

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Limbah Aktif

Lumpur didefinisikan sebagai zat sisa (residu), berupa material semi-*solid* yang berasal dari proses pengolahan limbah. Sistem pengolahan biologis yang paling banyak digunakan oleh industri adalah sistem lumpur aktif konvensional. Dalam semua sistem lumpur aktif, setelah air limbah telah menerima perawatan yang mencukupi, kelebihan *mixed liquor* (WAS) dibuang ke bak pengendap sekunder dan supernatan dilimpaskan untuk menjalani perawatan lebih lanjut sebelum dibuang (Metcalf and Eddy, 2003). Lumpur aktif merupakan massa biologik kompleks yang dihasilkan bila limbah organik diberi penanganan secara aerobik. Lumpur akan mengandung berbagai ragam mikroorganisme heterotrof termasuk bakteri, protozoa, dan bentuk kehidupan yang lebih tinggi. Dengan kata lain, lumpur aktif merupakan campuran antara lumpur dan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah (Laksmi dkk., 1993).

Karakteristik lumpur biologis yang perlu ditinjau di dalam proses *conditioning* adalah pH, temperatur, *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Volatile Suspended Solid* (VSS). Matrix VSS sebagian besar disusun oleh *extracellular polymeric substances* (EPS) yang berasal dari berbagai macam proses mikroba (mikroskopik), terutama pertumbuhan biomassa, lisis, dan penggunaan substrat. EPS merupakan komponen utama dari kumpulan (*agregat*) mikroba untuk menjaga agar *agregat* mikroba tersebut tetap berada dalam bentuk (*matrix*) tiga dimensi (Rahardja et al, 2013).

2.2 Pengolahan Limbah Secara Fisika dan Kimia

Pengolahan secara fisika seperti *screen*, filtrasi, pengendapan dan flotasi dapat merupakan proses pendahuluan untuk menyisahkan bahan tersuspensi atau melayang dari dalam air buangan, sedangkan proses adsorpsi dan osmosa merupakan proses pengolahan sekunder tersier (Djajadiningrat, 1992).

Pengolahan secara kimia memerlukan perubahan bahan kimia agar terjadi reaksi kimia untuk menyisahkan bahan polutan. Hasil akhir proses pengolahan biasanya merupakan endapan yang kemudian dipisahkan secara fisika (pengendapan atau filtrasi) (Djajadiningrat, 1992).

Pada dasarnya kita dapat memperoleh efisiensi yang tinggi dengan pengolahan secara kimia, akan tetapi biaya pengolahan menjadi mahal karena memerlukan bahan kimia (Djajadiningrat, 1992).

2.3 Conditioning

Proses ini berguna untuk memudahkan lumpur untuk mengurangi kandungannya sehingga dapat membantu proses selanjutnya (Qasim, 1992). Proses ini dilakukan sebelum proses dewatering secara mekanis. *Conditioning* dapat dilakukan dengan *freezing* dan *thawling*, serta dengan penambahan bahan kimia. Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses ini adalah kapur, FeCl_3 , alum, dan polimer (Pratami, 2011).

2.3.1 Chemical Conditioning

Chemical conditioning merupakan pengkondisian dengan menambahkan senyawa kimia sehingga meningkatkan performa proses dewatering. Proses ini melibatkan penambahan ferric klorida, *fly ash*, kapur, atau polimer. Tipe dan dosis bahan kimia yang digunakan berbeda tergantung kualitas bahan baku, tipe lumpur, dan konsentrasi padatan yang diinginkan pada proses thickening dan dewatering (Pratami, 2011). Montgomery (1985) mengungkapkan bahwa polimer umumnya digunakan sebagai bahan kimia dalam proses ini, kapur umumnya digunakan untuk lumpur alum (*alum sludge*). Dosis bahan kimia optimum yang dibutuhkan dalam proses *conditioning* umumnya didapat dari penelitian lapangan.

