

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Rumah Sakit

1. Limbah Rumah Sakit

Limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas. Limbah cair rumah sakit adalah semua air buangan termasuk tinja yang berasal dari kegiatan rumah sakit yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan radioaktif. Pengamanan limbah cair adalah upaya kegiatan penanganan limbah cair yang terdiri dari penyaluran dan pengolahan dan pemeriksaan limbah cair untuk mengurangi risiko gangguan kesehatan dan lingkungan hidup yang ditimbulkan limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan kegiatan rumah sakit memiliki beban cemaran yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan hidup dan menyebabkan gangguan kesehatan manusia. Air limbah perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan, agar kualitasnya memenuhi baku mutu yang ditetapkan sesuai ketentuan undang undang (Permenkes No. 7 2019).

2. Limbah Cair Rumah Sakit

a) Sumber Limbah Cair

Menurut jenisnya limbah cair dapat dibagi menjadi tiga golongan.

Adapun sumber limbah dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sumber Limbah Menurut Jenisnya

Golongan Ekskresi Manusia	Dahak, air seni,tinja,darah, golongan ekskresi manusia
Golongan Tindakan Pelayanan	Sisa kumur, limbah cair pembersih alat medis
Golongan Penunjang Pelayanan	Limbah cair dari instalasi gizi, limbah cair dari laundry

.Sumber : Permenkes No 7 2019 Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit

b) Karakteristik Air Limbah

Karakteristik limbah cair dapat diketahui menurut sifat dan karakteristik kimia, biologis dan fisika. Studi karakteristik limbah perlu dilakukan agar dapat dipahami sifat-sifat tersebut serta konsentrasinya dan sejauh mana tingkat pencemaran dapat ditimbulkan limbah terhadap lingkungan (Dedi A, 2014). Dalam menentukan karakteristik limbah maka ada tiga jenis sifat yang harus diketahui yaitu:

1) Sifat Fisik

a) Kekeruhan

Sifat keruh air dapat dilihat dengan mata secara langsung karena ada partikel koloidal yang terdiri dari tanah liat, sisa bahan-bahan, protein dan ganggang yang terdapat dalam limbah. Kekeruhan merupakan sifat optis larutan. Sifat keruh membuat hilang nilai estetikanya (Nadia, 2010).

b) Padatan

Dalam limbah ditemukan zat padat yang secara umum diklasifikasikan kedalam dua kelompok besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel koloid dan partikel biasa. Jenis partikel dapat dibedakan berdasarkan diameternya. Jenis padatan terlarut maupun tersuspensi dapat bersifat organik dan anorganis tergantung dari mana sumber limbah. Disamping kedua jenis padatan ini adalah padatan terendap karena mempunyai diameter yang lebih besar dan dalam keadaan tenang dalam beberapa waktu akan mengendap sendiri karena beratnya. Zat padat tersuspensi yang mengandung zat-zat organik pada umumnya terdiri dari protein, ganggang dan bakteri.

c) Bau

Sifat bau limbah disebabkan karena zat-zat organik yang telah berurai dalam limbah mengeluarkan gas-gas seperti sulfida atau amoniak yang menimbulkan penciuman tidak enak yang disebabkan adanya campuran dari nitrogen, sulfur dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang dikandung limbah. Timbulnya bau yang diakibatkan limbah merupakan suatu indikator bahwa terjadi proses alamiah.

d) Temperatur

Limbah yang mempunyai temperatur panas akan mengganggu pertumbuhan biota tertentu. Temperatur yang dikeluarkan suatu limbah cair harus merupakan temperatur alami. Suhu berfungsi memperlihatkan aktivitas kimiawi dan biologis. Pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Tingkat zat oksidasi lebih besar daripada suhu tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada suhu rendah.

2) Sifat Kimia

Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pengukuran kekuatan limbah dengan COD adalah bentuk lain pengukuran kebutuhan oksigen dalam air limbah. Metode ini lebih singkat waktunya dibandingkan dengan analisis BOD. Pengukuran ini menekankan kebutuhan oksigen akan kimia dimana senyawa-senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dipecah secara biokimia. Adanya racun atau logam tertentu dalam limbah pertumbuhan bakteri akan terhalang dan pengukuran BOD menjadi tidak realistis. Untuk mengatasinya lebih tepat menggunakan analisis COD. COD adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganisme dan organisme sebagaimana pada BOD. Angka

COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat anorganik. Semakin dekat nilai BOD terhadap COD menunjukkan bahwa semakin sedikit bahan anorganik yang dapat dioksidasi dengan bahan kima. Pada limbah yang mengandung logam-logam pemeriksaan terhadap BOD tidak memberi manfaat karena tidak ada bahan organik dioksida. Hal ini bisa jadi karena logam merupakan racun bagi bakteri (Djo et al., 2017). Pemeriksaan COD lebih cepat dan sesatannya lebih mudah mengantisipasinya. Berikut jenis parameter parameter pokok limbah cair :

a) Keasaman Air

Keasaman air diukur dengan pH meter. Keasaman ditetapkan berdasarkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Air buangan yang mempunyai pH tinggi atau rendah menjadikan air steril dan sebagai akibatnya membunuh mikroorganisme air yang diperlukan untuk keperluan biota tertentu. Demikian juga makhluk-makhluk lain tidak dapat hidup seperti ikan. Air yang mempunyai pH rendah membuat air korosif terhadap bahan-bahan konstruksi besi dengan kontak air (Saputra, 2016).

