

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tangki Klarifier

2.1.1 Pengertian Tangki Klarifier

Menurut Sumada (2012) *clarifier tank* merupakan tangki yang berfungsi untuk memisahkan flok yang terbentuk pada proses koagulasi dan flokulasi. Tangki klarifier ini dapat dirancang berbentuk segi empat, persegi panjang maupun silinder, sedangkan menurut Puspita (2014) *clarifier tank* adalah alat untuk menjernihkan air baku yang keruh dengan cara melakukan pengendapan, untuk mempercepat pengendapan lazimnya ditambahkan koagulan dan flokulan agar terjadi proses koagulasi dan flokulasi pada air.

2.1.2 Alat-Alat Penunjang Tangki Klarifier

Dibutuhkan alat-alat penunjang *clarifier* agar proses pengendapan mendapatkan hasil seperti yang diharapkan, alat-alat penunjang yang lazim digunakan adalah:

- a. *Dosing pump* yang berfungsi untuk *inject chemical*, untuk besaran *flow rate dosing pump* seyogyanya dihitung berdasarkan kapasitas pompa yang dibutuhkan dengan batas minimal 0,1-1%.
- b. *Mixing Tank* yang berfungsi sebagai tangki *buffer* untuk memastikan koagulan teraduk sempurna dan homogen dengan air, sehingga proses kimiawi yang dihasilkan bisa optimal.
- c. *Sediment Pond* yang berfungsi kolam untuk mengendapkan lumpur atau padatan yang telah terbentuk di *clarifier tank* tetapi belum sempat mengendap dengan sempurna, *sediment pond* juga bisa meringankan kerja filter sehingga tidak sering mampat.



Gambar 2.1 *Dosing Pump*
(Sumber : Puspita, 2014)



Gambar 2.2 *Mixing Tank*
(Sumber : PLTG Borang, 2021)

2.1.3 Prinsip Kerja *Clarifier Tank*

Pada unit *Clarifier* terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada *Clarifier* adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan piringan berlubang. *Plate* berlubang berfungsi memecah aliran untuk menciptakan efek pengadukan. Pada pengadukan lambat, energi hidrolis yang diharapkan cukup kecil dengan tujuan menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan pecahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradien kecepatan (Anjar, 2015).

Pengadukan yang terjadi termasuk jenis pengadukan hidrolis yaitu pengadukan yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan. Pada dinding pemisah dipasang pipa diffuser yang berfungsi memecah aliran untuk menciptakan efek pengadukan dengan guncangan. Gradien kecepatan diturunkan secara perlahan-lahan agar gumpalan yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar.

Pergerakan air baku dari aerator masuk ke unit *Clarifier* melalui pipa kemudian jatuh melimpah melewati plat yang dilengkapi dengan pipa diffuser pada ruang flokulasi. Air masuk ke ruang lumpur yang terletak pada bagian dasar *Clarifier* dilengkapi pipa pembuangan lumpur, keluar melewati saluran kemudian air bergerak ke atas menuju tube settler. Tube settler berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pengendapan dari bangunan *Clarifier*. Kemiringan tube settler 60° terhadap horizontal yang mengakibatkan lumpur tidak menumpuk pada flat, akan tetapi jatuh meluncur ke bawah, sehingga flok-flok akan lebih mudah dipisahkan. Selanjutnya air akan melimpah keluar melalui saluran outlet.

Pada modern klarifier tiga tahap penjernihan yaitu koagulasi, flokulasi dan sedimentasi terintegrasi dalam satu alat dengan penambahan bahan kimia atau koagulan untuk mengendapkan kotoran menjadi flok. Flok-flok harus diendapkan sebelum ke dasar *clarifier* yang berlangsung pada zona yang sangat tenang. Maka prinsip kerja dari klarifier yaitu perputaran dengan kecepatan rendah agar padatan-padatan terdispersi bergabung membentuk flok yang lebih besar.

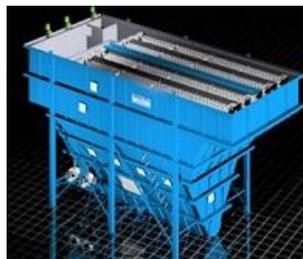
2.1.4 Macam-Macam *Clarifier Tank*

Ada beberapa macam tangki klarifier yang sering digunakan. Klarifier tersebut diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan sistem kerjanya. Macam-macam *clarifier tank* yaitu sebagai berikut (Feriyanto, 2017):

a. *Inclined plate (lamella)*

Sebagai salah satu sistem pengolahan air yang digunakan oleh industri, *lamella* adalah teknik yang sangat efektif untuk mengolah air. Pengolahan air dengan sistem *lamella* ini menggunakan beberapa pelat yang dikenal dengan sebutan '*Lamella Plate*' yang terbuat dari bahan logam atau PVC yang disusun sebagai *clarifier* atau penjernih. Maka dari itu, sistem ini dikenal pula dengan sebutan '*Lamella Clarifier*'.

Fungsi utama dari *lamella clarifier* dalam pengolahan air adalah sebagai alat untuk memisahkan partikel yang tercampur di dalam air. Selain itu, sistem ini juga digunakan untuk menjernihkan air baku dengan kualitas yang kurang baik, contohnya seperti *low water* dan *raw water*. Biasanya, sistem ini digunakan dalam pengolahan primer untuk menggantikan tangki pengendapan atau sedimentasi konvensional. *Clarifier* tipe *Lamella* dapat dilihat pada gambar berikut.



