

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Baku

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan pokok perkotaan. Pemanfaatan air sebagai air minum untuk memenuhi kebutuhan manusia, tidak dapat dilakukan secara langsung, akan tetapi memerlukan proses pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan dilakukan agar air tersebut dapat memenuhi standar sebagai air bersih maupun air minum. Faktor kualitas air baku sangat menentukan efisiensi pengolahan. pengolahan tersebut membutuhkan suatu instalasi yang sesuai dengan kualitas dan kuantitas yang di inginkan. Salah satu air baku yang dapat digunakan sebagai sumber air dalam pengolahan yaitu air sungai. Air sungai merupakan salah satu bagian lingkungan yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan kehidupan manusia. Dengan berkembangnya zaman, fungsi sungai tidak lagi sebagai sumber air bersih akan tetapi juga digunakan sebagai sarana transportasi, pendukung operasional industri, serta untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga (Riando, 2021).

Unit produksi sistem penyediaan air minum berfungsi untuk mengolah air baku menjadi air bersih. Instalasi ini harus didesain untuk menghasilkan air yang layak dikonsumsi masyarakat bagaimanapun kondisi cuaca dan lingkungan. Air baku perlu diolah dengan proses pemisahan partikel kasar, proses pemisahan tersuspensi, proses pemisahan terlarut, proses netralisasi dan proses desinfeksi untuk mencapai kualitas sesuai dengan standar kualitas air minum. Sistem pengolahan air bersih dengan sumber air baku sungai dengan skala atau standar air minum, memerlukan beberapa proses. Proses yang perlu diterapkan tergantung dari kualitas air baku tersebut. Instalasi pengolahan air minum merupakan suatu sistem yang mengkombinasikan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan disinfeksi serta dilengkapi dengan pengontrolan proses juga instrumen pengukuran yang dibutuhkan. Proses sedimentasi secara umum diartikan sebagai proses pengendapan akibat gaya gravitasi. Partikel yang memiliki berat jenis lebih besar dari berat jenis air akan mengendap ke bawah. Kecepatan pengendapan partikel ini akan bertambah sesuai dengan pertambahan ukuran partikel dan berat jenisnya.

Proses ini merupakan proses yang menghasilkan residu lumpur terbesar pada instalasi pengolahan air (Joko, 2010).

2.2. Pengolahan Air

Proses produksi air bersih akan menyebabkan timbulnya residu sebagai produk sampingan pengolahan air. Residu tersebut dapat berupa kandungan organik maupun anorganik tergantung pada sumber air baku serta tipe unit pengolahan yang digunakan serta penggunaan bahan kimia ketika proses pengolahan dilakukan. Terdapat empat tipe residu yang dihasilkan dari proses pengolahan air yaitu lumpur, konsentrat, *ion exchange resin*, dan emisi gas (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Tipe residu yang dihasilkan dari pengolahan air bersih di Indonesia umumnya berupa lumpur, hal ini dikarenakan proses pengolahan yang digunakan bertujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi yang berasal dari air baku.

Tujuan dari instalasi pengolahan air adalah untuk menghilangkan partikel yang terkandung di dalam air, sedangkan tujuan dari pengolahan lumpur adalah untuk menghilangkan kandungan air dari lumpur mengingat persoalan utama dalam pengolahan lumpur adalah volume, dan selanjutnya membuang residu padatnya. Kuantitas lumpur yang dihasilkan IPA dan harus dibuang ke pembuangan akhir mempengaruhi besarnya biaya operasi IPA. Reduksi dari volume lumpur yang dihasilkan dapat mengurangi biaya operasional terkait penanganan dan pembuangan lumpur. Selain itu, lumpur yang telah *didewater* akan berbentuk *cake* sehingga lebih mudah ditangani dibandingkan lumpur berbentuk *liquid*, serta biaya transportasi lumpur ke lokasi pembuangan akhir akan lebih rendah jika volume lumpur diperkecil (Julian, 2015).

Pertimbangan yang diperlukan dalam pemilihan manajemen residu (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996), antara lain :

- Tipe dari instalasi pengolahan.
- Karakteristik residu.
- Peraturan yang berlaku.
- Pilihan pengolahan.