2.4 Dewatering

Dewatering lumpur adalah proses yang sangat diperlukan dalam pengelolaan lumpur secara mekanis, yang meliputi penyaringan dan sentrifugasi (Bennamoun, 2012). Pengeringan mekanis penting dalam mengurangi volume lumpur sebelum pembuangan pengeringan lumpur lebih lanjut karena pengaruh yang cukup besar dari lokasi dan iklim terhadap pengeringan alami dan konsumsi energi yang tinggi selama pengeringan buatan (Bennamoun, 2012). Namun, pengeringan mekanis lumpur secara langsung tanpa perlakuan awal tidak dapat mencapai efek pengeringan yang ideal, dan kadar air lumpur setelah pengeringan mekanis hanya dapat mencapai 80% - 98% (Wang et al., 2010) karena lumpur adalah sistem yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak padatan kecil dan bermuatan permukaan, yang bisa relatif stabil secara dinamis dalam air tidak hanya karena gravitasi rendah dan efek tolakan elektrostatisnya, tetapi juga karena sebagian air dikombinasikan erat ke permukaan atau ditangkap di dalam jaringan koloid. Terutama, EPS bermuatan tinggi dapat dengan mudah membentuk struktur tersuspensi gel yang stabil yang berikatan dengan molekul air karena kekuatan steriknya (Vaxelaire dan Cézac, 2004).

2.4.1 Mechanical Dewatering

Konsentrasi padatan hasil *mechanical* dewatering berbeda-beda tergantung pada karakteristik lumpur serta jenis pengolahan yang digunakan. Pada metode *mechanical* dewatering ini alat yang digunakan untuk menghilangkan kadar air dalam lumpur meliputi belt filter press, centrifugal, pressure filter, dan vacuum filter. Berikut merupakan hasil persentase padatan cake lumpur dari berbagai jenis lumpur serta tipe unit *mechanical* dewatering yang digunakan, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik *cake* lumpur metode *mechanical dewatering* (Novak, 1989).

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 Hidroxide</i>	1,07	22,7	28,2	36,2
<i>Lime sludge</i> (Mg tinggi)	1,05	21	24,8	34,6
Alumunium hidroksida	1,03	17,2	19	23,2

2.5 Koagulasi dan Flokulasi

2.5.1 Koagulasi

Menurut Manurung (2009), koagulasi adalah peristiwa destabilisasi dari pada partikel-partikel koloid di mana gaya tolak-menolak (repulsi) di antara partikel-partikel tersebut dikurangi ataupun ditiadakan. Partikel-partikel koloid yang terdapat dalam suatu wadah ataupun aliran air pada dasarnya bermuatan negatif pada permukaannya. Muatan ini menyebabkan gaya tolak-menolak di antara partikel-partikel sehingga menghalangi terjadinya agregasi dari pada partikel-partikel menjadi agregat yang lebih besar.

- **Koagulan**

Senyawa koagulan adalah senyawa yang mempunyai kemampuan mendestabilisasi koloid dengan cara menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid sehingga koloid dapat bergabung satu sama lain membentuk flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga mudah mengendap. Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan

kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak.

Koagulan dapat berupa garam-garam logam (anorganik) atau polimer (organik). Polimer adalah senyawa-senyawa organik sintesis yang disusun dari rantai panjang molekul-molekul yang lebih kecil. Koagulan polimer ada yang kationik (bermuatan positif), anionik (bermuatan negatif), atau nonionik (bermuatan netral). Sedangkan koagulan anorganik mencakup bahan-bahan kimia umum berbasis aluminium atau besi. Ketika ditambahkan ke dalam contoh air, koagulan anorganik akan mengurangi alkalinitasnya sehingga pH air akan turun. Koagulan organik pada umumnya tidak mempengaruhi alkalinitas dan pH air. Koagulan anorganik akan meningkatkan konsentrasi padatan terlarut pada air yang diolah (Gebbie, 2005).

Dengan penambahan koagulan seperti aluminium sulfat (tawas) ataupun feri klorida, koagulasi dapat berlangsung melalui salah satu mekanisme berikut ini :

- Jika aluminium sulfat atau feri klorida ditambahkan dalam jumlah yang cukup, maka $\text{Al}(\text{OH})_3$ atau $\text{Fe}(\text{OH})_3$ akan mengendap. Partikel-partikel yang terdapat di dalam air terjaring ke dalam endapan-endapan ini yang mempunyai sifat mudah melekat sehingga agregasi dari pada flok dapat terjadi.
- Bilamana aluminium sulfat atau feri klorida ditambahkan ke dalam air, maka akan terbentuk sejumlah spesies yang bermuatan positif (Al^{3+} atau Fe^{3+}). Spesies ini akan teradsorpsi dengan mudah terhadap partikel koloid yang bermuatan negatif sehingga terjadi netralisasi muatan. Mekanisme ini dikenal sebagai adsorpsi destabilisasi.