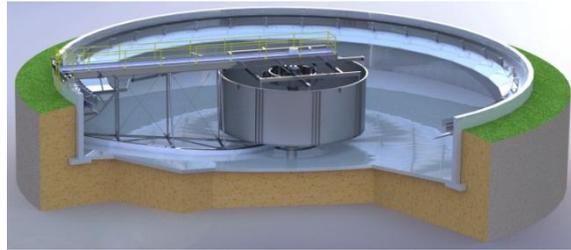
Gambar 2.3 *Clarifer* tipe *Inclined plate (lamella)*
(Sumber : Feriyanto, 2017)

Clarifier tipe *Lamella* memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai berikut :

- 1) Mudah dipasang, karena sistem *Lamella Plate* dapat dibongkar-pasang, bahkan saat beroperasi.
- 2) Tidak memerlukan energi, karena tidak ada bagian *Lamella Plate* yang bergerak secara mekanis, sehingga dapat menghemat pengeluaran energi pada proses pengolahan air.
- 3) Area pengendapan yang besar dan efisien, karena memanfaatkan kemiringan dari beberapa pelat yang dipasang pada instalasi pengolahan air limbah.
- 4) Mengurangi pertumbuhan lumut, walau memang sistem *Lamella* tetap butuh dibersihkan secara rutin, tetapi secara umum penggunaannya sistem ini dalam pengolahan air dapat mengurangi adanya lumut atau ganggang, karena semua proses dilakukan di dalam.
- 5) Kinerja dapat ditingkatkan dengan penambahan zat kimia, dengan cara menambahkan koagulan dan flokulan untuk mengoptimalkan proses pengendapan.

b. *Circular clarifier*

Dalam edaran klarifikasi, mekanisme penggerak memberi daya pada mekanisme penggaruk yang berputar. Umpan masuk melalui sumur umpan yang dirancang untuk menghilangkan kecepatan dan menstabilkan arus kepadatan aliran yang masuk. Pemisahan terjadi ketika partikel-partikel berat mengendap di bagian bawah tangki. Beberapa proses menambahkan koagulan dan atau flokulan ke aliran umpan untuk meningkatkan aglomerasi partikel untuk mendorong pengendapan yang lebih cepat atau lebih efektif. Cairan yang diklarifikasi meluap tangki dan dikirim ke tahap proses selanjutnya. Padatan underflow ditarik dari kerucut underflow oleh pelepasan gravitasi atau pemompaan. Gambar berikut menunjukkan *clarifier* tipe *circular*.



Gambar 2.4 *Clarifier* tipe *Circular*
(Sumber : Feriyanto, 2017)

Tangki klarifer tipe *circular* memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai berikut :

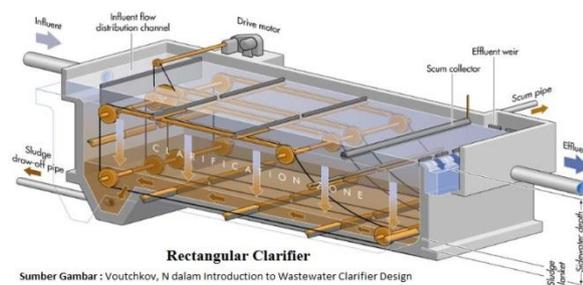
- 1) Waktu detensi yang singkat dalam pengolahan akan lebih dianjurkan untuk menggunakan 2 tangki.
- 2) Sistem pengumpulan *sludge* sederhana.
- 3) Lebih mudah untuk mengakomodasi ruang flokulasi dalam tangki yang bermanfaat untuk pengendapan lumpur aktif.
- 4) Secara keseluruhan, perawatan yang dibutuhkan sedikit.
- 5) Mudah untuk memisahkan *sludge* yang besar

Tangki klarifer tipe *circular* memiliki kelemahan yaitu sebagai berikut :

- 1) Berpotensi menimbulkan hubungan arus pendek yang tinggi.
- 2) *Headloss* distribusi aliran tinggi.
- 3) Lebih banyak membutuhkan perpipaan.

c. *Rectangular clarifier*

Tangki klarifier ini merupakan tipe berbentuk persegi panjang atau berupa bak klarifikasi. Pada klarifier ini zona-zona pengolahan dibuat terpisah yaitu zona koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Berikut adalah gambar *rectangular clarifier*.



Sumber Gambar : Voutchkov, N dalam Introduction to Wastewater Clarifier Design

Gambar 2.5 *Clarifier* tipe *Rectangular*
(Sumber : Feriyanto, 2017)

Clarifier tipe *rectangular* memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai berikut :

- 1) Untuk membuat konstruksi *clarifier* hanya membutuhkan lahan yang sedikit.
- 2) Potensi biaya konstruksi akan hemat karena penggunaan dinding yang umum setiap tangki.
- 3) Jalur aliran yang lebih panjang meminimalkan hubungan arus pendek
- 4) Dapat menerima *effluent* yang tinggi.
- 5) Penebalan lumpur yang lebih baik.

Tangki klarifer tipe *rectangular* memiliki beberapa kelemahan yaitu sebagai berikut :

- 1) Waktu detensi yang lama dalam pengolahan air
- 2) Kurang efektif untuk pemuatan *sludge* yang tinggi

2.1.5 Proses Pengolahan Air pada *Clarifier Tank*

a. Koagulasi

Proses koagulasi merupakan suatu proses penambahan senyawa kimia (koagulan) untuk mendestabilisasikan koloid dan partikel-partikel yang tersuspensi di dalam air baku melalui pengadukan cepat agar terbentuk gumpalan yang lebih besar. Bentuk alat pengaduk cepat dapat bervariasi seperti *rapid mixer*, hidrolis (*hydraulic jump*) dan mekanis (menggunakan batang pengaduk). Jenis dan dosis pembubuhan koagulan yang digunakan dalam proses pengadukan dari bahan koagulan merupakan faktor penentu berhasil atau tidaknya suatu proses koagulasi (Kembara, 2018).

