

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelolaan Sampah

Sampah adalah barang yang dianggap sudah tidak terpakai dan dibuang oleh pemilik/pemakai sebelumnya, tetapi bagi sebagian orang masih bisa dipakai jika dikelola dengan prosedur yang benar (Panji Nugroho, 2013). Pada UU No.18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, dijelaskan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah yang diolah berdasar Undang-Undang, yaitu :

- a) Sampah rumah tangga, berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
- b) Sampah sejenis rumah tangga, berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan lainnya.
- c) Sampah spesifik, berasal dari sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun, yang timbul akibat bencana, puing bongkaran bangunan, dan lainnya.

Faktor yang menyebabkan penumpukan sampah adalah volume sampah yang sangat besar sehingga melebihi kapasitas daya tampung tempat pembuangan sampah akhir (TPA). Volume sampah yang sangat banyak ini bisa disebabkan oleh beberapa hal seperti jumlah penduduk yang semakin tahun bertambah, semakin banyaknya penggunaan barang sekali pakai, dan adanya kemajuan teknologi juga ikut menyumbang jumlah timbulan sampah yang ada, hal ini dikarenakan semakin bervariasinya bahan baku yang digunakan dapat menambah jumlah dan jenis timbulan sampah yang dihasilkan.

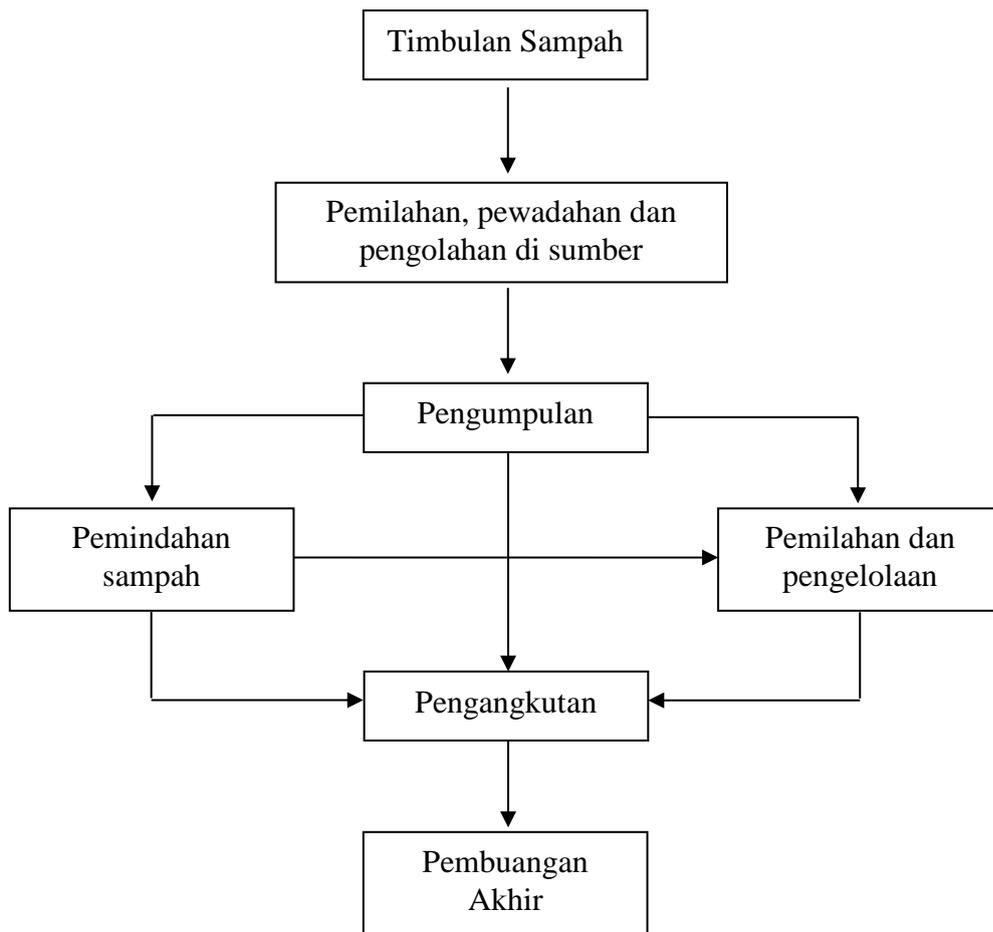
Sampah yang telah dipilah dapat didaur ulang di tempat sumber sampah atau dapat dibawa atau dijual untuk dilakukan proses daur ulang di industri daur ulang. Sampah tersebut dapat pula dipakai ulang sebelum diangkut ke TPS atau dijadikan sebagai kompos di daerah sumber sampah. Sampah dari sumber juga dapat dibawa ke TPS terdekat untuk dikumpulkan dan dilakukan pemilahan lanjutan, selanjutnya diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Opsi lain yang dapat dilakukan yaitu pemilahan sampah dilakukan di TPA. Sebagian sampahnya dapat didaur ulang dan dibuat kompos yang dapat dijual ke konsumen, sementara sisa atau residunya dapat ditimbun dengan metode *sanitary* landfill. Pengelolaan sampah yang

baik bisa mengurangi jumlah volume timbunan yang ada pada TPA dan dapat membantu untuk menekan dampak negatif sampah terhadap lingkungan.

Pengelolaan sampah terbagi menjadi 2 kelompok utama, sebagai berikut :

- a) Pengurangan Sampah (*waste minimization*), terdiri pembatasan terjadinya kegiatan yang menghasilkan sampah, guna-ulang, dan daur-ulang
- b) Penanganan Sampah (*waste handling*), terdiri dari :
 1. Pemilahan, pemisahan sampah sesuai jenis, jumlah, atau sifat sampah
 2. Pengumpulan, pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara.
 3. Pengangkutan, membawa sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu ke tempat pemrosesan akhir.
 4. Pengolahan, mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.
 5. Pemrosesan akhir sampah, pengembalian hasil sampah atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke lingkungan dalam kondisi aman.

Teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan yang terdiri dari kegiatan pewadahan sampai dengan pembuangan akhir sampah harus bersifat terpadu dengan melakukan pemilahan sejak dari sumbernya, berikut skema teknik operasional pengelolaan sampah menurut SNI 19-2454-2002.



Gambar 2. 1 : Diagram Teknik Operasional Pengelolaan Persampahan

(Sumber : SNI 19-2454-2002)

2.2 Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Tempat Pembuangan Akhir adalah tempat dimana sampah mencapai tahap akhir setelah dilakukan tahap pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. Beberapa syarat dalam pembangunan tempat pembuangan akhir adalah tempat pembuangan akhir tidak boleh dibangun dekat dengan sumber air minum atau sumber lainnya yang digunakan oleh manusia, tidak pada tempat yang mudah terkena banjir, dan jauh dari tempat tinggal manusia dengan jarak 2 km dari perumahan penduduk (Azrul, 1983). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2013, disebutkan bahwa kriteria jarak TPA dengan beberapa kawasan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 : Jarak TPA dengan beberapa kawasan

Uraian	Kriteria
Jarak TPA/TPST dengan permukiman sekitar	500 m – 1 km
Jarak TPA/TPST dengan sungai, pantai	100 m dari peil banjir 25 tahun
Jarak TPA/TPST dengan lapangan terbang	a. Harus > 3000 m untuk penerbangan turbo Jet
	b. Harus > 1500 m untuk jenis lain
Jarak TPA/TPST dengan pusat kota	25 km
Jarak pusat pelayanan	-

Beberapa TPA di Indonesia masih menerapkan sistem *Open Dumping*. *Open Dumping* dipilih karena biaya operasi yang dikeluarkan sedikit, dan cara pengaplikasiannya yang mudah. Namun, beberapa permasalahan telah timbul akibat sistem *Open Dumping*, menurut (Enri Damanhuri, 1995) yaitu :

a) Pandangan dan bau yang tidak sedap

Sistem *Open Dumping* yaitu sampah dibuang dan dibiarkan terbuka, apabila jumlah timbunan sampah semakin meningkat, selain mengganggu estetika juga akan menimbulkan bau yang tidak sedap.

b) Pencemaran leachate atau lindi

Tidak adanya pipa-pipa untuk menyalurkan air lindi bisa menyebabkan pencemaran air tanah, dikarenakan air lindi tersebut bisa merembes ke dasar tanah.

c) Kebakaran

Kebakaran terjadi karena ledakan gas metan yang dihasilkan timbunan sampah. Apabila dipasang pipa-pipa untuk menyalurkan energi yang dihasilkan oleh timbunan sampah, tentunya kebakaran tidak akan terjadi.

2.3 Metode Pengelolaan Sampah Akhir

Menurut Wahid Iqbal dan Nurul C. (2009: 279-280) tentang tahap pengelolaan dan pemusnahan sampah dilakukan dengan 2 metode, yaitu:

A. Metode yang memuaskan

- 1) Metode *Sanitary Landfill* (lahan urug saniter), yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara menimbun sampah di tanah kemudian ditutup dan dipadatkan. Diperlukan lahan yang luas dan tanah untuk menimbun sampah, serta alat-alat berat untuk memadatkan sampah.
- 2) *Incineration* (dibakar), yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara membakar di dalam tungku khusus. Kelebihan menggunakan *incinerator* dapat memperkecil volum sampah sampai satu per tiga, dan tidak memerlukan lahan yang luas, namun kekurangan penggunaan metode ini adalah memerlukan biaya yang besar.
- 3) *Composting* (dijadikan pupuk), yaitu mengelola sampah yang ada menjadi pupuk kompos; khususnya untuk sampah organik.

B. Metode yang tidak memuaskan

- 1) Metode *Open Dumping*, yaitu metode pembuangan sampah yang dilakukan dengan cara sampah ditimbun dan dibiarkan terbuka, tanpa dilakukan penutupan. Metode seperti ini sama sekali tidak memperhatikan sanitasi lingkungan. Timbunan menimbulkan bau yang tidak sedap, akibat pembusukan sampah organik.
- 2) Metode *Dumping in Water*, yaitu sampah dibuang ke dalam air. Metode seperti ini dapat menyebabkan rusaknya ekosistem air. Air menjadi kotor dan warnanya berubah, serta dapat menimbulkan penyakit.
- 3) Metode *Burning on premises (individual incineration)* yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara dibakar di rumah masing-masing.

Sedangkan menurut SNI 19-2454-2002 tentang Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, secara umum teknologi pengolahan sampah dibedakan menjadi 3 metode, yaitu *Open Dumping*, *Sanitary Landfill* (Lahan Urug Saniter), dan *Controlled Landfill* (Penimbunan terkendali). Untuk *Controlled Landfill* merupakan perbaikan atau peningkatan dari cara *Open Dumping* tetapi belum sebaik *Sanitary Landfill*, yaitu sampah ditutup dengan lapisan tanah yang dilakukan setelah TPA penuh yang dipadatkan atau setelah mencapai periode tertentu.

Terdapat beberapa alasan mengapa metode *landfilling* (pengurugan) masih sering digunakan sampai sekarang:

- a) Tidak semua limbah mempunyai nilai ekonomis untuk di daur ulang.
- b) Teknologi pengolahan limbah seperti *incinerator* atau kimia tetap menghasilkan residu yang harus ditangani lebih lanjut.
- c) Teknologi pengelolaan limbah seperti reduksi di sumber, daur-ulang, daur-pakai atau minimasi sampah, tidak dapat menyingkirkan sampah secara menyeluruh.

