuk ke dalam unit ini berkisar 4-10 mg/L dan kandungan air yang terdapat pada *filter backwash water* ini relatif besar volumenya, yaitu berkisar antara 2-5% dari total air yang diproses. Proses *backwash* pada unit filtrasi umumnya dilakukan 2 hari sekali sesuai dengan kadar flok yang terjebak di dalam saringan pasir (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996).

3. Unit lainnya, seperti unit pelunakan air dan unit netralisasi.

Unit netralisasi merupakan unit yang digunakan dalam proses pengolahan air gambut menjadi air bersih dengan penambahan alkali seperti CaO (kapur tohor) atau CaCO₃ (batu gamping). Tujuan digunakan unit netralisasi dalam pengolahan air gambut adalah untuk menetralkan pH air gambut yang asam menjadi nilai pH air yang normal. Proses netralisasi pH air gambut sebagai

air baku dalam pengolahan air bersih juga dapat menghasilkan residu lumpur karena adanya penambahan alkali basah.

2.1.3 Karakteristik Lumpur Buangan dari IPA

Karakteristik lumpur buangan yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum tergantung pada kualitas air baku, jenis dan jumlah koagulan yang digunakan dalam proses pengolahan air minum. Aktivitas yang dilakukan PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa dalam melakukan pengolahan air minum juga dapat menimbulkan lumpur (*sludge*) dengan volume harian yang relatif besar, tergantung pada debit air yang diolah dan konsentrasi kekeruhan air bakunya. Semakin besar debit pengolahan yang digunakan dan semakin tinggi konsentrasi padatannya, baik padatan kasar (*coarse solid*), padatan tersuspensi (*suspended solid*) memiliki ukuran partikel $> 10^{-5}$ cm maupun koloid yang memiliki ukuran partikel $10^{-7} - 10^{-5}$ cm, maka akan semakin besar juga volume lumpur yang dihasilkan. Lumpur yang dihasilkan oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa memiliki karakteristik dan sifat kandungan yang berbeda, akan tetapi lumpur yang dihasilkan oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa juga tetap harus memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur (IPL) dalam menangani residu yang dihasilkan.

Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air di PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa berasal dari unit sedimentasi dan filtrasi. Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air umumnya berwarna coklat pekat dan lumpur tersebut bersifat diskrit (butiran-butiran yang terpisah) maupun flok-flok. Lumpur yang bersifat diskrit yaitu lumpur yang butir-butirannya terpisah tanpa koagulan, mayoritas lumpur diskrit ini mengandung pasir, grit, dan pecahan kerikil berukuran kecil. Lumpur yang berupa flok, yaitu kimflok (*chemifloc*) sangat besar volumenya terutama di PDAM besar, seperti di PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa Pontianak yang mana air bakunya sangat keruh, didominasi oleh koloid gambut atau lainnya. Produksi lumpur akan meningkat pada musim hujan akibat peningkatan kekeruhan yang disebabkan oleh erosi pada air baku. Faktor tersebut merupakan salah satu ciri-ciri dari faktor yang mempengaruhi kualitas air permukaan yang umumnya digunakan menjadi sumber air baku. Jumlah pemakaian bahan kimia untuk penanganan kekeruhan tergantung pada tingkat kekeruhan yang

ada pada air baku, dengan demikian pemakaian bahan kimia yang meningkat dapat mengindikasikan adanya peningkatan produksi lumpur.

Umumnya lumpur masih memiliki kadar air yang cukup tinggi sehingga diperlukan pengolahan untuk mengurangi kadar air dalam lumpur tersebut. Lumpur yang banyak mengandung padatan diperoleh dari hasil proses pemisahan padat-cair dari limbah yang sering disebut dengan *sludge* atau lumpur encer (Rizal, 2020). Karakteristik lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sumber lumpur, jenis industri penghasil air limbah atau lumpur, proses di IPAL, sifat fisik, komposisi bahan kimia serta tingkat pengolahan yang telah ditentukan (Rizal, 2020). Adapun karakteristik dominan dari lumpur alum yang dihasilkan dalam proses pengolahan air dapat dilihat pada **Tabel 2.1** sebagai berikut (UMA Group, 1984):

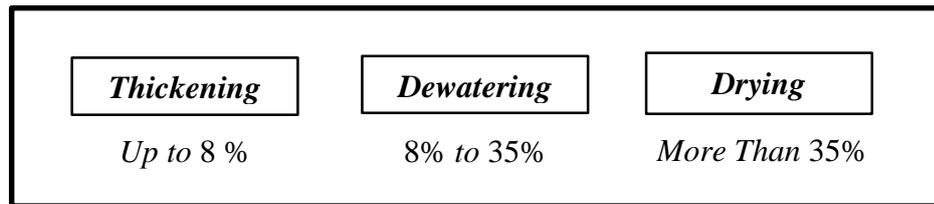
Tabel 2.1 Karakteristik Dominan Dari Lumpur Alum