Pengadukan yang memanfaatkan gaya hidrolis air pada IPA, yaitu dengan memanfaatkan turbulensi dalam pipa dan terjunan air itu sendiri. Pembubuhan koagulan dilakukan sebelum air diterjunkan, karena diharapkan air yang akan terjun tersebut sudah terkandung koagulan yang siap teraduk. Secara umum proses koagulasi dilakukan dengan tujuan untuk:

- 1) Mengurangi kekeruhan yang disebabkan oleh partikel koloid anorganik maupun organik di dalam air.
- 2) Mengurangi warna (menjadi lebih jernih) yang disebabkan oleh partikel koloid dalam air.

3) Mengurangi bakteri-bakteri patogen algae, dan organisme plankton lainnya dalam air.

4) Mengurangi bau dan rasa yang diakibatkan oleh partikel koloid dalam air.

Pada koagulasi akan terjadi (Anjar, 2015):

1) Penurunan tegangan permukaan melalui proses netralisasi muatan dan adsorpsi

2) Presipitasi muatan dan adsorpsi.

3) Presipitasi dari koagulan akan menyapu koloid.

4) Adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel

Mekanisme proses destabilisasi ini terdiri dari beberapa langkah antara lain (Anjar, 2015) :

1) Pengurangan muatan permukaan partikel dengan menekan lapisan muatan ganda (*double-charge layer*).

Penambahan ion ke dalam air akan meningkatkan kekuatan ionik dan menurunkan gaya tolak. Dengan penambahan garam ke dalam air, muatan koloidal tidak dikurangi secara signifikan, tetapi hanya memperkecil jarak muatan dari permukaan partikel, sehingga lapisan ganda dapat berkurang.

2) Netralisasi muatan dengan adsorpsi ion yang berlawanan muatan

Proses ini dilakukan dengan penambahan bahan kimia untuk proses destabilisasi. Penambahan ion yang muatannya berlawanan dengan ion koloid dapat menyebabkan netralisasi lapisan tunggal dari koloid. Netralisasi muatan terjadi saat koagulan ditambahkan secara berlebihan.

3) Penggabungan antar partikel dengan polimer

Polimer-polimer yang mengandung situs aktif sepanjang rantainya dapat menyebabkan adsorpsi koloid. Koloid akan terikat pada beberapa situs sepanjang rantai polimer.

4) Penjebakan oleh flok

Saat sejumlah koagulan ditambahkan ke dalam air, maka akan membentuk flok yang akan mengendap. Karena flok besar dan tiga dimensi, maka koloid akan terjebak di dalam flok, dan akhirnya ikut mengendap. Untuk suspensi encer laju koagulasi rendah karena konsentrasi koloid yang rendah sehingga kontak antar partikel tidak

memadai, Bila digunakan dosis koagulan yang terlalu besar akan mengakibatkan restabilisasi koloid. Untuk mengatasi hal ini, agar konsentrasi koloid berada pada titik dimana flok-flok dapat terbentuk dengan baik, maka dilakukan proses *recycle* sejumlah *settled sludge* sebelum atau sesudah *rapid mixing* dilakukan.

b. Flokulasi

Proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik jika pembubuhan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan. Flokulasi merupakan proses penggabungan antar partikel sehingga menjadi partikel-partikel yang lebih besar (flok) sehingga lebih mudah mengendap secara gravitasi. Bahan koagulan yang dipakai, pH dan lamanya pengadukan merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses berlangsungnya flokulasi (Kembara, 2018).

Pada flokulasi kontak antar partikel melalui dua mekanisme yaitu (Anjar, 2015):

- 1) *Thermal motion* yang dikenal dengan *bronian motion* atau difusi disebut sebagai flokulasi perikinetik. Laju perubahan konsentrasi pada perikinetik tidak bergantung ukuran/diameter partikel akan tetapi bergantung pada konsentrasi partikel.
- 2) Gerakan cairan oleh aktivitas pengadukan atau flokulasi ortokinetik. Laju perubahan konsentrasi pada ortokinetik bergantung diameter partikel.

c. Sedimentasi

Proses sedimentasi merupakan proses setelah proses koagulasi-flokulasi yang berfungsi untuk memisahkan *solid* dan *liquid* dari suspensi untuk menghasilkan air yang lebih jernih melalui pengendapan secara gravitasi. Sedimentasi berfungsi sebagai peringan beban kerja unit filter dan memperpanjang lamanya kerja filter.

2.1.6 Bahan Kimia Koagulan

Koagulan berfungsi sebagai penggumpal partikel padat tersuspensi, zat warna, koloid untuk membentuk gumpalan yang lebih besar atau disebut dengan flok, sehingga flok-flok tersebut dapat dengan mudah terendapkan. Pemilihan zat koagulan harus mempertimbangkan jumlah dan kualitas air, turbiditas air baku dan lain-lain. Koagulan yang sering digunakan dalam

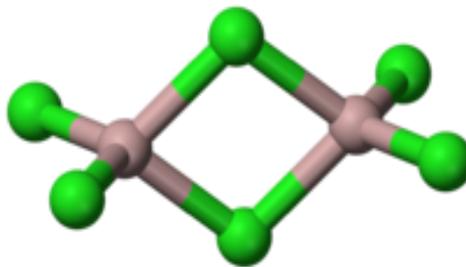
proses pengolahan air minum antara lain aluminium sulfat (alum), poli aluminium chloride (PAC) (Kembara, 2018).