Tabel 2. 2 : Perbandingan Skema Lahan Urug

Skema Lahan Urug	Kelebihan	Kekurangan
<i>Open Dumping</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Teknis pelaksanaan mudah • Personil lapangan relatif sedikit • Biaya operasi dan perawatan yang relatif rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi pencemaran udara oleh gas, bau, dan debu • Pencemaran air tanah oleh air lindi • Mengurangi estetika lingkungan • Lahan tidak dapat digunakan kembali • Resiko kebakaran cukup besar
<i>Controlled Landfill</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Lahan dapat digunakan kembali setelah dipakai • Estetika lingkungan cukup baik 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya operasi dan perawatan cukup besar • Operasi lapangan relatif lebih sulit • Memerlukan personil lapangan yang cukup terlatih
Skema Lahan Urug	Kelebihan	Kekurangan
<i>Sanitary Landfill</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Timbulan gas metan dan air lindi terkontrol dengan baik, sehingga tidak mencemari lingkungan • Lahan dapat digunakan kembali • Fleksibel terhadap fluktuasi kuantitas sampah • Dapat menerima berbagai tipe sampah 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi sistem pelapisan dasar (liner) yang rumit • Banyak biaya yang dikeluarkan seperti, biaya pipa untuk gas metan, dan biaya pipa untuk air lindi • Jika operasi tidak sesuai dapat berubah seperti metode <i>open dumping</i>

Sumber : (Damanhuri, 2004)

2.4 Lindi (*Leachate*)

2.4.1 Pengertian Lindi

Lindi yaitu cairan yang dikeluarkan dari sampah akibat proses degradasi biologis. Lindi juga dapat pula didefinisikan sebagai air atau cairan lainnya yang telah tercemar sebagai akibat kontak dengan sampah (Rustiawan *et al.*, 1993).

Lindi didefinisikan sebagai suatu cairan yang dihasilkan dari pemaparan air hujan pada timbunan sampah. Dalam kehidupan sehari-hari lindi ini dapat dianalogikan seperti seduhan air teh. Lindi membawa materi tersuspensi dan terlarut yang merupakan produk degradasi sampah. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut. Air lindi pada umumnya mengandung senyawa-senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, sulfat, tanat dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, kalsium, magnesium, khlor, sulfat, fosfat, fenol, nitrogen dan senyawa logam berat) yang tinggi. Konsentrasi dari komponen-komponen tersebut dalam air lindi bisa mencapai 1000 sampai 5000 kali lebih tinggi dari pada konsentrasi dalam air tanah (Maramis, 2008).

Cairan pekat dari TPA yang berbahaya terhadap lingkungan dikenal dengan istilah lindi atau air lindi. Cairan ini berasal dari proses perkolasi/percampuran (umumnya dari air hujan yang masuk ke dalam tumpukan sampah), sehingga bahan-bahan terlarut dari sampah akan terekstraksi atau berbaur. Cairan ini harus diolah dari suatu unit pengolahan aerobik atau anaerobik sebelum dibuang ke lingkungan. Tingginya kadar COD dan ammonia pada lindi sampah (bisa mencapai ribuan mg/L), sehingga pengolahan lindi sampah tidak boleh dilakukan sembarangan (Machdar, 2008).

Menurut Aziz (2010), lindi adalah larutan yang terjadi akibat bercampurnya air limpasan hujan (baik melalui proses infiltrasi maupun proses perkolasi) dengan sampah yang telah membusuk dan mengandung zat tersuspensi yang sangat halus serta mikroba patogen. Lindi dapat menyebabkan kontaminasi yang potensial baik bagi air permukaan maupun air tanah. Hal ini diakibatkan karena kandungan BOD yang tinggi yaitu sekitar 3.500 mg/L.

2.4.2 Proses Pembentukan Lindi Sampah

TPA sampah merupakan suatu tempat pembuangan sampah bagi penduduk di kota maupun di pinggiran kota. Setiap hari berbagai jenis sampah penduduk diangkut dari bak-bak sampah yang terdapat di kota dan pinggiran kota, kemudian ditumpuk di TPA.

Beberapa bahan organik yang ada di TPA sampah bersifat mudah urai (*biodegradable*) umumnya tidak stabil dan cepat menjadi busuk karena mengalami proses degradasi menghasilkan zat-zat hara, zat-zat kimia toksik, dan bahan-bahan organik sederhana. Sampah pada timbulannya akan mengalami proses dekomposisi yang ditandai dengan perubahan fisis, biologis, dan kimiawi. Selanjutnya akan menimbulkan bau yang sangat menyengat dan mengganggu (Samorn, 2002).

Lindi terbentuk di setiap lokasi pembuangan sampah. Pembentukan lindi merupakan hasil dari infiltrasi dan perlokasi (perembesan air dalam tanah) dari air hujan, air tanah, air limbah atau air banjir yang menuju dan melalui lokasi pembuangan sampah. Lindi memiliki karakteristik tertentu, hal ini disebabkan limbah yang dibuang pada lokasi pembuangan sampah berasal dari berbagai sumber yang berbeda dengan tipe limbah yang berbeda pula. Menurut Aziz (2010), dekomposisi yang terjadi pada TPA sampah dipengaruhi oleh pemadatan, kelembaban, kehadiran materi penghambat, laju pengaliran air, temperatur, tersedianya O₂, populasi mikrobiologis yang dipengaruhi keadaan tanah penutup, dan tipe air sintesa yang terjadi, sifat-sifat heterogenisasi sampah, sifat-sifat fisik, kimiawi, dan biologis.