2.5.2 Flokulasi

Flokulasi berasal dari bahasa latin *flokulare* yang artinya membentuk suatu flok yang secara visual menyerupai suatu tumpukan dari wol atau struktur pori-pori yang banyak seratnya. Mekanisme flokulasi dengan polielektrolit adalah dengan cara adsorpsi dan jembatan antar partikel. Flokulasi yang bergantung pada keberadaan senyawa yang bertindak sebagai jembatan di antara partikel-partikel koloid yang menyatukan partikel-partikel tersebut dalam suatu massa yang lebih besar yang disebut jaringan flok. Jadi flokulasi adalah suatu proses pembentukan

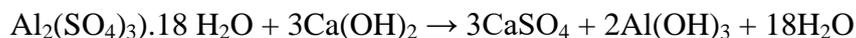
flok di mana terbentuk agregat atau gumpalan besar yang dapat dengan mudah dipindahkan dari larutan. Sedangkan flokulan adalah suatu zat atau senyawa yang dapat ditambahkan untuk terjadinya flokulasi. Flokulan biasanya merupakan polimer dengan berat molekul yang tinggi dan membentuk rantai yang cukup panjang untuk mengurangi gaya tolak-menolak di antara partikel-partikel koloid.

Bila molekul polimer bersentuhan dengan partikel koloid maka beberapa gugusnya akan teradsorpsi pada permukaan partikel dan sisanya tetap berada dalam partikel. Bila partikel kedua ini terikat pula pada bagian lain dari rantai polimer tersebut maka terjadi kompleks partikel dengan polimernya yang berfungsi sebagai jembatan. Proses flokulasi terdiri dari tiga langkah yaitu :

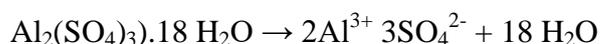
- 1) Pelarutan reagen melalui pengadukan cepat (1 menit : 100 rpm)
- 2) Pengadukan lambat untuk membentuk flok-flok (15 menit : 20 rpm)
- 3) Penghapusan flok-flok dengan koloid yang terkurung dari larutan melalui sedimentasi (15 – 20 menit : 0 rpm) (Manurung,2009).

2.6 Aluminium Sulfat atau Tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), biasanya disebut tawas, bahan ini sering dipakai secara efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol, tidak mudah terbakar, ekonomis, mudah didapat dan mudah disimpan. Penggunaan tawas memiliki keuntungan yaitu harga relatif murah dan sudah dikenal luas. Namun ada juga kerugiannya, yaitu umumnya dipasok dalam bentuk padatan sehingga perlu waktu yang lama untuk proses pelarutannya (Budiyono, 2013). Jika aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ditambahkan ke dalam air dalam suasana basa (adanya alkalinitas) maka reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi-reaksi antara aluminium sulfat dalam air dipengaruhi oleh banyak factor. Oleh karena itu sukar memperkirakan dengan akurat jumlah aluminium sulfat yang akan bereaksi dengan jumlah alkalinitas yang diberikan oleh kapur. Larutas aluminium sulfat dalam air menghasilkan (Jenita,2016) :



Menurut (Risdiyanto, 2007) dosis penambahan PAC dalam lumpur limbah yang optimum digunakan yaitu 75-250 mg/L.

2.7 Poly Aluminium Chloride (PAC)

Polialuminium klorida adalah salah satu produk polimer aluminium yang digunakan untuk menetralkan muatan koloid serta membentuk jembatan penghubung di antara koloid-koloid tersebut, sehingga proses koagulasi-flokulasi dapat berlangsung dengan efisien. polialuminium klorida mempunyai rumus molekul $Al_m(OH)_n(Cl)_p(SO_4)_q$. Produk ini dikarakterisasi dengan rasio molekuler OH/Al di antara 0,4 dan 0,6 serta stabilitasnya dipertahankan oleh adanya ion sulfat yang dapat menghambat polimerisasi spontan dari pada produk. Pada umumnya polialuminium klorida mempunyai daya koagulasi-flokulasi yang lebih besar dibandingkan dengan garam aluminium yang biasa seperti misalnya tawas. Beberapa keuntungan yang dapat di catat dari penggunaan polialuminium klorida sebagai koagulan-flokulan adalah :

- Efektif pada pH 5 – 10
- Jumlah lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan garam aluminium yang biasa.
- Efek korosi yang ditimbulkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan garam aluminium yang biasa (Manurung, 2009).

Menurut (Wei *et al.*, 2018) dosis penambahan PAC dalam lumpur limbah yang optimum digunakan yaitu < 100 mg/L.