a. Aluminium Sulfat (Alum), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Alum merupakan bahan koagulan yang banyak dipakai untuk pengolahan air karena harganya murah, flok yang dihasilkan stabil serta cara pengerjaannya mudah. Alum yang bercampur dengan air mempunyai muatan positif. Sedangkan partikel koloid dalam air biasanya bermuatan negatif, maka dari itu kedua muatan akan terjadi gaya tarik menarik sehingga terbentuk gumpalan partikel yang makin lama makin besar dan berat sehingga mengalami pengendapan.

b. Poli Aluminium Klorida (PAC)

Rumus umumnya yaitu $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m)}$. PAC merupakan koagulan yang sangat baik, biasanya membentuk cair. Daya koagulasinya lebih besar dari pada alum dan dapat menghasilkan flok yang stabil walaupun pada suhu yang rendah. Dibandingkan dengan alum PAC lebih cepat membentuk flok dan flok yang dihasilkan mempunyai kecepatan pengendapan yang lebih besar yaitu 3 - 4,5 cm/menit, serta cocok untuk turbiditas yang tinggi.



Gambar 2.6 Rumus Struktur Poli Aluminium Klorida
(Sumber : Kembara, 2018)



Gambar 2.7 Serbuk Poli Aluminium Klorida
(Sumber : Kembara, 2018)

Sifat fisik dari PAC adalah sebagai berikut:

- 1) Titik beku = -18°C
- 2) Boiling point = 178°C
- 3) Spesific gravitasi = 1,19 (20°C)

Beberapa keunggulan Poli Aluminium Klorida adalah sebagai berikut (Kembara, 2018) :

- 1) Sangat baik untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, memadatkan dan menghentikan penguraian flok, serta membutuhkan kebasaaan rendah untuk hidrolisis.
- 2) Mampu bekerja pada tingkat pH yang lebih luas sehingga tidak memerlukan pengoreksian terhadap pH. Rentang pH untuk Poli Aluminium Klorida adalah 6-9.
- 3) Kandungan belerang yang cukup akan dapat mengoksidasi senyawa karboksilat rantai siklik membentuk alifatik dan gugus rantai karbon yang lebih pendek sehingga mudah membentuk flok.
- 4) Kadar klorida yang optimal dalam fase cair bermuatan negatif akan cepat bereaksi dan merusak ikatan zat organik terutama ikatan karbon-nitrogen yang umumnya dalam struktur ekuatik membentuk suatu makromolekul (gugusan protein, amina, amida, penyusun minyak atau lipida).
- 5) Tidak menjadi keruh bila pemakaiannya berlebihan.
- 6) Tidak perlu bahan pembantu karena mengandung polimer khusus dengan struktur polielektrolit.
- 7) Kandungan basa yang cukup akan menambah gugus hidroksil dalam air sehingga penurunan pH tidak terlalu ekstrim dan hemat dalam penggunaan bahan.

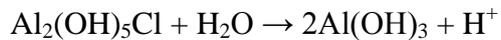
Sementara itu, jika dibandingkan dengan aluminium sulfat, PAC memiliki beberapa keunggulan yaitu :

- 1) Lebih Aman

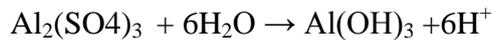
Pemakaian Poly Aluminium Chloride (PAC) untuk proses penjernihan air atau water treatment memiliki dampak korosi yang rendah. Hal ini karena air hasil pengolahan tidak mengalami penurunan pH yang tajam seperti pada

penggunaan koagulan Aluminium Sulfat. Fenomena ini dapat dilihat dari reaksi yang terjadi sebagai berikut:

Poly Aluminium Chloride (PAC)



Aluminium Sulfat



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa pada reaksi hidrolisis, Aluminium Sulfat dalam air melepaskan 6 ion H^+ , sedangkan pada reaksi hidrolisis PAC hanya dilepaskan 1 ion H^+ . Ini menyebabkan pH air yang menggunakan Aluminium Sulfat bersifat lebih asam daripada yang menggunakan koagulan PAC.

Semakin asam sebuah sistem, maka kecenderungan terjadinya korosi lebih besar. Itulah alasan mengapa penggunaan Poly Aluminium Chloride (PAC) lebih aman.

2) Kualitas dan Biaya

Kualitas air olahan PAC penjernih air lebih baik. Selain itu, biaya perawatan pun lebih rendah dibanding menggunakan Aluminium Sulfat atau tawas sebagai penjernih air.

3) Proses Lebih Cepat

Proses koagulasi dengan Poly Aluminium Chloride (PAC) berjalan lebih baik sehingga waktunya lebih singkat untuk bereaksi jika dibandingkan menggunakan tawas atau Aluminium Sulfat.

4) Rentang pH

Poly Aluminium Chloride (PAC) mempunyai rentang pH yang luas (5 – 9), sedang Alumunium Sulfat rentang pH-nya 6-8

5) Konduktivitas Rendah

Kadar Aluminium dan garam yang tersisa di air yang diolah dengan PAC penjernih air lebih rendah (daya konduksi rendah), yang akan menguntungkan pada proses demineralized.

Menurut Kembara (2018), beberapa sifat-sifat PAC sebagai koagulan yang lainnya yaitu:

1) Kekuatan koagulasi-flokulasi

PAC benar-benar mengumpulkan zat-zat tersuspensi dalam koloid dalam air untuk menghasilkan flok yang lebih baik yang kemudian mempercepat pengendapan sehingga mudah dalam penyaringan, jadi pengolahan air dengan koagulan PAC dapat lebih mudah dibandingkan dengan pengolahan yang mempergunakan aluminium sulfat pada umumnya.

2) Kesederhanaan dalam penggunaan

PAC mudah dalam perlakuan, penyimpanan dan pemberian dosis. Tangki pencampuran yang lebih kecil bisa digunakan untuk PAC bila dibandingkan dengan memakai koagulan aluminium sulfat, karena PAC memiliki lebih banyak Al_2O_3 aktif dari pada aluminium sulfat.