Iklm merupakan faktor penting yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas lindi. Hujan menjadi *fase transport* untuk pencucian dan migrasi kontaminan dari tumpukan sampah, juga mempengaruhi biologis. Demikian halnya dengan umur tumpukan sampah, juga mempengaruhi kualitas lindi dan gas yang terbentuk. Perubahan kualitas lindi dan gas menjadi parameter utama untuk mengetahui tingkat stabilisasi tumpukan sampah. Kulikowska dan Kilimiuk (2008), melaporkan bahwa polutan utama dalam lindi adalah bahan organik dan amonia, dimana jika usia TPA meningkat maka konsentrasi organik (COD) dalam lindi menurun dari 1800 mg/L pada tahun kedua dan pada tahun keenam menurun menjadi 610 mg/L. Sementara itu, produksi air lindi akan berlangsung semenjak suatu tempat pembuangan akhir digunakan sampai sekitar 5 sampai 6 tahun setelah tempat pembuangan akhir sampah dinyatakan ditutup. Berikut adalah baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2016 :

Tabel 2. 3 : Baku Mutu Lindi (*Leachate*)

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

2.4.3 Parameter Fisika dan Kimia

A. Parameter Fisika

1) Suhu

Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu dapat mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga dapat menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, seperti O₂, CO₂, dan N₂ (Effendi, 2003).

2) TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan Total Tersuspensi (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

B. Parameter Kimia

1) pH

Nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan apakah perairan tersebut bersifat asam atau basa. Nilai pH air lindi pada tempat pembuangan sampah perkotaan berkisar antara 1,5 – 9,5.

2) DO (*Dissolved oxygen*)

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) merupakan konsentrasi gas oksigen yang terlarut dalam air. Faktor yang mempengaruhi jumlah oksigen terlarut di dalam

air adalah jumlah kehadiran bahan organik, suhu, aktivitas bakteri, kelarutan, fotosintesis dan kontak dengan udara (Effendi, 2003).

3) BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*)

Biochemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air pada keadaan aerobik yang diinkubasi pada suhu 20°C selama 5 hari, sehingga sering disebut BOD₅. Nilai BOD₅ ini juga digunakan untuk menduga jumlah bahan organik di dalam air limbah yang dapat dioksidasi dan akan diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses biologi (Fathiras, 2011).

4) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik yang terdapat di perairan, menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan dalam mengoksidasi air sampel (Boyd, 1982). Bila BOD memberikan gambaran jumlah bahan organik yang dapat terurai secara biologis (bahan organik mudah terurai, *biodegradable organic matter*), maka COD memberikan gambaran jumlah total bahan organik yang mudah terurai maupun yang sulit (Hariyadi, 2001).

5) Amonia total

Amonia pada perairan dihasilkan oleh proses dekomposisi, reduksi nitrat oleh bakteri, kegiatan pemupukan dan ekskresi organisme yang ada di dalamnya. Amonia (NH₃) yang disebut juga nitrogen amonia dihasilkan dari pembusukan zat-zat organik oleh bakteri. Setiap amonia yang dibebaskan ke suatu lingkungan akan membentuk reaksi keseimbangan dengan ion amonium (NH₄⁺). Amonium ini yang kemudian mengalami proses nitrifikasi membentuk nitrit dan nitrat. Amonia dalam keadaan tidak terdisosiasi akan lebih berbahaya untuk ikan dari pada dalam bentuk amonium. Nilai amonia memiliki hubungan dengan nilai pH perairan, yaitu makin tinggi pH air maka makin besar kandungan amonia dalam bentuk tidak terdisosiasi. Kadar amonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian (Effendi, 2003).

6) Nitrat

Nitrat adalah bentuk nitrogen utama dalam perairan dan merupakan nutrisi utama bagi tumbuhan dan algae. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil,

dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003). Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung dalam kondisi aerob.

7) Besi

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat (Priambodho, 2005):

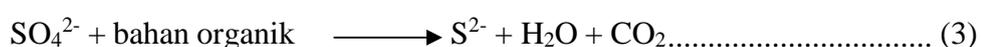
- terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri),
- tersuspensi sebagai butiran koloidal (diameter $<1\mu\text{m}$) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya,
- bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik.

8) Timbal (Pb)

Timbal mempunyai berat atom 207,19; berat jenis 11,4; bersifat lunak serta berwarna silver biru abu-abu dengan kilau logam. Nomor atom 82 dan mempunyai titik leleh $327,4^\circ\text{C}$ dan titik didih 1.725°C . Timbal termasuk logam berat karena mempunyai berat jenis dari lima kali berat jenis air (Sudarwin, 2008). Timbal banyak dimanfaatkan oleh kehidupan manusia sebagai bahan pembuat baterai, amunisi, produk logam (logam lembaran, solder, dan pipa), perlengkapan medis, cat, keramik, peralatan kegiatan ilmiah/praktek (papan sirkuit/PCB untuk komputer), untuk campuran minyak meningkatkan nilai oktan.

9) Sulfat

Sulfat adalah bentuk sulfur utama dalam perairan dan tanah. Di perairan yang diperuntukkan bagi air minum sebaiknya tidak mengandung senyawa natrium sulfat (Na_2SO_4) dan magnesium sulfat (MgSO_4) (Hariyadi *et al.*, 1992). Di perairan, sulfur berikatan dengan ion hidrogen dan oksigen. Reduksi (pengurangan oksigen dan penambahan hidrogen) anion sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerob dalam proses dekomposisi bahan organik menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korosivitas logam (Effendi, 2003).