b) Alkalinitas

Tinggi rendahnya alkalinitas air ditentukan oleh senyawa *karbonat, garam hidroksida, kalsium, magnesium* dan

natrium dalam air. Tingginya kandungan zat-zat tersebut mengakibatkan kesadahan dalam air. Semakin tinggi kesadahan suatu air semakin sulit air berbuih. Untuk menurunkan kesadahan air dilakukan pelunakan air. Pengukuran alkalinitas air adalah pengukuran kandungan ion $CaCO_3$, ion *Mg bikarbonat* dan lain-lain (Majid et al., 2017).

c) Lemak dan Minyak

Kandungan lemak dan minyak yang terkandung dalam limbah bersumber dari instalasi yang mengolah bahan baku mengandung minyak. Lemak dan minyak merupakan bahan organik bersifat tetap dan sukar diuraikan bakteri. Limbah ini membuat lapisan pada permukaan air sehingga membentuk selaput (Fatmawati, 2016).

d) Oksigen terlarut (DO)

Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan keadaan BOD. Semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keadaan oksigen terlarut dalam air dapat menunjukkan tanda-tanda kehidupan ikan dan biota dalam perairan. Kemampuan air untuk mengadakan pemulihan secara alami banyak tergantung pada tersedianya oksigen terlarut. Angka oksigen yang tinggi menunjukkan keadaan air semakin baik. Pada temperatur dan tekanan udara alami kandungan oksigen

dalam air alami bisa mencapai 8 mg/liter. Aerator salah satu alat yang berfungsi meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Lumut dan sejenis ganggang menjadi sumber oksigen karena proses fotosintesis melalui bantuan sinar matahari. Semakin banyak ganggang semakin besar kandungan oksigennya (Ma'arof & Hua, 2015).

e) Phospat

Kandungan phospat yang tinggi menyebabkan suburnya algae dan organisme lainnya yang dikenal dengan *eutrophikasi*. Ini terdapat pada ketel uap yang berfungsi untuk mencegah kesadahan. Pengukuran kandungan phospat dalam air limbah berfungsi untuk mencegah tingginya kadar phospat sehingga tumbuh-tumbuhan dalam air berkurang jenisnya dan pada gilirannya tidak merangsang pertumbuhan tanaman air. Kesuburan tanaman ini akan menghalangi kelancaran arus air. Pada danau suburnya tumbuh-tumbuhan air akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut (Pengkajian et al., 2015).

3) Sifat Biologi

Pada air limbah, karakteristik biologi menjadi dasar untuk mengontrol timbulnya penyakit yang dikarenakan organisme pathogen. Karakteristik biologi tersebut seperti bakteri dan mikroorganisme lainnya yang terdapat dalam dekomposisi dan

stabilitas senyawa organik (Ubaidillah, 2015).

c) Standar Baku Mutu Limbah

Baku mutu limbah cair Rumah sakit adalah suatu batas maksimal limbah cair yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari suatu kegiatan rumah sakit. Berdasarkan PermenLHK No. 68/Menlhk-Setjen/2016 Tentang Baku Mutu Limbah Domestik:

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum *
pH	-	6 – 9
BOD mg/L	mg/L	30
COD mg/L	mg/L	100
TSS mg/L	mg/L	30
Minyak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100 ml	3000

Keterangan:

*= Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pelayan masyarakat.

3. Limbah Linen Rumah Sakit

Limbah linen rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit. Linen adalah bahan/kain yang digunakan di rumah sakit untuk kebutuhan pembungkus kasur, bantal, guling, selimut, baju petugas, baju pasien dan alat instrument steril lainnya. Jenis kain yang banyak digunakan seperti katun jepang, drill, flanel, bahan anti air dan anti bakteri (Rachmawati et al., 2018).

Laundry rumah sakit adalah tempat pencucian linen rumah sakit yang dilengkapi dengan sarana penunjangnya berupa mesin cuci, alat dan desinfektan, mesin uap (*steam boiler*), pengering, meja dan mesin set. Peran linen sangat penting bagi nilai jual ruangan. Selain itu pengelolaan linen yang kurang baik dapat menyebabkan timbulnya infeksi. Jenis linen menurut kontaminasinya ada dua, yaitu linen infeksius dan linen non infeksius. Linen infeksius adalah linen yang terkena cairan tubuh pasien seperti feses, muntahan, darah dan air seni (Agustiani, 2019). Linen non infeksius adalah linen yang tidak terkena cairan tubuh manusia. Menurut nodanya, linen terbagi menjadi tiga, linen noda berat, sedang dan ringan. Meskipun linen tidak digunakan secara langsung dalam proses pengobatan namun dapat dilihat pengaruhnya jika penanganan linen tidak dikelola dengan baik akan mengakibatkan terjadinya penularan penyakit yaitu infeksi nosokomial atau yang sekarang lebih sering disebut *Health-care Associated Infections* (HAIs). HAIs merupakan infeksi yang

didapat pasien selama menjalani prosedur perawatan dan tindakan medis di pelayanan kesehatan setelah 48 jam dan 30 hari setelah keluar dari fasilitas pelayanan kesehatan (WHO, 2011).

a) Langkah – langkah pencucian linen adalah sebagai berikut :

a. Pembilasan Pertama

Dilakukan pembilasan pertama dengan air dingin untuk menghilangkan noda-noda, terutama noda darah.

b. Tahap Penyabunan

Kegiatan pencucian pokok terjadi pada tahap ini. Disarankan menggunakan air panas dengan suhu 65°C - 77°C selama 30 menit. Bleaching biasanya digunakan pada akhir penyabunan. Bahan bleaching yang digunakan adalah chlorin (100 ppm) yang mampu menghancurkan bakteri vegetatif.

c. Tahap Pembilasan Akhir

Biasanya menggunakan air panas dengan suhu antara 74°C - 77°C . Asam lemah seperti *asam asetic* atau *sodium metasilikat* seringkali juga ditambahkan untuk menghilangkan detergen yang menempel pada linen dan memulihkan linen sehingga mampu menurunkan kontaminasi. Bahan lain yang mungkin ditambahkan adalah bahan pelemas linen dan germisida.