3) Tidak membutuhkan zat tambahan lain

Variasi zat kimia, baik organik maupun anorganik pada umumnya digunakan sebagai zat pembantu koagulan, tapi pada umumnya PAC tidak membutuhkan penambahan tersebut. Dalam hal yang khusus seperti penambahan zat kaolin digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan.

4) Efektif pada range pH yang tinggi

PAC bekerja pada range pH yang lebih tinggi dibandingkan aluminium sulfat dan koagulan lain. PAC pada umumnya digunakan pada range pH 6-9, tetapi dalam sebagian kasus dapat juga digunakan pH 5-10.

5) Tidak dipengaruhi temperatur

Koagulan PAC tidak dipengaruhi oleh temperatur air. Tetapi keefektifannya akan semakin tinggi pada daerah yang dingin atau cuaca dingin.

6) Kecepatan pembentukan flok

Pembentukan flok dari PAC lebih cepat dibandingkan aluminium sulfat dan waktu pengadukan yang lebih singkat untuk membentuk flok. Sebagai hasilnya, tangki pembentukan flok yang lebih kecil dapat digunakan atau volume air yang besar dapat diolah dengan PAC. PAC lebih cepat membentuk flok dari pada koagulan lainnya hal ini diakibatkan gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid diperkuat dengan rantai polimer gugus polielektrolit sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat.

2.2 Parameter Kinerja Clarifier Tank

2.2.1 Surface Loading Rate (Beban Permukaan)

Beban permukaan merupakan jumlah lumpur aktif yang dipindahkan per luas permukaan tangki per hari. Beban permukaan dirumuskan sebagai berikut (Anjar, 2015)

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

v = beban permukaan ($m^3/m^2/hr$)

Q = debit tangki (m^3/hr)

A = luas permukaan (m^2)

2.2.2 Waktu Detensi

Waktu detensi adalah waktu yang diperlukan oleh suatu volume air untuk tinggal di dalam kolam pengendapan selama air mengalir dari inlet menuju ke outlet. Dalam perancangan kolam pengendapan yang ideal, lama waktu tinggal nilainya ditetapkan sama dengan lama waktu pengendapan partikel suspensi. Untuk menghitung waktu detensi bisa menggunakan rumus berikut (Anjar, 2015)

$$t_d = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

td = waktu detensi

V = volume

Q = debit tangki (m^3/hr)

2.2.3 Gradien Kecepatan

Pengendapan partikel suspensi berlangsung dengan baik apabila aliran air dalam keadaan tenang (aliran suspensi). Kecepatan aliran harus diatur sedemikian rupa sehingga proses pengendapan dapat berlangsung dengan baik, dan besarnya hendaknya tidak melebihi kecepatan gerusan agar partikel yang telah mengendap tidak tergerus dan melayang lagi serta terbawa keluar dari ruang pengendapan. Rumus-Rumus untuk menghitung gradien kecepatan yaitu sebagai berikut (Anjar, 2015)

$$v_{inlet} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3)$$

$$Hf = \frac{k \times (v_{inlet})^2}{2 \times g} \dots\dots\dots(4)$$

$$G = \frac{\sqrt{g \times hf}}{\sqrt{v_k \times td}} \dots\dots\dots(5)$$

Ketrangan :

G = gradien kecepatan (det⁻¹)

g = percepatan gravitasi (m²/s)

v_{inlet} = laju masuk (m/s)

k = faktor kontraksi

v_k = viskositas kinematik (m²/det)

Hf = faktor flokulasi (m/s)

2.2.4 Bilangan Reynold (N_{Re}) dan Bilangan Froud (N_{Fr})

Bilangan Reynold digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminer dan turbulen. Salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan *dynamic similitude*. *Dynameic similitude* atau kesamaan dinamis adalah fenomena bahwa ketika ada dua bejana yang secara geometris serupa (bentuk yang sama, ukuran yang berbeda) dengan kondisi batas yang sama. Bilangan Froud adalah sebuah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air, dan membandingkan benda-benda dengan ukuran yang berbeda-beda. Bilangan Reynold dan Froud dapat dihitung dengan rumus berikut

$$N_{re} = \frac{v_{inlet} \times L}{v_k} \dots\dots\dots(6)$$

$$N_{Fr} = \frac{v_{inlet}}{0,5 \times g \times L} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

v_{inlet} = laju masuk / *velocity* (m/s)

L = panjang karakteristik (m)

ν_k = viskositas kinematik (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m^2/s)

2.2.5 Standar Parameter Kinerja *Clarifier Tank*

Tabel 2.1 Standar Parameter Kinerja *Clarifier Tank*

No	Pameter Kinerja	Satuan	Nilai Standar
1	Beban permukaan	$m^3/m^2/hr$	60 - 150
2	Waktu detensi	jam	1 - 2 jam
3	Gradien kecepatan	per detik	>750
4	Bilangan Reynold		<500
5	Bilangan Froude		5 - 10 Fr
6	Kedalaman bak	m	2,5 - 3,0
7	Rasio panjang : lebar		3:1 - 5:1
8	Periode pengurasan	jam	12-24 jam

Sumber : Anggraini, 2016

2.3 Standar Operasional dan Spesifikasi Tangki Klarifier di PLTG Borang

2.3.1 Prosedur Pengoperasian Standar Tangki Klarifier di PLTG Borang

a. Tangki dan Pompa untuk Dosis Bahan Kimia

- 1) Dengan data harian, pastikan jam pengadaan air yang diolah ke pabrik.
- 2) Gunakan pengukuran *flowrate* dari air baku, jam pengadaan air yang di-*treatment* dan dosis dari jar test untuk menghitung banyaknya bahan kimia yang dimasukkan ke dalam tangki bahan kimia. Catat banyaknya bahan kimia tersebut di dalam buku water treatment. Pada instalasi yang mempunyai flowmeter harus dicatat volume air yang diolah mulai dari start sampai stop.
- 3) Pastikan tinggi tangki bahan kimia untuk banyaknya air yang ditambahkan untuk melarutkan bahan kimia. Catat tiap volume tiap tangki dalam buku water treatment.
- 4) Gunakanlah air yang sudah di-*treatment* untuk pencampuran tersebut.
- 5) Gunakan jam pengadaan air yang di-*treatment* dan volume tangki bahan kimia yang turun untuk penentuan laju dosing pump bahan kimia. Catat laju tiap dosing pump dalam buku water treatment.