2.4.4 Karakteristik Lindi

Dalam merencanakan bangunan pengolahan lindi, dilakukan pendekatan terhadap karakteristik lindi. Secara teoritikal berdasarkan hasil penelitian DR. Enri Damanhuri et al.,(2009), lindi mempunyai karakter yang khas, yaitu :

- A. Lindi dari TPST (Tempat Pembuangan Sampah Terpadu) yang muda (umur < 2 tahun) bersifat asam, berkandungan organik tinggi, mempunyai ion-ion terlarut yang tinggi serta rasio BOD atau COD relatif tinggi.
- B. Lindi dari TPST yang sudah tua (umur > 10 tahun) sudah mendekati netral, mempunyai kandungan karbon organik dan mineral menurun serta rasio BOD dan COD relatif menurun.

Adapun beberapa karakteristik utama Air Lindi :

Tabel 2. 4 : Karakteristik Utama Lindi

No	Paramete r	Landfill	
		Umur < 2 tahun	Umur >10 tahun
1	BOD ₅ (ppm)	2.000-30.000	100-200
2	COD (ppm)	3.000-45.000	100-500
3	Total Suspended Solid (TSS) (ppm)	200-2.000	100-400
4	Organik Nitrogen (ppm)	10-600	80-120
5	Ammonia Nitrogen (ppm)	10-800	20-40
6	Total Kesadahan (ppm CaCO ₃)	300-10.000	200-500
7	Magnesium (ppm)	50-150	50-200
8	Potasium (ppm)	200-2.000	50-500
9	Chlorida (ppm)	100-3.000	100-4.000
10	Sulfat (ppm)	100-1.500	200-550
11	Total Besi (ppm)	50-600	20-200
12	pH	4,5-7,5	6,6-7,5
13	Nitrit (ppm)	5-40	5-10
14	Total Phosporus (ppm)	1-70	5-10
15	Magnesium (ppm)	50-150	50-200

Sumber : E.D Me Bean, FA Rovers, GJ. Farqusher,(1995), Solid Waste Landfill Engineering and Design

2.5 Pengolahan Air Lindi

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi terlarut organik hasil proses dekomposisi biologis. Kuantitas dan kualitas lindi penting untuk menentukan sistem pengelolaan. Kualitas lindi akan tergantung dari beberapa hal, seperti:

- Curah hujan dan musim
- Temperatur
- Kelembaban
- Infiltrasi air tanah
- Variasi dan proporsi komponen sampah yang ditimbun
- Umur timbunan
- Pola operasional
- Jenis tanah penutup
- Tahap dekomposisi
- Kedalaman TPA

Waktu dilakukannya sampling Pada tahap awal akan banyak dijumpai senyawa organik dengan berat molekul yang kecil, tetapi fraksi dengan berat molekul yang tinggi dari senyawa yang lambat terdekomposisi juga semakin lama semakin sedikit. Secara keseluruhan, COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biological Oxygen Demand) dari $\text{NH}_3\text{-N}$ yang terkandung dalam lindi akan mengalami perubahan sejalan dengan waktu. BOD berkurang lebih cepat dibandingkan dengan COD, karena BOD tersusun dari zat organik yang mudah terdekomposisi oleh berbagai bakteri yang ada di TPA.

Hal ini menyebabkan untuk TPA yang masih baru, kurang dari 5 tahun, pengolahan secara biologis akan cukup efisien, tetapi semakin lama semakin kualitas lindi semakin lebih sesuai untuk pengolahan fisik dan kimia.

2.6 Limbah Cair TPA

Tempat pembuangan akhir sampah termasuk jenis tempat yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, akibat buangan yang dihasilkan seperti buangan cair (air limbah), padat, gas, suara dan panas. Dari kelima jenis limbah tersebut, limbah cair dari hasil kegiatan dekomposisi sampah (air lindi) merupakan jenis limbah paling perlu mendapat perhatian, karena volumenya yang sangat besar dan kuantitas polutannya yang beragam.

Limbah cair didefinisikan sebagai buangan cair yang berasal dari suatu lingkungan masyarakat dan lingkungan industri dimana komponen utamanya adalah air yang telah digunakan dan mengandung benda padat yang terdiri dari zat-zat organik dan anorganik (Mahida, 1984). Menurut Tchobanoglous dan Burton (1991) berdasarkan asalnya limbah cair dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu, air limbah rumah tangga (domestic waste), air limbah industri, rembesan air tanah lewat saluran dan luapan air hujan.

Untuk mengetahui lebih luas tentang limbah cair, maka perlu diketahui juga mengenai kandungan yang ada di dalam limbah cair dan sifat-sifatnya. Limbah cair mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar yaitu: sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologis (Sugiharto, 1987:19-35). Beberapa sifat limbah cair diantaranya adalah :

a) Sifat fisik

Sifat fisik digunakan dalam penentuan derajat kekotoran air limbah. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau, warna dan juga temperatur. Untuk dapat melakukan pemeriksaan secara fisik dapat dilakukan dengan mengadakan pemisahan air limbah dengan memperhatikan besar kecilnya partikel yang terkandung didalamnya. Air limbah yang mengandung partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan, begitu juga sebaliknya apabila air limbah berisikan partikel yang lebih kecil akan menyulitkan dalam proses pengendapan sehingga perlu cara pengendapan dengan teknologi yang canggih (Sugiharto, 1987:21).

b) Sifat kimia

Sifat kimia limbah cair ditentukan oleh kandungan bahan kimia yang ada di dalam limbah cair. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan beracun (Sugiharto, 1987:23).

c) Sifat biologis

Sifat biologis limbah cair diperlukan untuk mengukur kualitas air. Selain itu, diperlukan juga untuk menaksir tingkat kekotoran limbah cair sebelum dibuang ke badan air. Pemeriksaan biologis di dalam limbah cair untuk memisahkan apakah ada bakteri-bakteri patogen berada di limbah cair (Sugiharto, 1987:35).