Parameter	Besaran Umum
pH	5,5 – 7,5
<i>Total Solid (%)</i>	0,1 - 4
<i>Suspended Solid (%)</i>	75-99 dari total solid
Aluminium (%)	4-11 dari total solid
Fosfor Total (mg/L-P)	0,3 - 200

Sumber : UMA Group, 1984

2.1.4 Teknologi Pengolahan Lumpur

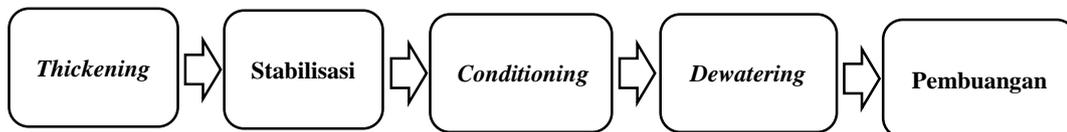
Penanganan lumpur koagulan yang dihasilkan dari produksi pengolahan air bersih dan air minum termasuk dengan pengolahan serta pembuangan dari lumpur. Persyaratan dan peraturan serta faktor lain perlu menjadi pertimbangan dalam pemilihan teknologi pengolahan residu lumpur sebelum pembuangan akhir. Tujuan dari pengolahan lumpur adalah untuk memisahkan kandungan air dan padatan yang ada pada lumpur sehingga lumpur yang dihasilkan ketika dibuang ke badan air tidak mengendap, mencemari perairan serta menyebabkan pendangkalan (Hosain, 2006). Persentase konsentrasi penyisihan kandungan padatan pada lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum di berbagai alternatif pengolahan lumpur dapat dilihat pada **Gambar 2.2** sebagai berikut.



Gambar 2.2 Persentase Konsentrasi Penyisihan Lumpur dari Berbagai Jenis Alternatif Pengolahan Lumpur

Sumber : ASCE/AWWA, 1998

Lumpur merupakan bagian terakhir dari proses pengolahan air yang harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan agar aman bagi ekosistem. Alternatif teknologi yang umumnya digunakan dalam menangani proses pengolahan lumpur dapat dilihat pada **Gambar 2.3** sebagai berikut.



Gambar 2.3 Jenis Proses Pengolahan Lumpur

Sumber : Kementerian PU, 2013

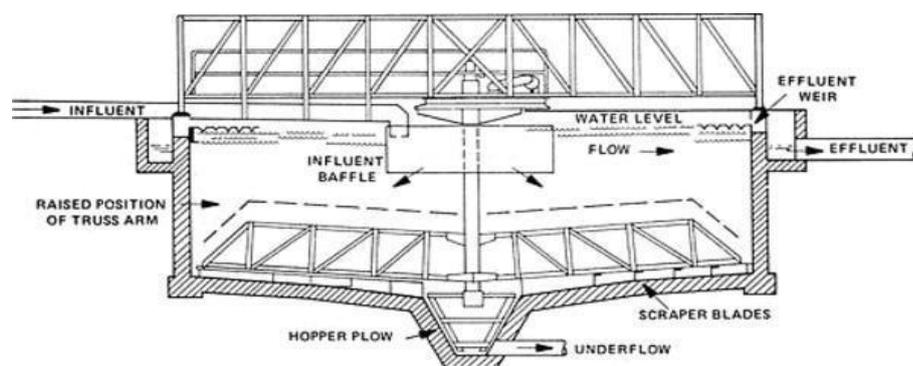
2.1.4.1 *Thickening*

Thickening merupakan proses pengolahan dengan cara pemekatan atau pemadatan lumpur untuk meningkatkan konsentrasi padatan pada lumpur dengan memisahkan padatan dari air (Metcalf & Eddy, 2003). Proses *thickening* dalam menentukan konsentrasi lumpur merupakan proses yang sangat penting untuk mendapatkan efisiensi penghilangan kandungan padatan dalam proses pengolahan yang tepat. Proses pemadatan dan pemekatan ini memiliki dampak langsung terhadap proses pengolahan setelahnya seperti *conditioning* dan *dewatering* sehingga sangat perlu diperhatikan. *Thickening* juga dapat memberikan efisiensi dan penghematan yang sangat berbeda dalam hal operasi dan pembiayaan dibandingkan dengan pengolahan lainnya (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Metode-metode *thickening* yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah atau lumpur adalah sebagai berikut:

a. Gravity Thickening

Gravity thickening merupakan metode pengolahan yang sering dipilih dan umum digunakan dalam proses pengolahan residu (lumpur) yang dihasilkan dari IPA khususnya di Indonesia. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan murah dalam pengoperasiannya. Prinsip kerja yang digunakan adalah dengan mengendapkan padatan yang memiliki nilai *specific gravity* yang lebih besar dari pada air. *Thickening* dapat dioperasikan dengan aliran kontinu, pembebanan hidraulik, dan konsentrasi padatan harus dikontrol dengan baik dan tepat, sehingga dapat beroperasi dengan optimal (Aldeeb, 1999).