- Pilihan pembuangan
- Sosial
- Lingkungan
- Ekonomi

2.3. Sumber Lumpur

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) menghasilkan lumpur (*sludges*) dalam proses pengolahannya, dimana volume lumpur yang dihasilkan akan meningkat sesuai dengan peningkatan kapasitas produksi serta *impurities* yang terkandung di badan air. Lumpur didefinisikan sebagai *solids* (padatan) yang dihilangkan dalam proses pengolahan air minum maupun air limbah (Julian, 2015). Sumber utama penghasil lumpur pada proses pengolahan air bersih umumnya berasal dari proses koagulasi dan flokulasi, dimana tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghilangkan kekeruhan pada air baku. Fasilitas ini juga digunakan untuk menghilangkan warna, rasa, dan bau, sehingga air tersebut aman dikonsumsi oleh masyarakat. Untuk tujuan tersebut proses flokulasi dan koagulasi unit proses lainnya seperti *screening*, proses kimia, sedimentasi, filtrasi dan sebagainya, yang menghasilkan residual yang berbeda karakteristiknya. Berikut unit-unit yang menghasilkan lumpur di dalam proses pengolahan air bersih (Metcalf & Eddy, 2003) :

a. Sedimentasi

Karakteristik lumpur yang terdapat pada bak sedimentasi pada unit pengolahan air bersih umumnya berupa kandungan bahan kimia berupa koagulan yang digunakan. Presipitasi bahan kimia dengan menggunakan garam logam umumnya akan berwarna gelap dan mengandung banyak besi. Jika berlumpur, hidrasi dari besi atau aluminium akan menyebabkan lumpur menjadi kental. Selain itu, karakteristik lumpur dari bak sedimentasi juga tergantung pada kualitas air baku. Bila sumber air baku memiliki konsentrasi padatan tersuspensi (TSS) yang tinggi maka lumpur dari pengolahan kimia dengan menggunakan koagulan akan memiliki persentasi presipitasi hidroksida dan kekentalan yang tinggi.

b. *Backwash*

Residual yang berasal dari unit ini sulit ditangani dikarenakan memiliki kandungan padatan yang sedikit. Padatan dari air pencucian ini akan sulit dipisahkan karena kandungan padatannya relatif kecil, umumnya jumlah padatan yang masuk ke dalam unit ini berkisar 4-10 mg/L (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996). Kandungan air yang terdapat pada *filter backwash water* ini relatif besar volumenya, yaitu berkisar antara 2-5% dari total air yang diproses.

c. Dosis Tawas

Air baku yang tinggi kekeruhannya akan menghasilkan lumpur lebih terkonsentrasi, sehingga lebih mudah dalam proses *dewatering*, tidak seperti air yang memiliki kekeruhan air baku rendah dimana perlakuan lumpur akan menjadi lebih sulit. Suatu zat kimia tertentu yang disebut koagulan tidak dapat larut dalam air, bahkan dapat membentuk flok-flok presipitat. Presipitat dapat menyerap atau mengikat suspensi halus dan koloid yang terdapat dalam air, proses ini dapat berjalan dalam waktu yang cepat. Proses koagulasi ini dapat menurunkan derajat warna, bau, dan rasa. Partikel suspensi maupun koloidal yang telah berbentuk flok hasil proses koagulan dapat dipisahkan dari air melalui proses sedimentasi.

2.4. *Sludge Drying Beds*

Sludge drying beds (SDB) merupakan bak dengan pasir dangkal dan mempunyai sistem *underdrain*. Alat ini biasanya juga dilengkapi dengan alat untuk menampung air yang keluar. SDB memiliki fungsi yang sama dengan *dewatering lagoon*, perbedaan yang mendasar adalah ketebalan dari lumpur yang disimpan dan banyaknya lumpur. SDB mempunyai ketebalan lumpur yang rendah dan simpanan lumpur yang bervariasi dibandingkan *dewatering lagoon* (AWWA/ASCE/U.S. EPA, 1996).

Kemampuan penyaringan pasir ditentukan oleh tingkat porositas dan luas permukaannya. Tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang lebar akan menghasilkan kemampuan penyaringan yang tinggi pula. Porositas media filter tergantung pada bagaimana susunan butiran-butiran tersebut di dalam lapisan media filter. Sedangkan karakteristik partikel yang berpengaruh pada porositas dan luas permukaan adalah *sphericity* atau tingkat kebulatan dari partikel tersebut. Hal ini

juga didukung pernyataan bahwa pada media filter, semakin besar persentase porositas maka semakin besar pula volume pori yang terdapat pada media filter, begitu juga sebaliknya (Marita, 2018).