Dengan proses pencucian ini, kontak dengan air panas dan bahan kimia akan membunuh mikroba. Tetapi dengan meningkatnya penggunaan bahan sintetis dan dengan warna yang lebih cemerlang, bahan tersebut tidak bisa dicuci dengan suhu tinggi (maksimal 50°C) dan seringkali tidak perlu menggunakan *bleaching*. Dengan demikian daya hancur terhadap mikroba juga menurun. Disamping itu, bahan sintetis tidak memerlukan waktu lama untuk kering, yang tentu saja mengurangi daya bunuh terhadap mikroba. Jadi walau tampaknya menguntungkan dengan penggunaan bahan sintetis, tetapi penurunan proses pembunuhan mikroba perlu dipertimbangkan (Mastuti et al., 2013).

b) Bahan-bahan yang digunakan dalam mencuci linen

Menurut Departemen Kesehatan dalam buku Pedoman Manajemen Linen di Rumah Sakit, bahan kimia yang dipakai dalam pencucian linen adalah :

- a. Alkali, mempunyai peran meningkatkan fungsi atau peran detergen dan serta membuka pori pada linen.
- b. Detergen, merupakan sabun pencuci untuk menghilangkan noda pada bahan linen dan mempunyai peran menghilangkan kotoran yang bersifat asam secara global.
- c. Emulfisier, mempunyai peran untuk menghilangkan noda atau kotoran yang berbentuk lemak atau minyak.

d. Softener atau pelembut, berfungsi melembutkan linen dan biasa digunakan pada proses akhir pencucian.

e. Bleach atau pemutih, berfungsi mengangkat kotoran atau noda, mencerahkan linen dan bertindak sebagai desifektan baik pada linen yang berwarna dan yang putih.

c) Limbah Cair Linen Laundry

a. Definisi Kotoran Laundry

Kotoran (*Dirt*) adalah benda yang tidak diharapkan pada textile atau permukaan lainnya. Kotoran ini biasanya terdiri dari gabungan beberapa komponen, tergantung dari jenis dan pemakaian dari kain tersebut.

b. Kotoran pada pakaian dalam (*underwear*) dan *bed line*, umumnya adalah keringat, lemak (*skin fat*), protein dan urine.

c. Kotoran pada rumah sakit laundry umumnya mengandung darah, obat, salep dan juga kotoran manusia (*feses*). Begitu pula pakaian dan textile yang digunakan di dapur, table linen termasuk napkin mempunyai kekotoran tertentu.

d. Kotoran yang larut dalam air merupakan kotoran yang dapat dibilas dengan air saja atau air dengan deterjen. Yang termasuk dalam kotoran yang larut dalam air.

d) Karakteristik Limbah Linen Laundry

Air limbah yang dihasilkan dari proses laundry mempunyai komposisi dan kandungan yang bervariasi. Hal ini disebabkan

variasi kandungan kotoran di pakaian, komposisi dan jumlah deterjen yang digunakan serta teknologi yang dipakai. Selain itu terdapat perbedaan konsentrasi antara air limbah laundry yang dihasilkan dari rumah tangga dengan jasa laundry. Untuk jasa laundry, kandungan air limbahnya mengandung deterjen dengan jumlah yang lebih sedikit, dikarenakan pemakaian yang lebih ekonomis dan juga penggunaan peralatan pelunasan air (Budiany et al., 2014). Karakteristik dari air limbah laundry yang diperoleh dari beberapa penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Air Limbah Laundry

Parameter	Eriksson <i>et al.</i>	Hoinkis	Savitri
	(2002)	(2008)	(2007)
Suhu (°C)	28-32	15-30	27
Konduktivitas (µS/cm)	190-1400	1900	1256-1335
pH	9.3-10	9-11	8.29-8.87
Kekeruhan (NTU)	50-210	-	-
Surfaktan (mg/L)	-		210.6
COD (mg/L)	725	1050	1815
BOD (mg/L)	150-380	-	1087
TSS (mg/L)	120-280	-	-
Fosfat (mg/L)	4-15	5	7.64
Total N (mg/L)	6-21	40	-

e) Mekanisme Detergen Sebagai Pembersih

Sebagai bahan aktif detergen, surfaktan yang juga disebut zat aktif permukaan (*surface active agent*) memiliki kemampuan menurunkan tegangan permukaan cairan khususnya air dari sekitar 73 dyne/cm menjadi 30 dyne/cm. Selain itu kemampuan surfaktan membentuk gelembung serta pengaruh permukaan lainnya membuat surfaktan bertindak sebagai zat pembersih dan pengemulsi dalam industri dan rumah tangga. Secara struktur, surfaktan memiliki polaritas *lipofilik* dan *hidrofilik*. Kutub *lipofilik* terletak pada rantai alkil yang bersifat larut dalam minyak atau lemak, sedangkan kutub *hidrofilik* terletak pada gugus aril (mengandung garam) yang larut dalam air. Kutub *lipofilik* cenderung muncul keluar dari fase air menghadap ke udara, sedangkan kutub *hidrofilik* menghadap ke fase air, yaitu tempat ion bermigrasi menuju batas antara air-udara yang bekerja mengurangi energi bebas permukaan sehingga tegangan permukaan berkurang (Oppusunggu et al., 2015).