Gravity thickening umumnya memiliki prinsip kerja dengan memadatkan lumpur dari kandungan padatan sebelumnya sekaligus mengurangi volume lumpur setengah dari volume awalnya. Residu yang dipadatkan dalam *gravity thickening* dapat dilakukan adaptasi atau rekondisi terlebih dahulu. Tangki *gravity thickening* umumnya berbentuk tabung dan terbuat dari beton, meskipun tangki dengan ukuran yang lebih kecil juga dapat dibuat dengan bahan yang dari besi. *Gravity Thickening* mempunyai mekanisme yang dapat mengolah dengan baik sisa padatan yang ada. Dasar dari *gravity thickening* mempunyai kemiringan dengan range yaitu 10% - 20%. Kemiringan pada *gravity thickening* berfungsi untuk mempermudah mekanisme pembersih lumpur sehingga dapat membersihkan sisa padatan yang masih tertinggal dalam bak atau unit pengolahan (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Bentuk dari *gravity thickening* dapat dilihat pada **Gambar 2.4** sebagai berikut.

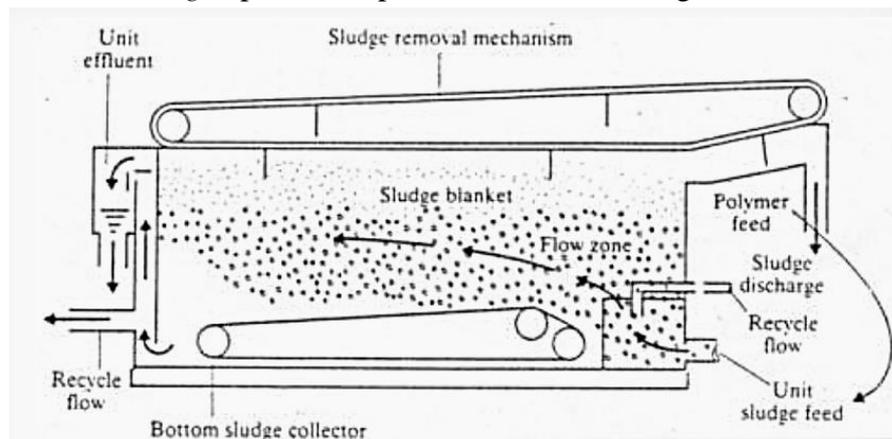


Gambar 2.4 Gravity Thickening

Sumber : AWWA/ASCE, 1996

b. Flotation Thickening

Metode *flotation* menggunakan prinsip kerja dengan memanfaatkan gelembung udara sebagai alat untuk mengangkat partikel padatan yang terdapat pada air buangan. Gelembung udara didapatkan melalui penambahan udara dengan tekanan ke aliran residu dari *water treatment plant* (WTP). Gelembung udara kemudian akan mengapung ke permukaan air dan membawa partikel-partikel padat yang bisa dihilangkan dalam proses *skimming* (Aldeeb, 1999). Teknik ini ideal untuk padatan yang memiliki densitas yang rendah. Pengoperasian metode ini akan menjadi masalah ketika beban padatan lumpur yang ditampung melebihi kapasitas yaitu $10 \text{ kg/m}^2\text{h}$. *Flotation thickening* ada tiga jenis yang umumnya digunakan yakni *dissolved air flotation*, *dispersed air flotation*, dan *vacuum flotation* (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun bentuk dari *flotation thickening* dapat dilihat pada **Gambar 2.5** sebagai berikut.