Ukuran media juga berpengaruh pada efisiensi penyisihan TSS, ukuran yang memiliki efisiensi penyisihan yang paling tinggi adalah media pasir 0.212-0.425 mm. Penggunaan media filter yang lebih kecil dapat meningkatkan efisiensi penyaringan. Ukuran media filter yang kecil akan menyediakan total area permukaan lebih besar yang akan meningkatkan efisiensi penyisihan. Efisiensi tertinggi dicapai pada ukuran media filter halus (Θ 12-2 mm) karena semakin kecil ukuran media filter maka celah diantara media juga akan semakin kecil sehingga area permukaan yang tersedia lebih besar untuk mengadsorpsi partikel padatan sehingga efisiensi penyisihan semakin meningkat. Ukuran media filter berpengaruh pada porositas dan daya serap yang mana semakin kecil ukuran butiran, maka luas permukaannya makin besar juga, sehingga daya serapnya semakin besar (Marita, 2018).

Kebutuhan volume bak penampung lumpur di setiap wilayah sangat bervariasi dan bergantung dengan kondisi air baku pada IPA. Data sampel penelitian juga perlu lebih diperbanyak dan dilengkapi agar didapatkan hasil yang mendekati kebutuhan riilnya. Proses pengelolaan lumpur residu IPA di Indonesia ke depan perlu diperhatikan agar limbahnya tidak menimbulkan efek negatif yang besar bagi lingkungan di kemudian hari. Residu lumpur perlu diusahakan agar dapat dimanfaatkan (reuse) dan tidak dialirkan kembali ke badan air/sungai. Beberapa pertimbangan lain juga diperlukan ketika akan mendesain bak SDB di Instalasi Pengolahan Air (IPA). Diantaranya, bak SDB harus didesain agar proses pengeringan bak tampungan atau pengeluaran air sisa kurasan (*dewatering*) dapat secara cepat terjadi, sehingga kondisi bak tidak cepat penuh. Namun hal ini perlu diupayakan dengan tetap meminimalkan potensi lumpur residu yang masuk ke badan air. Peralatan mekanis pun kedepannya diperlukan untuk proses *dewatering* air lumpur IPA, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung dengan lebih baik, cepat dan efisien. Peralatan nantinya harus dapat didesain sedemikian rupa agar terjangkau dari sisi biaya investasi, pengelolaan maupun pemeliharaan (Deasy, 2020).

Peralatan mekanis pun kedepannya diperlukan untuk proses dewatering air lumpur IPA, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung dengan lebih baik, cepat dan efisien. Peralatan nantinya harus dapat didesain sedemikian rupa agar terjangkau dari sisi biaya investasi, pengelolaan maupun pemeliharaan (Deasy, 2020).

2.5. Baku Mutu

Belum adanya peraturan yang mengatur khusus tentang limbah lumpur dari pengolahan air bersih menyebabkan limbah lumpur masuk kedalam baku mutu air limbah bagi usaha dan /atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Mengacu kepada baku mutu tersebut maka, limbah lumpur Perumda Air Minum akan berada pada golongan dua dengan Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr6+)	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300

Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Sumber : PERMEN LH NO 5 Tahun 2014

2.6. Perhitungan Jumlah Lumpur

Banyaknya jumlah lumpur yang dihasilkan dapat menggunakan perhitungan dari produksi lumpur dari koagulan alum dan besi dengan menggunakan persamaan berikut (Pratami, 2011):

$$S = (8,34 Q) (0,44 Al + SS + A)$$

dimana,

S = Produksi lumpur (lb/day)

Al = Dosis alum (mg/L, 17,1% Al₂O₃)

SS = Kekeruhan air baku (NTU)

Q = Debit instalasi (Mgd)

A = Padatan bahan kimia tambahan ditambahkan seperti polimer/PAC (mg/L)

Persamaan rumus diatas menunjukkan bahwa kuantitas lumpur dipengaruhi oleh debit, dosis koagulan, bahan kimia tambahan, serta kualitas air baku. Persamaan diatas digunakan untuk koagulan alum, dimana konstanta 0,44 digunakan apabila konsentrasi Al₂O₃ dalam koagulan sebesar 17,1%. Berikut persamaan untuk menghitung produksi lumpur dari koagulan besi:

$$S = (8,34 Q) (2,9 Fe + SS + A)$$

dimana,

Fe = Dosis koagulan besi (mg/L)

Volume lumpur tergantung pada kandungan air serta karakteristik padatan yang ada didalamnya. Hubungan volume serta massa lumpur ini ditulis dalam persamaan berikut:

$$V = \frac{S}{\rho_{wx} S_{sl} \times P_s}$$

V = Volume lumpur (m³/hari)

S = Berat produksi lumpur (kg/hari)

ρ_w = Berat jenis air (kg/m³)

S_{sl} = *Specific gravity* lumpur

P_s = Persentasi padatan kering (desimal).