- 6) Kalibrasi dosing pump bahan kimia satu kali sebulan dengan menggunakan *measuring cylinder* dan stopwatch dan setel dosing pump pada laju yang diinginkan. Catat kalibrasi tiap dosing pump dalam buku water treatment.

b. Clarifier Tank

- 1) Bersihkan dan inspeksi *clarifier tank* satu kali dalam 6 bulan. Catat tanggal pelaksanaannya pada buku *water treatment*.
- 2) Simpan catatan kapasitas *clarifier tank* dan waktu retensinya.
- 3) Pertahankan *sludge blanket* di dalam *clarifier tank* untuk menangkap flok. Ketika lapisan *sludge* mulai tebal dan flok yang terbentuk mengalami *carry over*, buka drain bawah atau samping di lapisan bawah *sludge blanket*.
- 4) Drain bagian bawah *clarifier tank* beberapa menit di pagi hari (lamanya drain dan banyaknya per hari tergantung pada kondisi lokal dimana pabrik perlu menetapkannya sehingga *sludge blanket* tetap terjaga).
- 5) Dosis *flocculant* ke silinder bagian dalam *clarifier tank*, di bagian tengah, bertemu aliran air yang naik (kedalaman silinder tempat dosis *flocculant* masuk diperoleh lewat beberapa percobaan yang menghasilkan flok yang berukuran besar)
- 6) Turbiditas air di *clarifier tank* di bawah 25 NTU.

2.3.2 Spesifikasi Peralatan *Clarifier Tank*

a. Chemical Dosing Pump

Satu buah pompa *Actuated Diaphragm Metering* merek "Milton Roy" untuk mengumpar PAC bentuk larutan. Kapasitas pompa 180 liter/jam dan tekanan maksimal 5 bar dilengkapi dengan selang karet pengisap, saringan pipa pembuang, katup-katup dan minyak pelumas. Untuk melarutkan poli aluminium klorida disediakan tangki koagulan berkapasitas 500 liter.



Gambar 2.8 *Chemical Dosing Pump*
(Sumber : PLTG Borang, 2021)

b. Water Clarifier Tank

Satu unit *water clarifier* berkapasitas 16 m³ untuk menghilangkan zat padat bersama-sama dengan lumpur. Proses di dalamnya adalah pengadukan, pencampuran, koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dalam pemurnian tunggal. Waktu retensi yang direncanakan adalah satu jam. Penjernihan dilengkapi dengan katup-katup penguras. Bagian dalam tangki dicat dengan cat tahan terhadap bahan kimia. Berikut adalah *clarifier tank* yang digunakan oleh PLTG Borang.

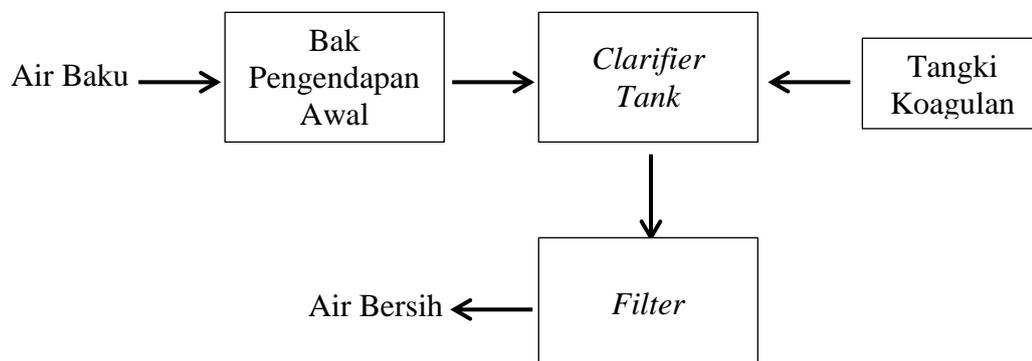


Gambar 2.9 *Clarifier Tank* di PLTG Borang
(Sumber : PLTG Borang, 2021)

2.4 Uraian Proses Pengolahan Air Bersih pada Unit *Water Treatment Plant*

Instalasi pengolahan air memegang peranan penting dalam upaya memenuhi kualitas air bersih melalui pengolahan fisika, kimia, dan bakteriologi (Gustinawati, 2018). Beberapa fasilitas yang dimiliki dalam proses pengolahan air bersih pada unit *water treatment plant* diantaranya adalah intake, bak pengendapan awal, *clarifier*, koagulator, *filter*, dan

reservoir. Proses pengolahan air bersih di PLTG Borang digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.10 Diagram Alir Proses Pengolahan Air Bersih di PLTG Borang
(Sumber : PLTG Borang, 2021)

2.4.1 Intake dan Bak Pengendapan Awal

a. Intake

Kondisi *intake* sangat berpengaruh dalam suplai air yang akan diolah. Untuk menjamin suplai air cukup, *intake* diletakkan di lokasi yang mudah dicapai dan direncanakan untuk mensuplai jumlah kuantitas air pada kualitas optimal yang memungkinkan (Sobari, 2020). Pemilihan *site* untuk *intake* pada sungai didasarkan pada :