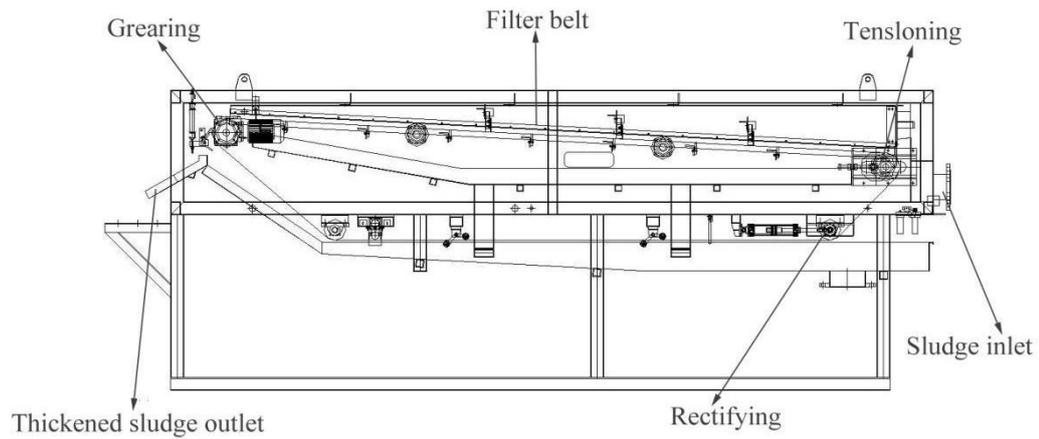


Gambar 2.5 Flotation Thickening

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

c. Gravity Belt Thickening

Gravity Belt Thickening merupakan metode yang melewatkan residu pada sabuk horizontal berporos yang bergerak. Lumpur akan mengalir bergerak sepanjang sabuk berporos mengikuti aliran yang direncanakan maka kemudian air akan keluar melewati poros-poros tersebut secara gravitasi. Konsentrasi padatan lumpur yang didapat dalam proses ini yaitu kurang lebih sebesar 2,5% - 4,5% lumpur bisa dipisahkan dari air buangan yang ada (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Adapun bentuk dari *Gravity Belt-thickening* dapat dilihat pada **Gambar 2.6** sebagai berikut.



Gambar 2.6 Gravity Belt-thickening

Sumber : AWWA/ASCE, 1996

Perbandingan kelebihan serta kekurangan dari beberapa metode *thickening* dapat dilihat pada **Tabel 2.2** sebagai berikut:

Tabel 2.2 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Beberapa Metode *Thickening*

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>Gravity Thickening</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Operator tidak memerlukan keterampilan khusus - Biaya operasi murah - Penggunaan energi minimum - Umumnya tidak diperlukan penggunaan <i>chemical conditioning</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan lahan yang luas - Padatan yang mengapung
<i>Flotation Thickening</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memberikan konsentrasi padatan yang lebih baik daripada <i>gravity thickening</i> - Memerlukan luasan lahan yang lebih sedikit - Tidak menggunakan/ sedikit menggunakan 	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya operasi lebih mahal - Penggunaan energi yang cenderung besar - Operator membutuhkan keahlian khusus - Memiliki kapasitas penyimpanan sangat

	<i>chemical conditioning</i>	sedikit dibandingkan dengan <i>gravity thickener</i> - Membutuhkan polimer <i>conditioning</i> untuk menangkap padatan yang lebih tinggi atau meningkatkan loading
<i>Gravity Belt Thickening</i>	- Penggunaan lahan cenderung lebih sedikit	- Memerlukan biaya yang besar - Konsumsi energi yang tinggi - Memerlukan operator yang memiliki keahlian khusus - Perawatan yang sulit - Memerlukan <i>polymer conditioning</i>

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

2.1.4.2 Conditioning

Conditioning merupakan metode yang digunakan dalam proses pengolahan lumpur untuk membantu mengurangi kandungan air yang ada pada lumpur sehingga dapat memudahkan pada proses pengolahan selanjutnya. Proses ini dilakukan sebelum proses *dewatering* yang dilakukan secara mekanis. *Conditioning* dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti *freezing* dan *thawing*, serta dengan penambahan bahan kimia. Bahan kimia yang umumnya dapat digunakan dalam proses ini adalah kapur, FeCl_3 , alum, dan bahan polimer (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996).

2.1.4.3 Dewatering

Dewatering merupakan proses menghilangkan kadar air pada lumpur sehingga lumpur dapat dipindahkan ke tempat pembuangan akhir. Pengeringan lumpur tersebut berfungsi untuk mempermudah pemanfaatan lumpur seperti untuk *landfill*, pergurukan, dan *composting*. Pemilihan proses *dewatering* ditentukan berdasarkan tipe lumpur, karakteristik, dan luas lahan yang tersedia.

a. *Mechanical Dewatering*

Konsentrasi padatan lumpur yang dihasilkan dalam proses *mechanical dewatering* berbeda-beda tergantung pada karakteristik lumpur yang diolah serta jenis pengolahan yang digunakan. Berikut merupakan hasil persentase padatan *cake* lumpur dari berbagai jenis lumpur serta tipe unit *mechanical dewatering* yang digunakan dalam pengolahan dapat dilihat pada **Tabel 2.3** sebagai berikut:

Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik *Cake* Lumpur Metode *Mechanical Dewatering*

Tipe lumpur	<i>Specific Gravity</i> Padatan (Ss)	Konsentrasi padatan pada <i>cake</i> (%)		
		<i>Vacuum Filtration</i>	<i>Centrifuge</i>	<i>Pressure Filtration</i>
<i>Lime sludge</i> (Mg rendah)	1,19	56,1	60,6	69,5
<i>Iron sludge</i>	1,16	50,1	55,6	64,6
<i>Ferric Hydroxide</i>	1,07	22,7	28,2	36,2
<i>Lime sludge</i> (Mg tinggi)	1,05	21	24,8	34,6
Aluminium Hidroksida	1,03	17,2	19	23,2