Pada konsentrasi surfaktan yang cukup tinggi di air, gugus *lipofilik* saling tarik menarik dan membentuk agregat atau *micelle*, sedangkan gugus hidrofilik terdapat disebelah luar *micelle*. Dengan demikian zat yang *lipofil* dapat tertimbun dalam inti *lipofilik* dari *micelle* dan dengan cara inilah kotoran dilarutkan (*disolubilisasi*). Mekanisme tersebut di atas memungkinkan

surfaktan bertindak sebagai pembersih kotoran. Proses pembersihan oleh surfaktan terdiri atas tiga tahap, yaitu :

- a. Pembahasan (*wetting*) kotoran oleh larutan deterjen
- b. Lepasnya kotoran dari permukaan bahan
- c. Pembentukan suspensi kotoran yang stabil.

f) Kandungan Deterjen

Deterjen yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan industry menggunakan formula yang sangat kompleks yaitu lebih dari 25 bahan. Namun secara umum penyusun deterjen dikelompokkan menjadi empat, yaitu *surfaktan*, *builders*, *bleaching agent* dan bahan *adiktif* (Rahimah et al., 2016). Surfaktan berfungsi untuk mengangkat kotoran pada pakaian baik yang larut dalam air maupun yang tak larut dalam air. Setelah surfaktan, kandungan lain yang penting adalah penguat (*builders*) yang meningkatkan efisiensi surfaktan. *Builders* digunakan untuk melunakkan air sadah dengan cara mengikat mineral-mineral yang terlarut, sehingga surfaktan dapat berfungsi dengan lebih baik. Selain itu, *builders* juga membantu menciptakan kondisi keasaman yang tepat agar proses pembersihan dapat berlangsung dengan lebih baik serta membantu mendispersikan dan mensuspensikan kotoran yang telah lepas.

Senyawa kompleks *fosfat*, *natrium sitrat*, *natrium karbonat*, *natrium silikat* atau *zeolit* dan *fluorescent* sering digunakan dalam

builders. Senyawa fosfat dapat mencegah menempelnya kembali kotoran pada bahan yang sedang dicuci. Senyawa fosfat yang digunakan oleh semua merk deterjen memberikan andil yang cukup besar terhadap terjadinya proses eutrofikasi yang menyebabkan alga *blooming* (meledaknya populasi tanaman air). Formulasi yang tepat antara kompleks fosfat dengan surfaktan menjadi kunci utama kehebatan daya cuci deterjen. Menurut (Dewi et al., 2015), berdasarkan sifat ionisasi senyawa aktifnya, surfaktan diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok, yaitu :

a. Surfaktan anionic

Jenis ini memiliki sisi permukaan aktif negatif. Secara umum gugusnya adalah sulfat dan sulfonat yang dapat larut dalam air. Surfaktan yang tergolong ke dalam kelompok ini adalah *sodium dodecylbenzene sulphonate* (SDS). Surfaktan anionik banyak digunakan dalam produk pembersih pakaian dan peralatan rumah tangga, serta produk pembersih pribadi. Surfaktan jenis ini merupakan produk terbesar hingga saat ini (Putra, 2019).

b. Surfaktan kationik

Jenis ini memiliki sisi permukaan positif. Senyawa utamanya yaitu alkil dengan gugus utama ammonium. Surfaktan yang tergolong jenis ini adalah *dialkyl dimethyl ammonium chlorides* (Putra, 2019).

c. *Surfaktan nonionic*

Jenis ini merupakan produk kondensasi alkilfenol atau alkohol lemak dengan etilenoksida. Surfaktan jenis nonionik banyak pula digunakan sebagai pembersih pakaian. Pada awalnya surfaktan (senyawa aktif) yang digunakan dalam komposisi deterjen yaitu dari jenis BAS (*Branched Alkylbenzene Sulphonate*) yang memilikiantai karbon bercabang. BAS ini dikenal sebagai *hard detergent* karena sifatnya yang tahan penguraian biologis. Rantai cabang BAS inilah yang membuat BAS tidak terurai sehingga peningkatan konsentrasinya berjalan cepat. Oleh karena itu BAS dikenal sebagai senyawa pencemar yang toksik terhadap biota perairan (Putra, 2019).

4. Dampak Limbah Cair

Limbah organik mengandung sisa-sisa bahan organik, detergen, minyak dan kotoran manusia. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan limbah cair adalah sebagai berikut :

a) Gangguan Terhadap Kesehatan Manusia

Gangguan ini dapat disebabkan oleh kandungan bakteri, virus, senyawa nitrat, beberapa bahan kimia dari industri dan jenis pestisida yang terdapat dari rantai makanan, serta beberapa kandungan logam seperti merkuri, timbal dan cadmium (Muslimah, 2017).

b) Gangguan Terhadap Keseimbangan Ekosistem

Kerusakan terhadap tanaman dan binatang yang hidup pada perairan disebabkan oleh *eutrofikasi* yaitu pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan ke dalam ekosistem air (Muslimah, 2017).

c) Gangguan Terhadap Estetika dan Benda

Gangguan kenyamanan dan estetika berupa warna, bau dan rasa. Kerusakan benda yang disebabkan oleh garam-garam terlarut seperti korosif atau karat, air berlumpur, menyebabkan menurunnya kualitas tempat-tempat rekreasi dan perumahan akibat bau serta eutrofikasi (Muslimah, 2017).