2.8 Filtrasi

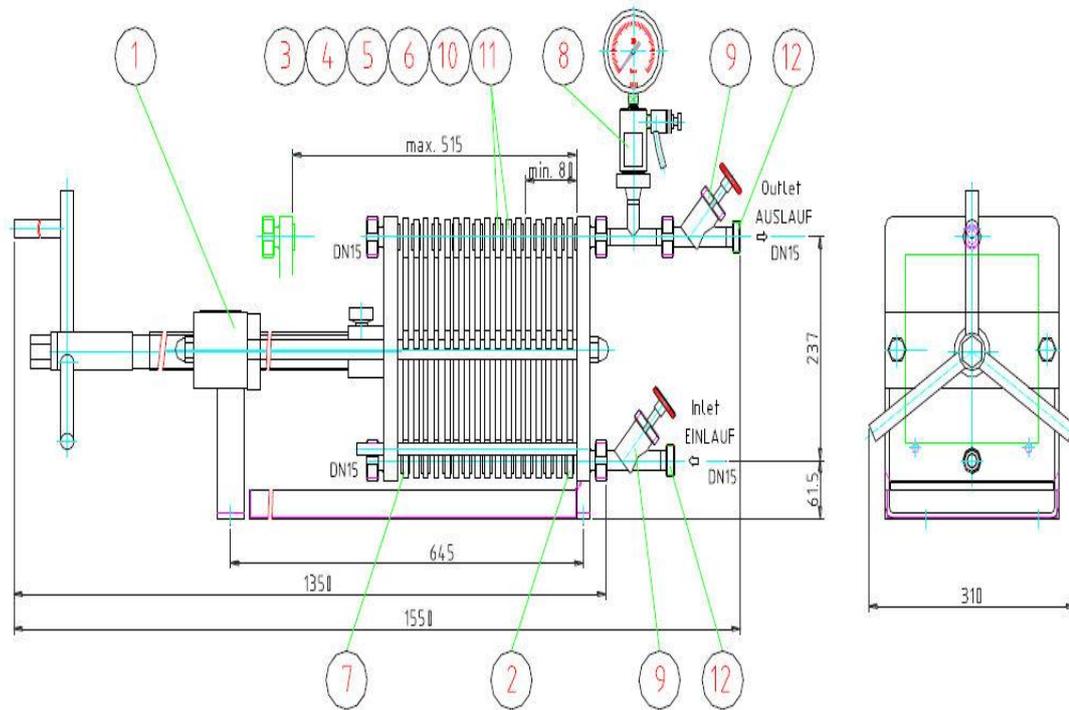
Filtrasi adalah suatu proses dimana campuran yang heterogen antara *fluida* dan partikel - partikel padatan dipisahkan pada media filter atau medium penyaring yang meloloskan *fluida* tetapi menahan partikel - partikel padatan. *Fluida* yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas, aliran yang lolos dari saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya.

Fluida mengalir melalui media penyaring karena perbedaan tekanan yang melalui media tersebut. Penyaring dapat beroperasi pada :

- Tekanan di atas atmosfer pada bagian atas media penyaring,
- Tekanan operasi pada bagian atas media penyaring,
- Vakum pada bagian bawah.

Tekanan di atas atmosfer dapat dilakukan dengan gaya gravitasi pada cairan dalam suatu kolom, dengan menggunakan pompa atau blower, atau dengan gaya sentrifugal. Dalam suatu penyaring gravitasi media penyaring bisa jadi tidak lebih baik daripada saringan (*screen*) kasar atau dengan partikel kasar seperti pasir. Penyaring gravitasi dibatasi penggunaannya dalam industri untuk suatu aliran cairan kristal kasar, penjernihan air minum, dan pengolahan limbah cair (Mc, Cabe. 1993).

2.9 Plate and Frame Filter Press



Gambar 1. Plate and Frame Filter Press

Plate dan frame filter press terdiri dari plate dan frame yang tergabung menjadi satu dengan kain saring pada tiap sisi plate. Plate memiliki saluran sehingga filtrat jernih dapat melewati tiap plate. Slurry dipompa menuju plate dan frame dan mengalir melalui saluran pada frame sehingga slurry memenuhi frame. Filtrat mengalir melalui kain saring dan padatan menumpuk dalam bentuk cake pada kain. Filtrat mengalir antara kain saring dan plate melalui saluran keluar. Filtrasi terus dilakukan hingga frame dipenuhi padatan. Kebanyakan filter memiliki saluran pengeluaran yang terpisah untuk tiap frame sehingga dapat dilihat apakah filtrat jernih atau tidak. Bila filtrat tidak jernih, mungkin disebabkan kain saring rusak atau sebab lainnya. Ketika frame sudah benar – benar terpisah plate dan frame dipisahkan dan cake dihilangkan, lalu filter dipasang lagi dan digunakan (Geankoplis, 1993).