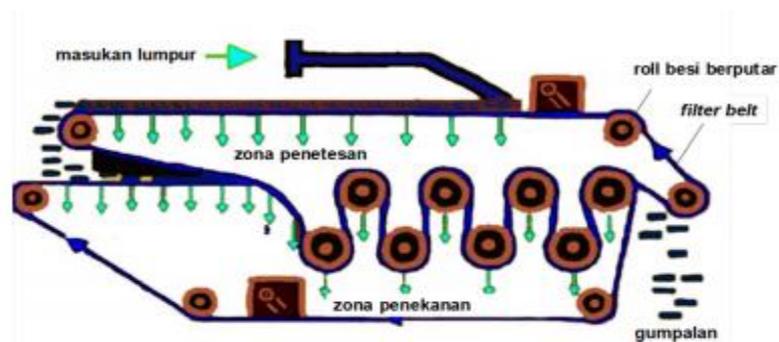
Sumber: Novak, 1989

2.1.4.4 *Belt Filter Press*

Belt filter press mempunyai prinsip kerja dengan melewati lumpur di antara dua poros sabuk yang digulung dan dipasang dengan diameter poros yang berbeda. *Belt filter press* terdiri dari empat zona bagian, yaitu zona *polymer conditioning*, zona drainase dengan gravitasi, zona tekanan rendah, dan zona tekanan tinggi (Aldeeb, 1999). Faktor yang sangat penting menjadi pertimbangan dalam mempengaruhi kinerja dari *belt filter press* adalah karakteristik dan jenis dari suatu residu yang akan diolah. Faktor lain yang mempengaruhi kinerja *belt filter presses* antara lain adalah *sludge conditioning*,

belt pressure, kecepatan, tegangan, tipe dan perforasi dari sabuk (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996).

Metode *Belt filter press* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode lainnya antara lain kebutuhan energi yang rendah, biaya operasi murah, dan relatif rendah, peralatan mekanis yang tidak kompleks, mudah dalam pemeliharaan serta menggunakan mesin bertekanan tinggi sehingga dapat menghasilkan *cake* yang sangat kering. Adapun kelemahan dari metode ini antara lain berpotensi menimbulkan bau yang kuat, membutuhkan alat pemotong (*sludge grinder*) di *fixed stream* serta sangat sensitif terhadap karakteristik lumpur yang masuk (Smaradhana, 2016). Bentuk dari *belt filter press* dapat dilihat pada **Gambar 2.7** sebagai berikut.



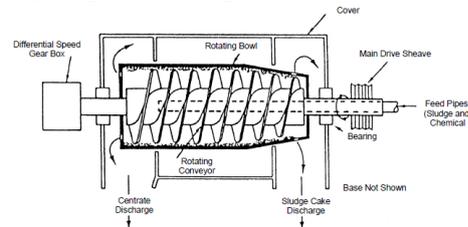
Gambar 2.7 Belt Filter Press

Sumber: PERMEN PUPR No. 04/PRT/M/2017

- *Centrifugal*

Centrifugal merupakan metode yang digunakan dalam proses *dewatering*, dengan memanfaatkan tenaga yang dihasilkan dari rotasi putaran yaitu dengan membuat putaran rotasi yang cepat pada silindernya sehingga dari proses tersebut dapat memisahkan padatan dari air. Sentrifugal memiliki dua tipe yang umum digunakan yaitu *basket bowl* dan *solid bowl centrifugal*. Metode *centrifuge (decanter)* mempunyai kelebihan antara lain yaitu memiliki estetika yang baik, tidak menimbulkan bau, mudah dinyalakan dan dimatikan, dapat menghasilkan *sludge cake* yang relatif kering serta rasio antara modal dan kapasitas yang rendah, rasio kapasitas pengolahan terhadap lahan tinggi, tidak memerlukan banyak operator, dan tidak memerlukan tenaga ahli dalam mengoperasikan sistem yang digunakan (Smaradahana, 2016).

Kelemahan metode sentrifugal ini antara lain diperlukannya tenaga listrik dan biaya perawatan yang besar, selain itu kinerja metode ini sangat sensitif dan bergantung pada komposisi dan *chemical conditioning* yang ada pada lumpur, sehingga tidak bisa menggunakan prinsip kerja yang sembarangan. Bentuk dari *centrifugal dewatering* dapat dilihat pada **Gambar 2.8** sebagai berikut.