5. Proses Pengolahan Limbah Cair Secara Kimia

Pengolahan limbah cair dengan proses kimia merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam proses pengolahan limbah cair. Bahkan di dalam proses fisika dan biologi pun di dalamnya sering terjadi proses kimia secara bersamaan. Untuk limbah yang mengandung COD tinggi, jelas proses pengolahannya adalah proses kimia (Rahardjo, 2002). Pengolahan secara kimia pada IPAL biasanya digunakan untuk netralisasi limbah asam maupun basa, memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tak terlarut, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak, meningkatkan efisiensi instalasi flotasi dan filtrasi, serta mengoksidasi warna dan racun (Rahayu & Hadi, 1970).

a) Netralisasi

Perlakuan netralisasi ini dilakukan untuk menghilangkan *aciditas* atau *alkalinitas*. Pada umumnya, semua treatment air limbah dengan pH yang terlalu rendah atau tinggi membutuhkan proses netralisasi sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan.

b) Presipitasi

Presipitasi adalah pengurangan bahan-bahan terlarut dengan cara penambahan bahan-bahan kimia terlarut yang menyebabkan terbentuknya padatan-padatan (flok dan lumpur). Dalam pengolahan air limbah, presipitasi digunakan untuk menghilangkan logam berat, sulfat fluorida dan garam-garam besi.

c) Koagulasi dan Flokulasi

Dalam pengolahan limbah cair, proses ini sangatlah mempunyai peranan yang sangat penting. Oleh sebab itu, faktor-faktor yang menunjang dalam proses koagulasi dan flokulasi haruslah diperhatikan. Pemilihan zat koagulan harus berdasar pertimbangan antara lain jumlah dan kualitas air yang akan diolah, kekeruhan, metode penyaringan serta sistem pembuangan lumpur endapan. Jenis koagulan antara lain Alum (Aluminium Sulfat), Ferro Sulfat, Poly Aluminium Chlorida (PAC) dan lain – lain (Rahimah et al., 2016).

B. Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) Dalam Koagulasi dan Floktuasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil ini, penggumpalan partikel tidak terjadi. Melalui proses koagulasi terjadi destabilisasi sehingga partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi besar (. et al., 2011).

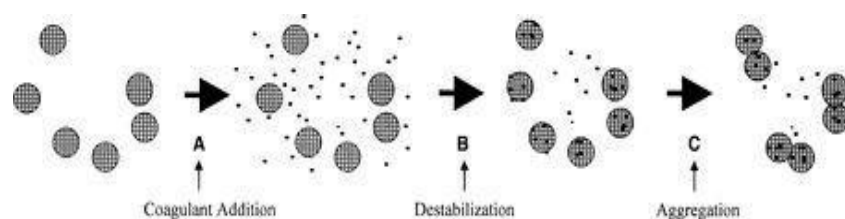
1. Mekanisme Proses Koagulasi

Proses koagulasi merupakan salah satu cara pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan yang terkandung didalamnya. Koagulasi merupakan proses destabilisasi muatan partikel koloid, *suspended solid*, serta padatan tidak mengendap, dengan penambahan koagulan disertai dengan pengadukan cepat untuk mendispersikan bahan kimia secara merata. Dalam suatu suspensi, koloid tidak mengendap (bersifat stabil) dan terpelihara dalam keadaan terdispersi, karena mempunyai gaya elektrostatis yang diperolehnya dari ionisasi bagian permukaan serta adsorpsi ion-ion dari larutan sekitar (Yuliati, 2006).

Pada dasarnya koloid terbagi dua, yakni koloid *hidrofilik* yang bersifat mudah larut dalam air (*soluble*) dan koloid *hidrofobik* yang bersifat sukar larut dalam air (*insoluble*). Dispersi koloid hidrofobik biasa terjadi secara fisik atau kimia dan tidak bisa terdispersi kembali secara spontan di dalam

air. Afinitas koloid hidrofobik terhadap air sangat kecil sehingga koloid ini tidak memiliki lapisan air yang cukup berarti. Ukuran berbagai komponen yang bisa terkandung dalam padatan yang tersuspensi di dalam air dapat bervariasi. Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, maka koagulan akan terdisosiasi dan ion logam akan mengalami hidrolisis dan menghasilkan ion kompleks logam hidroksida yang bermuatan positif. Komplek-komplek logam hidroksida ini merupakan ion-ion yang bermuatan sangat positif dan teradsorpsi pada permukaan koloid. Ini dapat menyebabkan terjadinya reaksi dalam air, antara lain:

- a) Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik di mana gaya *van der Waals* dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok;
- b) Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid;
- c) Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.



Gambar 2.1. Skematik proses koagulasi

(Sumber: <http://bulekbasandiang.wordpress.com>)

Pengurangan potensial elektrostatis yang terjadi dalam proses koagulasi bisa disebut dengan destabilisasi. Mekanisme proses destabilisasi ini terdiri dari beberapa langkah antara lain:

- 1) Pengurangan muatan permukaan partikel dengan menekan lapisan muatan ganda (*double-charge layer*).
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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. Tindakan ini dapat dilakukan untuk meningkatkan efektifitas pengolahan (Herlambang, 2009).

Peningkatan efektifitas dalam proses koagulasi dapat ditinjau dari faktor- faktor yang dapat mempengaruhi jalannya proses. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses koagulasi air, antara lain :

- a) Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau dan kesadahan jumlah dan karakteristik koloid;
- b) Derajat keasaman air (pH);
- c) Pengadukan cepat, dan kecepatan *paddle*;
- d) Temperatur air;
- e) Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur;
- f) Karakteristik ion-ion dalam air.