- 1) Perolehan kualitas air baku terbaik yang dapat disuplai ke pengolahan air.
- 2) Prediksi kemungkinan perubahan arah dan kecepatan aliran sungai.
- 3) Meminimalkan efek dari banjir, kotoran mengapung dan gelombang aliran.
- 4) Tersedia akses mudah untuk perbaikan dan perawatan.
- 5) Fleksibel terhadap kenaikan dan penurunan muka air.
- 6) Didapatkan kondisi geologi terbaik.

b. Bak pengendapan awal

Proses yang terjadi pada bak pengendapan awal yaitu proses prasedimentasi. Air dari unit *intake* dialirkan menuju bak prasedimentasi untuk membuang pasir, lempung, jenis partikel non koloid lainnya secara gravitasi. Hal ini menghindari kerusakan peralatan mekanis seperti pompa dan mixer lalu menghindari akumulasi sedimen air baku untuk pengolahan awal (Sobari, 2020).

Kriteria desain dari bak prasedimentasi adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat berbentuk bulat maupun persegi panjang.
- 2) *Overflow* berupa pipa atau pelimpah diperlukan untuk mengatasi terjadinya tinggi muka air yang melebihi kapasitas bak.

2.4.2 Clarifier Tank

Proses pengolahan yang terjadi pada alat *clarifier tank* yaitu koagulasi, flokulasi dan sedimentasi seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Koagulasi merupakan proses destabilisasi muatan koloid dan padatan terlarut. Koagulan yang digunakan oleh PLTG Borang yaitu poli alumunium klorida. Hasil koagulasi yang baik sangat tergantung dari kondisi hidrolis yang baik yaitu pengadukan secara intensif (Sobari, 2020).

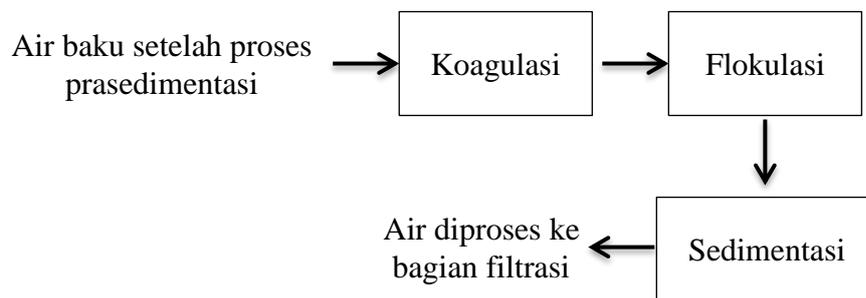
Tujuan dari koagulasi adalah mengubah partikel padatan dalam air baku yang tidak bisa mengendap menjadi mudah mengendap. Hal ini karena adanya proses pencampuran koagulan ke dalam air baku sehingga menyebabkan partikel padatan yang mempunyai padatan ringan dan ukurannya kecil menjadi lebih berat dan ukurannya besar (flok) yang mudah mengendap (Prakash, 2014).

Flokulasi adalah tahapan pengadukan lambat (5 – 30 rpm) yang mengikuti dispersi koagulan melalui pengadukan lambat. Tujuannya untuk mengakselerasi pembentukan flok. Pembentukan flok ini akan berlangsung dengan baik apabila saat penambahan koagulan dalam air disertai pengadukan cepat yang dilanjutkan pengadukan lambat. Sedangkan sedimentasi dirancang untuk membuang partikel tersuspensi yang telah berbentuk flok yang dihasilkan dari proses koagulasi dan flokulasi menggunakan penurunan secara gravitasi oleh partikel itu sendiri.

Aplikasi utama dari sedimentasi adalah sebagai berikut ini :

- 1) Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- 2) Pengendapan air yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi sebelum memasuki unit saringan pasir cepat.
- 3) Pengendapan air yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi pada instalasi yang menggunakan sistem pelunakan air oleh kapur soda.

4) Pengendapan air pada instalasi pemisah besi dan mangan.



Gambar 2.11 Diagram Alir Proses Pada *Clarifier Tank* di PLTG Borang
(Sumber : PLTG Borang, 2021)

2.4.3 Penyaring (*Filter*)

Filtrasi merupakan tahapan yang penting untuk mencapai kualitas air dalam kondisi yang baik. Meski kurang lebih 90% kekeruhan dan warna dipisahkan dalam koagulasi dan sedimentasi, namun sejumlah flok masih terbawa keluar dan memerlukan pemisahan lebih lanjut. Proses filtrasi dilakukan dengan melewati air hasil pengolahan dari *clarifier* melalui media filter dengan ukuran dan kedalaman tertentu (Sobari, 2020).

Filtrasi dapat digunakan dengan menggunakan beberapa jenis filter, antara lain: saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, bahkan dengan menggunakan teknologi membran. Pada pengolahan air bersih umumnya dipergunakan saringan pasir cepat, karena filter jenis ini memiliki debit pengolahan yang cukup besar, penggunaan lahan yang tidak terlalu besar, biaya operasi dan pemeliharaan yang cukup rendah dan tentunya kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaan (Nugroho, 2016).

2.5 Air Bersih

2.5.1 Pengertian Air Bersih

Menurut Sutandi (2012) air bersih didefinisikan sebagai air yang memenuhi persyaratan kesehatan, baik itu untuk minum, mandi, cuci dan lain sebagainya. Air yang bersih sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia. Air dikatakan bersih apabila : terlihat jernih, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa, sedangkan menurut Triono (2018) yang dimaksud air bersih yaitu air yang aman (sehat) dan baik untuk diminum, tidak berwarna, tidak berbau,

dengan rasa yang segar. Air bersih berupa air yang kita pakai sehari-hari untuk keperluan mencuci, mandi, memasak dan serta dapat langsung digunakan oleh industri maupun diolah lebih lanjut.