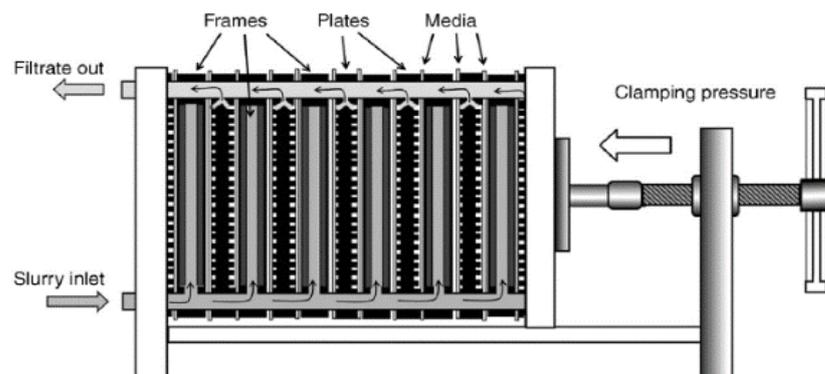


Gambar 2.8 *Centrifugal Dewatering*

Sumber : AWWA/ASCE, 1996

- *Pressure Filter*

Metode *pressure filter* merupakan metode atau cara yang paling mudah dibandingkan dengan teknik *dewatering* lainnya, karena lumpur akan diletakkan diantara dua pelat sejajar dan ditekan dengan sistem sekrup maupun dengan pompa hidrolik. Serangkaian bingkai berlubang dan media penyaring dipasang pada kedua sisi pelat, saat pelat ditekan dengan pompa hidrolik maka air akan keluar melalui bingkai sehingga yang tersisa hanya berupa *dry cake*. Teknik ini memerlukan biaya operasi dan perawatan yang tinggi bila dibandingkan dengan sistem mekanikal *dewatering* lainnya (Ashok, 2016). Bentuk dari *pressure filter* dapat dilihat pada **Gambar 2.9** sebagai berikut.

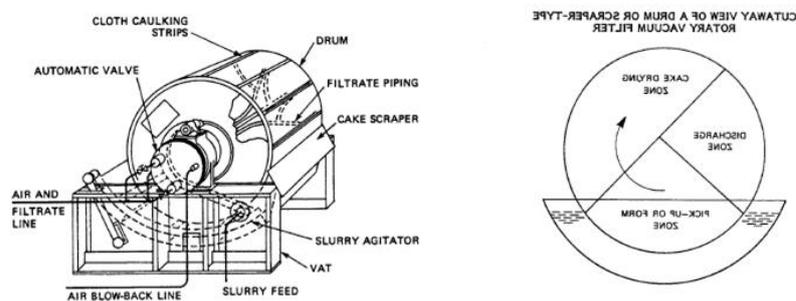


Gambar 2.9 *Pressure Dewatering*

Sumber: Ashok, 2016

- *Vacuum Filter*

Vacuum Filter merupakan metode yang umum digunakan pada residu yang dihasilkan dari *water treatment plant* (WTP) dan baik untuk *dewatering* residu dari kapur pada proses pelunakan, namun tidak pada residu yang memiliki kandungan alum didalamnya. Performa *vacuum filter* sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu media filter, level *vacuum*, siklus waktu, dan *sludge conditioning* (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Bentuk dari *vacuum filter* dapat dilihat pada **Gambar 2.10** sebagai berikut.



Gambar 2.10 *Vacuum Filter*

Sumber: AWWA/ASCE, 1996

b. *Non-Mechanical Dewatering*

Metode ini menggunakan prinsip evaporasi secara alami serta perkolasi. Keunggulan dari metode ini adalah kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan, serta biaya operasional energi yang murah bila dibandingkan dengan sistem mekanik. Namun kelemahan dari sistem ini adalah diperlukannya area yang luas dibandingkan dengan sistem mekanik serta sangat bergantung pada kondisi cuaca dan iklim (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Metode yang termasuk ke dalam *non-mechanical dewatering* antara lain *sand drying beds*, *freeze assisted sand beds*, dan *lagoons*. Adapun perbandingan karakteristik hasil lumpur yang berasal dari proses dengan unit *non mechanical dewatering* dapat dilihat pada **Tabel 2.4** sebagai berikut.

Tabel 2.4 Perbandingan Karakteristik Hasil Lumpur Unit *Non Mechanical Dewatering*

Keterangan	Drying Bed			Lagoon	
	Sand	Solar	Freeze-thaw	Clarification	Dewatering
Durasi (bulan)	6-12	2-5	30	3-36	4-180
Solid cake (%)	60	40	-	7,2-12,2	16

Sumber : McCormick et al, 2009

2.1.5 Pemilihan Perencanaan Pengolahan Lumpur

Perencanaan pengolahan yang dipilih dalam mengolah lumpur yang berasal dari sisa hasil proses pengolahan air minum di IPA Imam Bonjol PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa yaitu dengan menggunakan bak pengumpul, *gravity thickening*, *belt filter press*, tangki supernatan dan bak penampung *dry cake* Lumpur yang berasal dari bak sedimentasi dan bak filter selanjutnya dialirkan menuju ke bak pengumpul sebagai tempat untuk menampung lumpur sementara, kemudian lumpur dipompa menuju unit *gravity thickening*. Unit *thickening* dipilih dari jenis *gravity thickening*, hal ini dikarenakan pengoperasiannya yang mudah dibandingkan unit lainnya, biaya operasional yang dibutuhkan lebih murah, dan minimnya energi yang dibutuhkan. Unit selanjutnya yaitu *belt filter press*, unit ini dipilih sebagai unit *dewatering* dikarenakan memiliki tingkat efisiensi yang sangat baik dibandingkan alternatif pengolahan lain jika diterapkan dan digunakan dalam menangani proses pengolahan lumpur, sehingga pengolahan lumpur yang direncanakan dapat berproses dengan baik dalam mengolah lumpur dan hasil buangan yang masih tersisa dari pengolahan lumpur tidak mencemarkan lingkungan ketika dibuang langsung ke badan air (Septiya, 2020).