2. Macam-Macam Koagulan

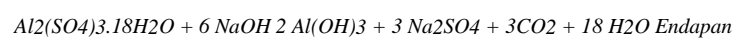
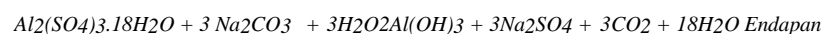
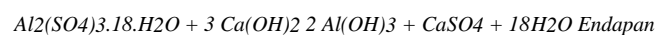
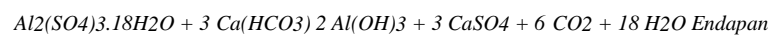
Koagulan adalah bahan kimia yang mempunyai kemampuan menetralisasi muatan partikel koloid dan mampu untuk mengikat partikel

koloid tersebut membentuk gumpalan atau flok. Efektifitas dari kerja koagulan tergantung dari pH dan dosis dari pemakaian serta tergantung pula dari sifat air limbah yang diolah (Putri & Soewondo, 2010).

Pemilihan zat koagulan harus berdasarkan pertimbangan antara lain jumlah dan kualitas air yang akan diolah, kekeruhan air baku, metode filtrasi serta sistem pembuangan lumpur endapan.

a) *Aluminium sulfat (Alum), $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$*

Garam Aluminium Sulfat jika ditambahkan dalam air dengan mudah akan larut dan bereaksi dengan HCO_3^- menghasilkan Aluminium Hidroksida dengan adanya hidroksida aluminium yang bermuatan positif maka akan terjadi tarik menarik antara partikel koloid yang bermuatan negatif dengan partikel aluminium hidroksida sehingga terbentuk gumpalan partikel yang makin lama makin besar dan berat serta cepat mengendap. Selain itu juga partikel zat organik tersuspensi, zat anorganik, bakteri dan mikro organisme yang lain dapat bersama-sama membentuk gumpalan partikel atau flok yang akan mengendap bersama-sama. Jika alkalinitas air tidak cukup untuk dapat bereaksi dengan Alum, maka dapat ditambahkan kapur atau soda abu agar reaksi dapat berjalan dengan baik.



Aluminium Sulfat atau Alum, diproduksi dalam dalam bentuk padatan atau cairan. Banyak dipakai karena harganya relatif murah dan efektif untuk mengolah air dengan kekeruhan yang tinggi dan baik dipakai bersama-sama dengan zat koagulan pembantu. Dibandingkan dengan garam besi Alum tidak menimbulkan pengotoran yang serius pada dinding bak. Salah satu kekurangannya flok yang terjadi lebih ringan dibanding flok koagulan garam besi dan selang pH lebih sempit yaitu 5,5 – 8,5. Alum padat umumnya dipakai dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 5 – 10 % untuk skala kecil dan untuk skala besar 20 – 30 %. Alum cair cara pengerjaan dan transportasi mudah tetapi pada suhu rendah dan konsentrasi tinggi akan terjadi pengkristalan Al_2O_3 yang menyebabkan pada penyumbatan pada perpipan (Putri & Soewondo, 2010).

b) Poly Aluminium Chloride (PAC)

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan bentuk polimerisasi kondensasi dari garam aluminium, berbentuk cair dan merupakan koagulan yang sangat baik. PAC mempunyai daya koagulasi lebih besar daripada alum dan dapat menghasilkan flok yang stabil walaupun pada suhu yang rendah dan pengerjaannya pun mudah). *Poly Alumunium Choride* (PAC) digunakan untuk mengurangi kebutuhan akan penyesuaian pH untuk pengolahan, dan digunakan jika pH badan air penerima lebih tinggi dari 7,5. *Poly Alumunium Choride* (PAC) mengalami hidrolisis lebih mudah dibandingkan alum, mengeluarkan polihidroksida yang memiliki rantai molekul panjang dan muatan listrik besar dari larutan sehingga membantu

memaksimalkan gaya fisis dalam proses flokulasi. Pada air yang memiliki kekeruhan sedang sampai tinggi, PAC memberikan hasil koagulasi yang lebih baik dibandingkan alum. Pembentukan flok dengan PAC termasuk cepat dan lumpur yang muncul lebih padat dengan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan alum. Oleh karenanya, PAC merupakan pengganti alum padat yang efektif dan berguna karena dapat menghasilkan koagulasi air dengan kekeruhan yang berbeda dengan cepat, menggenerasi lumpur lebih sedikit dan meninggalkan lebih sedikit residu aluminium pada air yang diolah (Anton Budiman, Candra Wahyudi, Wenny Irawati, 2008).

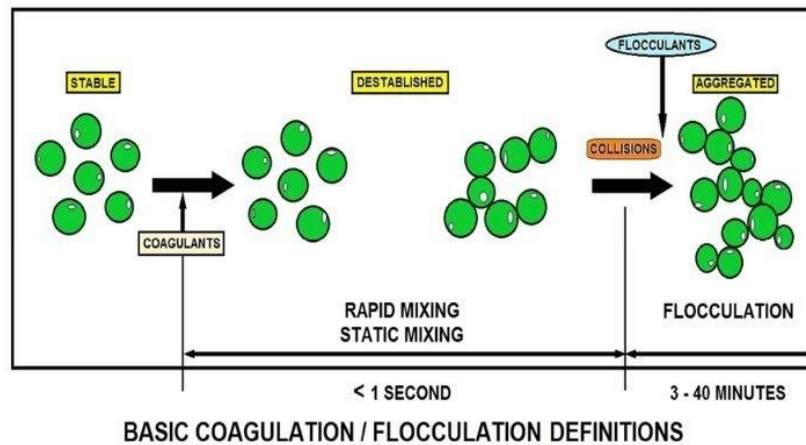
3. Flokulasi Kimia

Menurut Siregar, flokulasi dimaksudkan untuk meningkatkan kontak antara partikel koloid yang terdistabilisasi sehingga dapat terjadi penggabungan antara mikro flok menjadi flok yang lebih besar. Flokulasi adalah proses lambat yang bergerak secara terus menerus selama partikel-partikel tersuspensi bercampur di dalam air, sehingga partikel akan menjadi lebih besar dan bergerak menuju proses sedimentasi. Ide dasar dari flokulasi adalah untuk mengendapkan flok-flok dengan penambahan flokulan. Flokulasi merupakan suatu kombinasi pencampuran dan pengadukan atau agitasi yang menghasilkan agregasi yang akan mengendap setelah penambahan flokulan. Flokulasi adalah proses fisika yang mana air yang terpolusi diaduk untuk meningkatkan tumbukan interpartikel yang memacu pembentukan partikel-partikel besar sehingga dalam waktu 1-2 jam partikel-