2.7. Neraca Massa

Neraca massa adalah deskripsi kuantitatif materi yang masuk, keluar, dan terakumulasi dalam sistem pengolahan. Konsep ini didasari hukum konversi massa di mana massa tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi bentuknya dapat berubah ubah. Konsep neraca massa dapat dituangkan dalam persamaan berikut (Tchobanoglous dkk, 2003);

$$dC/dt V = Q C_o - Q C + (-kC) V$$

Keterangan :

dC/dt = laju penguraian dalam suatu reaktor (kg/m^3 hari)

V = volume reaktor (m^3)

Q = debit volumetrik reaktor (m^3/hari)

C_o = Konsentrasi substrat yang masuk ke reaktor (mg/l)

C = Konsentrasi substrat yang keluar dari reaktor (mg/l)

k = Koefisien laju reaksi orde 1 (hari^{-1})

2.8. Pemanfaatan Lumpur Kering

Hingga saat ini limbah padat lumpur masih menimbulkan permasalahan tersendiri bagi PDAM karena jumlahnya sangat banyak dan perlu penanganan secara khusus yang tergantung debit dan konsentrasi kekeruhan air baku yang diolah. Makin besar debit air yang diolah dan makin tinggi konsentrasi padatan seperti padatan kasar (*coarse solid*), padatan tersuspensi (*suspended solid*) dan koloid, maka makin banyak jumlah koagulan yang diperlukan dan makin besar volume lumpur yang dihasilkan sehingga setiap tahunnya memerlukan dana yang besar untuk penyediaan koagulan dan penanganan lumpurnya. Komposisi lumpur yang dihasilkan tergantung pada jenis koagulan yang digunakan. Limbah lumpur pengolahan air minum sebenarnya mengandung 11,37–28,5 % berat Aluminium Oksida (Al_2O_3).

Komposisi Aluminium pada limbah padat yang cukup besar dan masih belum termanfaatkan maka bisa dilakukan *recovery* aluminium tersebut sehingga dapat digunakan kembali. Pengambilan kembali (*recovery*) aluminium dari limbah pengolahan air dapat dilakukan melalui beberapa proses yaitu dekomposisi panas,

elektrolisis, pertukaran ion, reaktor membran, pelarutan dengan basa (*basification*), dan pelarutan dengan asam (*acidification*). Tawas cair hasil recovery limbah PDAM dapat digunakan sebagai koagulan untuk menurunkan kekeruhan dalam proses pengolahan air bersih dengan efisiensi penyisihan kekeruhan pada kondisi terbaik sebesar 99,72% pada massa 12 mg, kecepatan aduk cepat 160 rpm dan kecepatan aduk lambat 20 rpm (Saivi, 2015).

Lumpur dari PDAM juga dapat digunakan untuk membuat batu-bata. Metode yang dilakukan dalam proses pembuatan batu-bata, yaitu; pengeringan, mencetak, dan pembakaran. Hal tersebut telah membuktikan bahwa limbah lumpur pengolahan air, khususnya limbah lumpur PDAM dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan batu bata. Proporsi lumpur dalam campuran dan suhu pembakaran merupakan faktor utama yang mempengaruhi kualitas dari batu bata yang dihasilkan. Proporsi lumpur optimum yang direkomendasikan adalah 5% - 10%. Untuk memperoleh batu bata dengan kualitas yang lebih baik, perlu dikaji lebih lanjut tentang cara pengurangan kadar air dalam lumpur yang lebih optimal. Lumpur yang dihasilkan dari proses sedimentasi diolah lebih lanjut untuk mengurangi sebanyak mungkin air yang masih terkandung di dalamnya. Proses pengolahan lumpur yang bertujuan mengurangi kadar air tersebut sering disebut dengan pengeringan lumpur. Ada empat proses pengurangan kadar air, yaitu secara alamiah, dengan tekanan (pengepresan), dengan cara setrifugal, dan dengan pemanasan (Fahmi, 2020).