2.2. Dasar Perencanaan

2.2.1 Perhitungan Jumlah Lumpur

Proses pengolahan air minum oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)

di Indonesia umumnya menggunakan sistem konvensional yang memiliki sumber air baku berasal dari air permukaan seperti halnya PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa yang mengolah air Sungai Kapuas dan Landak menjadi air minum, namun dalam melakukan pengolahan air tersebut pasti akan menghasilkan limbah berupa lumpur. Lumpur tersebut berasal dari proses koagulasi dan flokulasi yang menggunakan tambahan bahan kimia berupa Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) atau tawas sebagai bahan koagulan. Prinsip dari limbah lumpur yang berasal dari pengolahan air minum PDAM adalah berwarna cokelat pekat dan adanya kandungan logam aluminium (dari pemakaian senyawa aluminium sulfat pada penambahan koagulan) di dalam lumpur.

Besarnya produksi lumpur yang dihasilkan dari suatu IPA dapat dihitung menggunakan perhitungan yang dipengaruhi oleh dosis koagulan alum yang digunakan, kualitas air baku, serta debit air baku yang diproduksi di setiap instalasi. Perhitungan persamaan produksi lumpur ini dapat digunakan untuk mengetahui berat lumpur yang dihasilkan dalam suatu pengolahan air. Adapun rumus persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Cornwell & Westeroff, 1981):

$$W = 8,34 \times Q \times ((0,8 \times \text{Dosis Alum}) + \text{SS}) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{SS} = b \times \text{TU} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

W = Produksi lumpur (lb/day)

Al = Dosis Alum (mg/L)

Q = Debit Air Baku (Million gallon perday/Mgd)

TU = Kekeruhan Air Baku (Nephelometric Turbidity Unit/ NTU)

SS = *Suspended Solid* Air baku

b = rasio *suspended solid* terhadap kekeruhan, dengan range 0,7 – 2,2 (Cornwell et al., 1987). Range 1,3 digunakan dalam (Kawamura, 2000)

Persamaan di atas digunakan untuk pengolahan air yang menggunakan bahan koagulan yang berasal dari Aluminium atau tawas, dimana konstanta yang digunakan adalah 0,44 untuk Al_2O_3 . Nilai berat produksi lumpur koagulan alum didapat kemudian menghitung volume lumpur. Volume lumpur tergantung pada

kandungan air serta karakteristik padatan yang ada didalamnya. Hubungan volume serta berat lumpur ini dapat dihitung dalam persamaan sebagai berikut (Tchobanoglous, 2004):

$$V = \frac{W}{\rho_w \times S_{sl} \times P_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

W = Berat produksi lumpur (lb/day)

ρ_w = Berat jenis air (Kg/m³)

S_{sl} = *Specific gravity* lumpur (gr/cm³)

P_s = persen padatan kering (decimal)

2.2.2 Kriteria Desain Instalasi Pengolahan Lumpur

Perencanaan yang akan direncanakan untuk mengolah lumpur yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air bersih di PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa Imam Bonjol yaitu sistem mekanis yang terdiri dari bak pengumpul, *gravity thickening*, *belt filter press*, tangki supernatan dan bak penampung *dry cake*. Perencanaan lumpur dengan sistem mekanis ini ditujukan untuk mengolah lumpur yang berasal dari IPA Imam Bonjol dengan kapasitas produksi yang cukup besar. Pemilihan ini dipilih berdasarkan perbandingan dari beberapa pengolahan lumpur lainnya dengan mempertimbangkan beberapa aspek antara lain luas lahan yang tersedia, jenis dan karakteristik lumpur yang dihasilkan, kemudahan dalam pengoperasian, biaya operasional dan pemeliharaan yang murah serta efisiensi kinerja dalam pengolahan lumpur. Lumpur yang dihasilkan dari seluruh unit IPA Imam Bonjol akan dialirkan menuju bak pengumpul sebagai tempat ekualisasi sebelum akhirnya dipompa dan dialirkan menuju *gravity thickening*.