2.7 Pengolahan Limbah Cair Lindi (Leachate)

Pada dasarnya tujuan utama pengolahan air limbah adalah untuk melindungi lingkungan hidup terhadap pencemaran yang diakibatkan melalui pengurangan beban bahan organik (BOD), partikel tercampur, serta membunuh organisme patogen. Selain itu, diperlukan juga tambahan pengolahan untuk menghilangkan bahan nutrisi komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasi agar konsentrasi yang ada menjadi rendah (Sugiharto, 1987:95).

Menurut Budiman, et al, (2008:25-26) secara umum ada tiga metode yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah yaitu :

a) Pengolahan secara fisika

Pengolahan secara fisika adalah pengolahan limbah cair dimana cara utama yang dilakukan adalah dengan menggunakan teknik filtrasi dan sedimentasi. Filtrasi adalah suatu langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan suatu media filter. Sedimentasi adalah langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan gaya gravitasi.

b) Pengolahan secara kimia

Pengolahan dengan metode kimiawi biasanya diartikan sebagai suatu proses pengolahan limbah cair untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan yang terkandung di dalamnya, dengan cara penambahan bahan kimia atau dengan melakukan proses kimia yang menyebabkan pengendapan partikel dan partikel koloidal dalam larutannya yang akhirnya dapat mereduksi kebutuhan oksigen dalam limbah. Jumlah partikel yang dapat diendapkan pada limbah sangat tergantung pada jenis bahan kimia yang ditambahkan, pH larutan dan jenis komponen yang terdapat dalam limbah tersebut. Pengendapan kimia merupakan salah satu proses penanganan limbah intermediet yaitu yang dilakukan antara penanganan primer dan penanganan sekunder. Pengendapan kimia lebih banyak digunakan untuk penanganan limbah yang berasal dari industri dibandingkan dengan limbah yang berasal dari rumah tangga. Koagulan yang sering digunakan untuk mengendapkan limbah adalah Alumunium Sulfat ($\text{alum}/\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), Poly Alumunium Chlorida ($\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), feri sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), Feri klorida (FeCl_3) dan kapur (Rahayu et al., 1990:165-166). Jumlah bahan kimia yang tepat untuk suatu jenis limbah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pH, alkalinitas, kadar padatan, konsentrasi fosfat dan faktor-faktor lian yang mempengaruhi kebutuhan akan koagulan. Penggunaan bahan kimia untuk pengendapan sangat bervariasi tergantung jenis limbah.

2.8 Koagulasi dan Flokulasi

Menurut Alaerts dan Santika (1987), jenis partikel koloid merupakan penyebab kekeruhan dalam air (efek *Tyndall*) yang disebabkan oleh penyimpangan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul tidak pernah keruh. Larutan tidak keruh jika terjadi pengendapan (presipitasi) yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia.

Menurut vesilind *et al.* (1994), partikel koloid dalam air sulit mengendap secara normal. Partikel koloid mempunyai muatan, penambahan koagulan akan menetralkan muatan tersebut. Partikel netral akan saling berikatan membentuk flok-flok besar dari partikel koloid yang berukuran sangat kecil. Hal ini disebut sebagai proses flokulasi. Menurut Steel dan McGhee (1985), koagulasi diartikan sebagai proses kimia fisik dari pencampuran bahan kimia ke dalam aliran limbah dan selanjutnya diaduk cepat dalam bentuk larutan tercampur. Flokulasi adalah proses penambahan flokulan pada pengadukan lambat untuk meningkatkan saling hubung antar partikel yang goyah sehingga meningkatkan penyatuannya (aglomerasi).

Metcalf dan Eddy (1991), menyatakan bahwa untuk mendorong pembentukan agregat partikel, harus diambil langkah-langkah tertentu guna mengurangi muatan atau mengatasi pengaruh muatan partikel. Pengaruh muatan dapat diatasi dengan : (1) penambahan ion berpotensi menentukan muatan sehingga terserap atau bereaksi dengan permukaan koloid untuk mengurangi muatan permukaan, atau penambahan elektrolit yang akan memberikan pengaruh mengurangi ketebalan lapisan difusi listrik sehingga mengurangi zeta potensial, (2) penambahan molekul organik berantai panjang (polimer) yang sub-bagiannya dapat diberi muatan sehingga disebut polielektrolit, hal ini menyebabkan penghilangan partikel melalui adsorpsi dan pembuatan penghubung (*bridging*), dan (3) penambahan bahan kimia yang membentuk ion-ion yang terhidrolisis oleh logam.

Menurut Hammer (1986), dua gaya yang menentukan kekokohan koloid adalah, (1) gaya tarik menarik antar partikel yang disebut dengan gaya *Van der Waals*, cenderung membentuk agregat yang lebih besar, (2) gaya tolak menolak yang disebabkan oleh pertumpangtindihan lapisan tanda elektrik yang bermuatan sama yang mengakibatkan kekokohan dispersi koloid.

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang sangat berkaitan erat dimana keberhasilan proses flokulasi sangat bergantung dari proses koagulasi yang merupakan

rangkaian proses pembentukan flok-flok. Pada kedua proses ini dibutuhkan *flocculating agent* yaitu bahan kimia tertentu yang membantu proses pembentukan flok. Dalam kurun waktu terakhir, penggunaan polimer sintesis sebagai bahan kimia pendestabilisasi pada pengolahan air bersih dan limbah cair semakin meningkat. Berdasarkan pengamatan, pengolahan yang paling ekonomis dapat dicapai dengan menggunakan anionik polimer, walaupun padatan yang terkandung dalam air bermuatan negatif (Weber, 1972).