partikel tersebut akan mengendap (Yuliati, 2006).

Proses flokulasi dalam pengolahan air bertujuan untuk mempercepat proses penggabungan flok-flok yang telah dibibitkan pada proses koagulasi. Partikel-partikel yang telah distabilkan selanjutnya saling bertumbukan serta melakukan proses tarik-menarik dan membentuk flok yang ukurannya makin lama makin besar serta mudah mengendap. Gradien kecepatan merupakan faktor penting dalam desain bak flokulasi. Jika nilai gradien terlalu besar maka gaya geser yang timbul akan mencegah pembentukan flok, sebaliknya jika nilai gradien terlalu rendah/tidak memadai maka proses penggabungan antar partikulat tidak akan terjadi dan flok besar serta mudah mengendap akan sulit dihasilkan. Untuk itu nilai gradien kecepatan proses flokulasi dianjurkan berkisar antara 90/detik hingga 30/detik (Permatasari T J & Erna Apriliani, 2013).

Untuk mendapatkan flok yang besar dan mudah mengendap maka bak flokulasi dibagi atas tiga kompartemen, dimana pada kompartemen pertama terjadi proses pendewasaan flok, pada kompartemen kedua terjadi proses penggabungan flok dan pada kompartemen ketiga terjadi pemadatan flok.



Gambar 2.2 Proses Pembentukan Flok

4. *Poly Aluminium Chloride (PAC)*

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan salah satu jenis koagulan anorganik derivat dari koagulan berbasis aluminium, PAC telah dikembangkan dan digunakan pada proses pengolahan air dan air limbah sejak 1980-an diseluruh dunia (Sari, 2016). Semua Derivat koagulan aluminium, kecuali natrium aluminat ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$) merupakan garam asam. Oleh karena itu penggunaan pac dalam pengolahan air limbah akan menurunkan pH air limbah tersebut. PAC yang memiliki rumus kimia $\text{Al}_{12}\text{Cl}_{12}(\text{OH})_{24}$, merupakan hidrolisis parsial dari larutan aluminium klorida. Mekanisme kerja pac adalah dengan melakukan pengurangan muatan listrik dalam air limbah. Didalam air PAC akan terasosiasi melepaskan kation Al^{3+} yang akan menurunkan zeta potensial dari partikel. Sehingga gaya tolak menolak antara partikel menjadi berkurang, akibatnya penambahan gaya mekanis seperti pengadukan akan mempermudah terjadinya tumbukan yang akan dilanjutkan dengan

penggabungan partikel partikel yang akan membentuk flok yang berukuran lebih besar (Notoadmodjo, 2004).

Poly Aluminium Chloride mempunyai derajat polimerisasi yang tinggi, suatu bentuk polimer anorganik dengan bobot molekul yang besar. *Poly Aluminium Chloride* sangat baik digunakan untuk air yang mempunyai alkalinitas rendah yang membutuhkan penghilang warna dan waktu reaksi yang cepat. Bentuk PAC dapat berupa cairan jernih kekuningan atau serbuk berwarna kekuningan. *Poly Aluminium Chloride* mengandung Al_2O_3 sebanyak 10-12% dan kandungan basa minimal 50% (Anugrah, 2013).

Beberapa keunggulan yang dimiliki PAC dibanding koagulan lainnya adalah:

1. *Poly Aluminium Chloride* dapat bekerja di tingkat pH yang lebih luas, dengan demikian tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH, terkecuali bagi air tertentu.
2. *Poly Aluminium Chloride* tidak menjadi keruh bila pemakaiannya berlebihan, sedangkan koagulan yang lain (seperti aluminium sulfat, besi klorida dan fero sulfat) bila dosis berlebihan bagi air yang mempunyai kekeruhan yang rendah akan bertambah keruh. Jika digambarkan dengan suatu grafik untuk PAC adalah membentuk garis linear artinya jika dosis berlebih maka akan didapatkan hasil kekeruhan yang relatif sama dengan dosis optimum sehingga penghematan bahan kimia dapat dilakukan.
3. Kandungan belerang dengan dosis cukup akan mengoksidasi

senyawa karboksilat rantai siklik membentuk alifatik dan gugusan rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana sehingga mudah untuk membentuk flok.

4. Kandungan basa yang cukup akan menambah gugus hidroksil dalam air sehingga penurunan pH tidak terlalu ekstrim sehingga penghematan dalam penggunaan bahan untuk netralisasi dapat dilakukan.
5. *Poly Aluminium Chloride* lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa ini diakibatkan dari gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid yang ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolite sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat, penambahan gugus hidroksil kedalam rantai koloid yang hidrofobik akan menambah berat molekul, dengan demikian walaupun ukuran kolam pengendapan lebih kecil atau terjadi *over-load* bagi instalasi yang ada, kapasitas produksi relatif tidak terpengaruh (Anton Budiman, Candra Wahyudi, Wenny Irawati, 2008).