2.5.2 Kriteria Baku Mutu Air Bersih

Baku mutu air bersih adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat energi atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang di tenggang keberadaannya dalam air. Dengan adanya standar baku mutu untuk air bersih industri, setiap industri memiliki pengolahan air sendiri-sendiri sesuai dengan kebutuhan industri. Karena setiap proses industri maupun segala aktivitas membutuhkan air sebagai bahan baku utama atau bahan penolong (Hardyanti, 2006). Klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas yaitu:

- 1) Kelas Satu : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air minum atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- 2) Kelas Dua : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
- 3) Kelas Tiga : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
- 4) Kelas Empat : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.6 Standar Kualitas Air Bersih

Standar yang digunakan dalam penentuan kualitas air yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Kriteria kualitas air bersih antara lain yaitu : pH, kekeruhan, jumlah padatan terlarut (TDS), jumlah padatan tersuspensi, kebutuhan oksigen kimia (COD) dan biologi (BOD), oksigen terlarut (DO), serta temperatur air. namun pada studi kasus ini hanya 4 kriteria yang digunakan. Tabel standar kualitas air dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.2 Standar Baku Kualitas Air Bersih

No.	Parameter	Standar
1	Kekeruhan	maks 25 NTU
2	pH	5 – 9
3	TSS	maks 400 ppm
4	TDS	maks 1000 ppm

(Sumber : Standar Nasional Indonesia, 2012)

2.6.1 Kekeruhan

Kekeruhan atau *turbidity* adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air baku dengan skala NTU (*nephelometric turbidity unit*) atau JTU (*jackson turbidity unit*) atau FTU (*formazin turbidity unit*). Kekeruhan ini disebabkan oleh adanya benda tercampur atau benda koloid di dalam air. Hal ini membuat perbedaan nyata dari segi estetika maupun dari segi kualitas air itu sendiri (Fatimura, 2017).

Air dikatakan keruh, apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna atau rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar secara baik dan partikel-partikel yang tersuspensi lainnya. Kekeruhan pada sungai lebih dipengaruhi oleh bahan-bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar yang hanyut terbawa oleh aliran air. Ada tiga cara untuk mengukur kekeruhan air yaitu sebagai berikut (Angga, 2016) :

- a) *Nephelometric method, nephelometric turbidity unit* prinsip kekeruhan air dengan cara ini adalah didasarkan pada perbandingan intensitas cahaya yang disebabkan oleh suatu larutan standard dalam kondisi sama, semakin tinggi intensitas yang terserap makin tinggi kekeruhan alat yang digunakan beberapa turbidi meter sampel tube.
- b) *Visual method, Jakson Turbidity Unit*. Yang dimaksud dengan visual method adalah pengukuran kekeruhan air dengan menggunakan cadle turbidi meter. prinsip pengukuran adalah didasarkan pada panjangnya cahaya melalui suatu suspensi yang dihitung tepat pada saat bayangan nyala lilin (*candle*) hilang. Makin panjang jalan candle turbidimeter, botol untuk membandingkan kekeruhan secara visual.

- c) Turbidimeter holigne, digunakan untuk mengukur kekeruhan 0-15 unit. Prinsip kerjanya adalah penerangan efek tunda dalam penyusunan sumber cahaya terhadap sampel air. Dalam hal ini tidak digunakan suspensi standar.

2.6.2 Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan istilah untuk menyatakan keadaan asam atau basa pada suatu larutan. Air murni mempunyai pH 7, pH di bawah 7 bersifat asam sedang pH di atas 7 bersifat basa. Derajat keasaman (pH) menggambarkan konsentrasi ion hidrogen yang terkandung dalam perairan. pH air akan sangat berpengaruh pada reaksi biokimia dalam air. Nilai pH air yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme dalam air adalah pH 6-8.

Alat yang digunakan untuk mengukur pH air adalah pH-meter. Mengukur nilai pH air menggunakan PH meter digital dapat melalui langkah – langkah berikut (Hanif, 2021):

- a) Mengambil sampel air yang akan diuji
- b) Menekan tombol “On” pada pH meter.
- c) Memasukkan pH meter ke dalam sampel air.
- d) pH meter akan menunjukkan angka pada display digital

2.6.3 TDS (Total Padatan Terlarut)

TDS adalah singkatan dari *Total Dissolve Solid* yang berarti jumlah zat padat terlarut. TDS merupakan indikator dari jumlah partikel atau zat tersebut, baik berupa senyawa organik maupun non-organik. Pengertian terlarut mengarah kepada partikel padat di dalam air yang memiliki ukuran di bawah 1 nano-meter. Satuan yang digunakan biasanya ppm (part per million) atau yang sama dengan miligram per liter (mg/l) untuk pengukuran konsentrasi massa kimiawi yang menunjukkan berapa banyak gram dari suatu zat yang ada dalam satu liter dari cairan. TDS dapat diukur menggunakan alat waterproof cyberscan (Nugroho, 2016).

2.6.4 Konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS atau padatan tersuspensi total adalah padatan yang tidak terlarut di dalam air, berupa partikel yang menyebabkan air keruh, gas terlarut, dan mikroorganisme penyebab bau dan rasa. *Total Suspended Solid* terdiri atas

lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Seperti halnya padatan terendap, padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar atau cahaya ke dalam air sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis. TSS dapat diukur menggunakan alat waterproof cyberscan (Nugroho, 2016).