Agar proses destabilisasi efektif, molekul polimer harus mengandung kelompok kimia yang dapat berinteraksi dengan permukaan partikel koloid. Pada saat terjadi kontak antara molekul polimer dengan partikel koloid, beberapa dari kelompok kimia pada polimer terserap ke permukaan partikel, meninggalkan molekul polimer yang tersisa pada larutan. Apabila terjadi kontak antar molekul polimer yang tersisa dengan partikel kedua yang memiliki permukaan adsorpsi yang kosong, maka akan terjadi ikatan. Partikel polimer kompleks akan terbentuk dengan polimer sebagai penghubung. Jika partikel kedua tidak dapat berikatan, maka seiring dengan waktu bagian polimer yang tersisa perlahan akan terserap pada permukaan partikel yang lain, sehingga polimer tidak dapat lagi berfungsi sebagai penghubung.

Dosis polimer yang berlebih akan mengakibatkan koloid menjadi stabil kembali karena tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung antar partikel. Pada kondisi tertentu, suatu sistem yang telah didestabilisasi dan membentuk agregat dapat menjadi stabil kembali dengan meningkatkan agitasi, akibat putusanya polimer permukaan partikel dan proses berulang antara polimer tersisa dengan permukaan partikel (Weber, 1972).

Menurut Benefield *et al.* (1982), untuk merangsang partikel koloid bergabung membentuk gumpalan yang lebih besar diperlukan dua cara, yaitu partikel harus didestabilisasikan dan dipindahkan. Destabilisasi partikel dapat dicapai melalui cara penekanan lapisan ganda listrik, penyerapan untuk netralisasi, penjeratan pada presipitasi, dan pembentukan antar partikel.

Penekanan lapisan ganda listrik dan penetralan dikategorikan sebagai proses koagulasi, sedangkan penjeratan dan pembentukan antar partikel sebagai flokulasi. Destabilisasi partikel dengan cara penekanan dapat dicapai melalui penambahan elektrolit muatan yang berlawanan dengan muatan partikel koloid (Benefield *et al.*, 1982). Dasar dari mekanisme ini adalah bahwa interaksi dari koagulan dengan partikel koloid terjadi karena efek elektrostatik, ion sejenis dengan partikel koloid akan saling

tolak menolak, sedangkan yang muatannya berlawanan akan tarik menarik (Surdia *et al.*, 1981).

Menurut Nathanson (1977), keberhasilan dari proses koagulasi dan flokulasi tergantung beberapa faktor diantaranya adalah dosis koagulan yang diberikan, suhu dari limbah, pH dan alkalinitas. Dosis koagulan yang diberikan disesuaikan dengan karakteristik dari air limbah yang akan ditangani. Untuk mengetahui dosis optimum koagulan dilakukan pengujian dilaboratorium menggunakan peralatan yang disebut Jarrest.

2.9 Koagulan

Koagulan adalah zat yang digunakan untuk pembentukan flok pada proses pencampuran (koagulasi-flokulasi), merupakan zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Koloid pada umumnya bermuatan negatif sehingga tidak mungkin akan mengendap dengan sendirinya karena besarnya gaya tolak-menolak antar partikel koloid. Keadaan ini disebut stabil, sehingga perlu penambahan koagulan agar mampu menetahkan muatan negatif koloid (destabilisasi). Koagulan yang ditambahkan pada partikel koloid mampu menetralkan muatan negatif dari partikel koloid. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel. Dalam proses koagulasi, koagulan atau flokulan pembantu dapat ditambahkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok (Pulungan, 2012:2-3). Secara umum koagulan berfungsi untuk:

- A. Mengurangi kekeruhan akibat adanya partikel koloid anorganik maupun organik
- B. Mengurangi warna yang diakibatkan oleh partikel koloid di dalam air
- C. Mengurangi rasa dan bau yang diakibatkan oleh partikel koloid di dalam air

Ada dua jenis bahan kimia yang umum dipakai, yaitu :

- a) Koagulan garam logam, antara lain :
 - Aluminium sulfat ($\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)
 - Ferri Chloride FeCl_3
 - Ferro chloride FeCl_2
 - Ferri sulphate $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- b) Koagulan polimer kationik, antara lain :
 - Poly Aluminium Chloride sering disingkat PAC ($\text{Al}_{10}(\text{OH})_{15}\text{Cl}_{15}$)
 - Chitosan
 - Curie flock

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibubuhkan 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 nionik (bermuatan netral). Sedangkan koagulan anorganik mencakup bahan-bahan kimia umum berbasis aluminium atau besi. Ketika ditambahkan ke dalam contoh air, koagulan anorganik akan mengurangi alkalinitas 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).

2.9.1 Koagulan Aluminium Sulfat (Tawas)



Gambar 2. 2 : Aluminium Sulfat (Tawas)

Sumber: Adiwater.com 2010

Alum merupakan salah satu koagulan yang paling lama dikenal dan paling luas digunakan. Alum dapat dibeli dalam bentuk likuid dengan konsentrasi 8,3% atau dalam bentuk kering (bisa berupa balok, granula, atau bubuk) dengan konsentrasi 17%. Alum padat akan langsung larut dalam air tetapi larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, besi, dan beton sehingga tangki-tangki dari bahan-bahan tersebut membutuhkan lapisan pelindung. Rumus kimia alum adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ tetapi alum yang disuplai akan secara komersial kemungkinan hanya memiliki $14\text{H}_2\text{O}$. Ketika ditambahkan ke dalam air,

alum bereaksi dengan air dan menghasilkan ion-ion bermuatan positif. Ion-ion dapat bermuatan +4 tetapi secara tipikal bermuatan +2 (bivalen). Ion-ion bivalen 30-60 kali lebih efektif dalam menetralkan muatan-muatan partikel dibanding ion-ion yang bermuatan +1 (monovalen). Pembentukan flok aluminium hidroksida merupakan hasil dari reaksi antara koagulan yang bersifat asam dan alkalinitas alami air (biasanya mengandung kalsium bikarbonat).