Teknik ini mulanya digunakan untuk residu hasil industri, namun kini digunakan juga untuk *dewatering* lumpur dari WTP. Residu dari WTP akan dipompa diantara dua piringan dengan tekanan yang tinggi ($350- 1575 \text{ kN/m}^2$). Air akan melewati filter dan padatan akan tertahan. Tekanan akan bertahan hingga kandungan padatan telah mencapai kadar yang diperlukan (Aldeeb, A.A., 2000). Filtrat air tersebut akan memiliki kandungan padatan

tersuspensi kurang dari 10 mg/L (Montgomery, 1985). Teknik ini memerlukan biaya operasi dan perawatan yang tinggi bila dibandingkan dengan sistem mekanikal *dewatering* lainnya.

2.10 Pengoperasian *Plate and Frame Filter Press*

Pada filtrasi dengan pres filter horizontal, suspensi masuk pada bagian kepala melalui saluran yang terbentuk oleh lubang - lubang di bagian atas plat. Pada press filter bingkai, suspensi mengalir melalui bingkai - bingkai, sedangkan pada press filter kamar, suspensi mengalir di antara plat - plat yang masuk ke dalam ruang filtrasi yang sesungguhnya. Filtrat menerobos kedua sisi kain filter, kemudian mengalir ke belakang kain filter sepanjang alur - alur plat turun ke dalam saluran. Saluran ini terbentuk dari lubang - lubang pada plat. Pada sistem tertutup filtrat keluar di bagian kepala, sedangkan pada sistem terbuka filtrat mengalir dari masing - masing plat melalui sebuah kran atau selang ke dalam saluran terbuka yang terletak di luar alat pres.

Seringkali cara kerja sistem tertutup maupun sistem terbuka dapat diterapkan pada alat yang sama dengan memasang saluran pembuangan khusus dan kran bercabang tiga. Keuntungan filtrasi dengan saluran keluar yang terbuka adalah bila suatu kain filter mengalami kerusakan, maka gangguan ini segera dapat diatasi, sedangkan filtrasi dengan pembuangan tertutup sesuai untuk bahan - bahan yang mengandung racun dan berbau menyengat (Nicholas, P. Cheremisinoff, 1998).

2.11 *Pressure Drop*

Filtrasi adalah contoh khusus dari aliran melalui media berpori, untuk kasus-kasus di mana hambatan untuk mengalir adalah konstan. Dalam penyaringan, resistensi aliran meningkat dengan waktu sebagai media filter menjadi tersumbat atau cake filter menumpuk. Jumlah utama yang menarik adalah laju aliran melalui filter dan penurunan tekanan (*pressure drop*) di seluruh unit. Seiring berjalannya waktu selama penyaringan, laju aliran berkurang atau penurunan tekanan (*pressure drop*) meningkat. dalam apa yang disebut filtrasi tekanan konstan (*constant-pressure filtration*), penurunan tekanan dipertahankan konstan dan laju aliran memungkinkan untuk turun seiring waktu; lebih jarang, penurunan tekanan semakin meningkat untuk memberikan apa yang disebut filtrasi laju konstan (*constant-rate filtration*).

Dalam penyaringan cake, cairan melewati dua resistensi secara seri, yaitu dari cake dan dari media filter. Resistensi filter-media, yang merupakan satu-satunya resistensi dalam mengklarifikasi filter, biasanya hanya penting selama tahap awal penyaringan cake.

Resistensi cake adalah nol di awal dan meningkat dengan waktu sebagai hasil penyaringan. Jika cake dicuci setelah disaring, kedua resistensi konstan selama periode mencuci dan media filter biasanya diabaikan.

Untuk penurunan tekanan (*pressure drop*) secara keseluruhan setiap saat adalah jumlah dari tekanan turun di atas media dan cake. Jika P_a adalah tekanan inlet, P_b adalah tekanan outlet, dan P' adalah tekanan pada batas antara cake dan medium, maka:

$$\Delta P = P_a - P_b = (P_a - P') + (P' - P_b) = \Delta P_c + \Delta P_m$$

Dimana :

ΔP = Penurunan tekanan keseluruhan

ΔP_c = Penurunan tekanan cake

ΔP_m = Penurunan tekanan di atas media

(McCabe, 1993)