C. *Total Tersuspensi Solid (TSS)*

Total suspended solid atau padatan tersuspensi total (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μ m atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap. TSS terdiri dari partikel-partikel yang ukuran

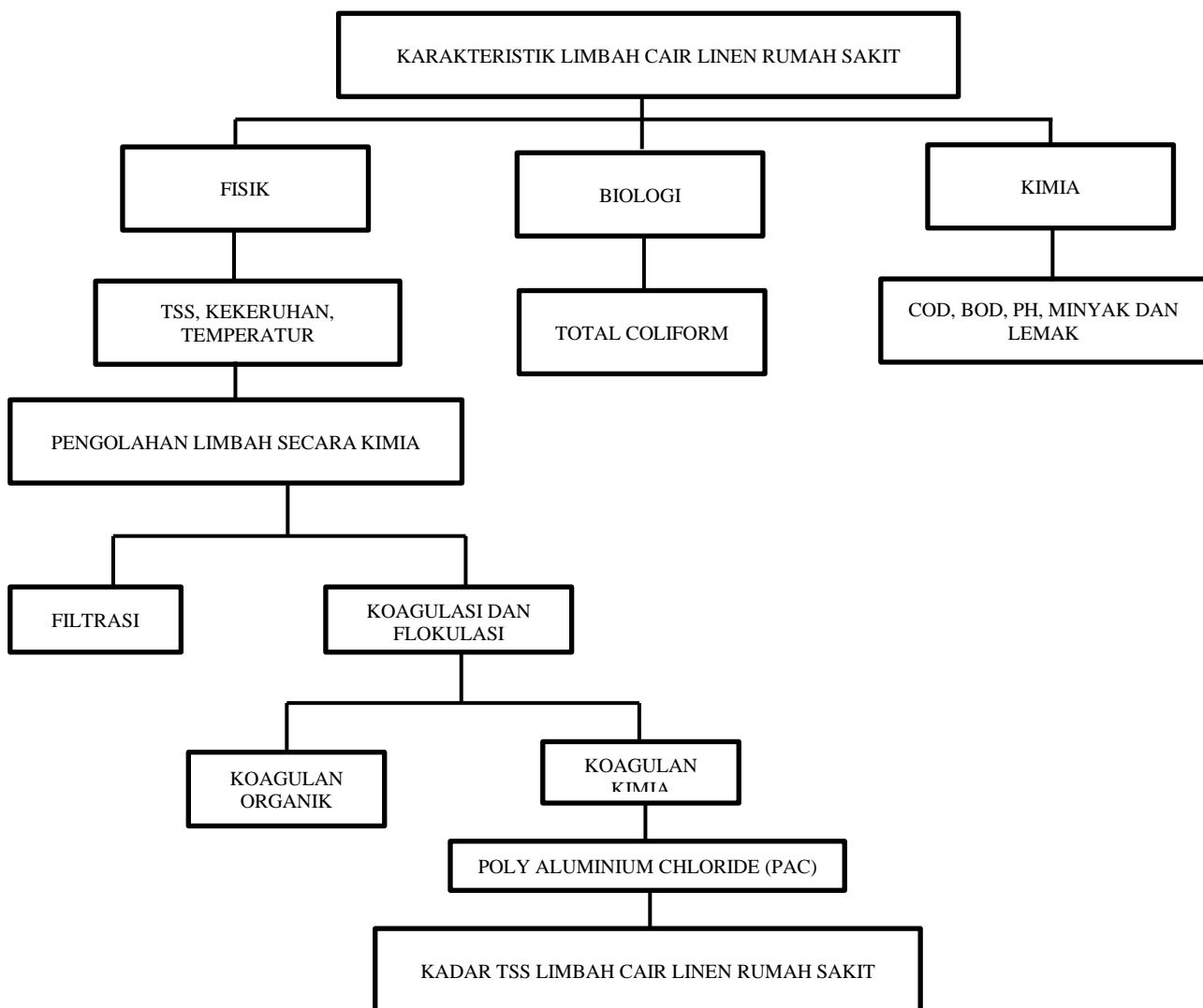
maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme dan sebagainya (Hidayat et al., 2016).

TSS merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan (Hidayat et al., 2016). Penetrasi cahaya matahari ke permukaan dan bagian yang lebih dalam tidak berlangsung efektif akibat terhalang oleh zat padat tersuspensi, sehingga fotosintesis tidak berlangsung sempurna. TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan. Oleh karena itu nilai kekeruhan tidak dapat dikonversi ke nilai TSS.

Kekeruhan sendiri merupakan kecenderungan ukuran sampel untuk menyebarkan cahaya. Sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel tersuspensi dalam sampel. Kekeruhan adalah murni sebuah sifat optik. Pola dan intensitas sebaran akan berbeda akibat perubahan dengan ukuran dan bentuk partikel serta materi. Sebuah sampel yang mengandung 1.000 mg/L dari fine talcum powder akan memberikan pembacaan yang berbeda kekeruhan dari sampel yang mengandung 1.000 mg/L coarsely ground talcum. Kedua sampel juga akan memiliki pembacaan yang berbeda kekeruhan dari sampel mengandung 1.000 mg/L ground pepper, meskipun tiga sampel tersebut mengandung nilai TSS yang sama.

D. Kerangka Teori

Dari uraian tinjauan pustaka di atas pengolahan limbah dapat dilakukan dengan berbagai metode, secara singkat dapat di dibuat bagan seperti dalam Bagan 2.1



BAGAN 2.1 KERANGKA TEORI PENELITIAN
(B. & Mallongi, 2018)