Jika air kurang memiliki kapasitas alkalinitas (buffering capacity), basa tambahan seperti hydrated lime, sodium hidroksida (soda kaustik) atau sodium karbonat harus ditambahkan.



Dengan penambahan sodium karbonat :



1 mg/L alum bereaksi dengan 5,3 mg/L alkalinitas (CaCO_3). Jadi jika tidak ada basa yang ditambahkan, alkalinitas akan turun dan terjadi penurunan pH. Flok aluminium hidroksida tidak dapat larut pada rentang pH yang sempit, dan akan bervariasi tergantung air yang diolah. Oleh karenanya, kontrol pH menjadi penting dalam koagulasi, tidak hanya untuk menyisihkan kekeruhan dan warna, tetapi juga untuk menjaga residu terlarut tetap berada dalam jumlah minimum untuk membantu sedimentasi. Nilai pH optimum koagulasi sebaiknya dijaga dengan menambah asam seperti asam sulfat, tidak dengan menambah koagulan yang berlebih. pH optimum untuk koagulasi menggunakan alum, sangat tergantung pada karakteristik air yang diolah, biasanya berada dalam rentang 5-8.

2.9.2 Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC)



Gambar 2.3 : Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Sumber: Adiwater.com 2010

PAC adalah garam dasar khusus aluminium klorida yang dirancang untuk memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat dan lebih baik daripada aluminium biasa dan garam besi seperti aluminium sulfat atau ferri klorida. Kegunaan dari PAC adalah sebagai koagulan atau flokulan untuk menguraikan larutan yang keruh dan menggumpalkan partikel, sehingga memungkinkan untuk memisah dari medium larutannya. PAC mempunyai rumus umum kimia : $Al_2(OH)_{6-n} Cl_n \cdot xH_2O$ ($n=1-5$). Pembuatan PAC dapat dilakukan dengan mereaksikan aluminium dengan asam klorida 5-15% (aluminium eksek terhadap hydrogen klorida), pada suhu 67-97°C atau dengan mereaksikan aluminium hidroksida dengan asam klorida dengan reaksi sebagai berikut



PAC memiliki rantai polimer yang panjang, muatan listrik positif yang tinggi dan memiliki berat molekul yang besar, PAC memiliki koefisien yang tinggi sehingga dapat memperkecil flok dalam air yang dijernihkan meski dalam dosis yang berlebihan. Muatan listrik yang tinggi pada PAC mempermudah untuk membentuk flok daripada koagulan biasa, sehingga PAC dapat dengan mudah menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid dan dapat mengatasi serta mengurangi gaya tolak-menolak elektrostatis antar partikel sampai sekecil mungkin, sehingga memungkinkan partikel-partikel koloid tersebut saling mendekat (gaya tarik menarik kovalen) dan membentuk gumpalan besar.

Menurut Azamia (2012:11), PAC merupakan bentuk polimerisasi kondensasi dari garam aluminium, berbentuk serbuk berwarna kekuningan yang merupakan koagulan yang baik. Koagulan jenis ini merupakan koagulan yang memiliki kemampuan koagulan yang lebih baik dari aluminium sulfat dan dapat menghasilkan flok yang stabil. Derajat polimerisasi PAC yang tinggi merupakan suatu bentuk polimer anorganik dengan bobot molekul yang besar, sangat baik digunakan untuk air yang mempunyai alkalinitas rendah yang membutuhkan penghilangan warna dan waktu reaksi cepat.

PAC digunakan karena koagulan ini mempunyai kemampuan koagulasi yang kuat, cocok digunakan untuk pengolahan limbah yang keruh, rentang pH lebar (6-9), biayanya murah, dan mudah pengoperasiannya (Raharjo, 1993). Sedangkan sisi negatif penggunaan PAC adalah penyimpanan PAC cair memerlukan kondisi temperatur maksimal 40°C. PAC tidak keruh bila pemakaiannya berlebih, sedangkan koagulan utama (seperti aluminium sulfat, besi klorida, dan ferro sulfat) bila dosis berlebihan bagi air akan keruh, akibat dari flok yang berlebihan.

Penentuan jenis koagulan dan perkiraan kasar dosis yang dibutuhkan untuk pengendapan padatan air limbah lindi yang efektif dilakukan dengan melakukan percobaan awal dengan Jar-Test. Hasil percobaan perlu untuk diinterpretasikan dengan hati-hati dan setelahnya perlu dilakukan optimisasi kondisi proses pada jenis koagulan yang dipilih ebeum digunakan untuk modifikasi dan pengontrolan instalasi pengolahan. Adapun dosis terbaik ditentukan berdasarkan penyisihan parameter kekeruhan. Rentang dosis beberapa koagulan yang biasa digunakan dapat dilihat Tabel dibawah ini :

Tabel 2. 5 : Rentang Dosis Koagulan

Proses Kimia	Bentuk	pH Optimum	Reaksi dengan air
Sodium Aluminat NaAlO_2 atau $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Bubuk	9,0-11,0	Basa
Alumunium Sulfat (Tawas) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, bubuk	4,5-7,0	Asam
Ferri Chlorida $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, cairan	4,0-7,0	Asam
Ferro Sulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	4,0-7,0	Asam
Poly Alumunium Chlorida (PAC) $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{22}(\text{SO}_4)\text{Cl}_{15}$	Bubuk	4,5-7,0	Asam

Sumber : Mulyadi, 2007