a. *Gravity Thickening*

Gravity thickening merupakan unit pemekatan berupa tangki berbentuk lingkaran dengan dasar tangki berbentuk kerucut yang dilengkapi bak pengumpul lumpur atau *scraper*. Proses pemekatan pada unit ini terjadi melalui tiga proses, yang terdiri dari proses pertama yaitu proses pengendapan secara gravitasi, kedua proses pengendapan perlahan (*hindered settling*) dan yang ketiga proses

pemadatan hasil dari endapan. Proses pengendapan secara gravitasi dimulai ketika partikel padatan yang memiliki densitas yang lebih besar dari cairan mengendap. Proses selanjutnya yaitu proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan densitas atau ukuran sedang terjadi akibat pembentukan flok-flok partikel, peningkatan konsentrasi padatan dalam proses pembentukan flok-flok partikel akan membantu terjadinya pengendapan, proses tersebut yang disebut sebagai pengendapan perlahan (*hindered settling*). Proses selanjutnya yang terjadi pada *gravity thickening* merupakan proses pemadatan endapan, di mana padatan yang telah mengendap pada dasar tangki akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari padatan di atasnya. *Scraper* secara perlahan mendorong hasil endapan menuju pipa pembuangan yang ada di dasar tangki. Waktu retensi padatan, perlu memperhatikan potensi pembentukan gas metan yang terjadi di dasar tangki. Supernatan yang dihasilkan selanjutnya akan mengalir keluar melalui *v-notch weir* yang terletak pada sisi atas tangki menuju *clarifier*. Unit *thickening* umumnya dilengkapi dengan *skimmer* yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menyisahkan *scum* yang terakumulasi pada permukaan tangki (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria desain untuk *gravity thickening* meliputi luas permukaan minimum berdasarkan beban hidraulik dan solid, kedalaman *thickening*, dan kemiringan dasar tangki. *Sludge thickening* pada umumnya didesain dengan memiliki kedalaman 3-4 m dengan waktu detensi selama 24 jam. Laju beban hidraulik yang dapat diterima oleh *thickening* untuk memekatkan lumpur yang belum diolah (*primary sludge*) sebesar 16-32 m³/m².hari. *Gravity thickening* dapat dilengkapi dengan penutup dan alat pengukur bau karena unit ini berpotensi menimbulkan bau. Adapun kriteria desain dari *gravity thickening* dapat dilihat pada **Tabel 2.5** sebagai berikut.

Tabel 2.5 Kriteria Desain Unit *Gravity Thickening*

Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman	M	4,5 – 6,5
Waktu Detensi Maksimum	Jam	24
Konsentrasi Padatan Influen	%	0,5-7

Konsentrasi Padatan Efluen	%	2,0-10
<i>Hydraulic Loading</i>	m ³ /m ² .hari	1-33
<i>Solid Loading</i>	Kg/ m ² .hari	10-144
<i>Solid Capture</i>	%	60-98
TSS Supernatan	Mg/l	200-1000
SVR	-	0,5-2,0

Sumber : Qasim, 1999

b. *Belt Filter Press*

Belt Filter Press berfungsi menyisahkan air dari lumpur dengan menekan lumpur tersebut pada sepasang lembaran plastik elastis berpori (*filter belt*) sehingga lumpur memadat dan membentuk padatan “*cake*”. Kriteria desain untuk *belt filter press* tersedia dalam berbagai ukuran lebar *belt* dengan rentang ukuran *belt* dari 0,5 m sampai 3,5 m. Pengolahan air limbah domestik pada umumnya menggunakan *belt* berukuran lebar 2,0 m. Laju beban lumpur yang diterima berkisar antara 900 sampai 1.800 Lbs/m. jam. Nilai tersebut bergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi feed yang digunakan. Desain *belt filter press*, perlu memperhatikan ventilasi yang cukup untuk mengeluarkan gas H₂S dan gas-gas lainnya. Pengoperasian *Belt Filter Press* (BFP) dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Tahap penirisan (*draining*), dengan mengalirkan dan menyebarkan lumpur secara merata di atas lembar elastis berpori halus. Pemisahan air dan lumpur dilakukan tanpa tekanan, hanya mengandalkan penirisan secara gravitasi.
2. Tahap penekanan (*pressing*), dengan menekan lumpur di antara dua *belt* bertekanan secara bertingkat yang diberikan oleh beberapa besi penggulung (*roll*). Pada saat ditekan, air akan dipisahkan dari lumpur semaksimal mungkin.

Tabel 2.6 Kriteria Desain Unit *Belt Filter Press*

Parameter	Satuan	Nilai
Lebar Sabuk	Meter (m)	0,5-3,5
Beban Padatan Lumpur	Kg/jam/m	90-680
Beban Hidraulik	L/m.detik	1,6-6,3
<i>Cake Dryness</i>	%	20

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Tabel 2. 7 Spesifikasi Unit *Belt Filter Press*

No	Ukuran	Dimensi (mm)			Lebar Sabuk
		Panjang	Lebar	Tinggi	
1.	2	6.807	3.454	2.972	2,2
2.	2,5	6.807	3.962	2.972	2,7
3.	4	6.807	4.470	2.972	3,2

Sumber: BDP industries, Model 2VP Belt Filter Press Catalog; hal: 7