



## Karakterisasi Lindi dan Reformulasi Proses Kimia IPAL Lindi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Bantargebang Bekasi dengan Menggunakan Metode *Jar Test*

### Characterization of Leachate and Reformulation of The Chemical Process of The Leachate WTP in The Bantargebang Bekasi Waste Power Plant Using The Jar Test Method

YOSEP WIDI NUGRAHA<sup>1,2\*</sup>, SUPRIHATIN<sup>1</sup>, RUDI NUGROHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Jl. Raya Dramaga, Gedung Pascasarjana IPB, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680 Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup> Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih – BRIN

Komplek Perkantoran Puspiptek, jalan Puspiptek Serpong Kecamatan Setu, Tangerang Selatan 15314 Banten, Indonesia

\*yosep.widi@apps.ipb.ac.id

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 17 October 2023

Accepted 04 March 2024

Published 31 July 2024

##### Keywords:

Leachate

COD

Coagulant

Flocculant

WWTP

#### ABSTRACT

The Bantargebang Bekasi Waste Power Plant, as a result of the National Strategic Project, has been operating since 2019. The Plant has a leachate wastewater treatment plant, which is not yet optimal for processing leachate because the COD concentration is still high. The evaluation results showed the need for the characterization of leachate in different weather conditions and formulation changes in the coagulation-flocculation chemical processing system. Combined time samples were taken over a period of time during the rainy and dry seasons to determine the leachate characteristics at the same sampling point, while grab samples were taken to measure temperature and pH. Laboratory analysis methods were carried out in accordance with the national standard and applicable laboratory accreditation in the leachate quality standard parameters of the Minister of Environment and Forestry Regulation No. 59 of 2016. Reformulation in flocculation coagulation chemical processing units uses the jar test method. The results of leachate characterization showed that COD parameters of leachate differ significantly between dry and rainy season conditions. In the dry season, leachate COD reached 19,883 mg/L, while in the rainy season it reached 7,605 mg/L. The design of the WWTP was carried out by improving the chemical processing unit process, including the types of coagulants and flocculants used. Jar test results showed that the choice of flocculant coagulant PACG30-FUH and PAC20-FUHM worked most effectively in terms of process, so it was necessary to change the chemicals used for the chemical processes in WWTP of the Bantargebang Waste Power Plant

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Histori artikel:

Diterima 17 Oktober 2023

Disetujui 04 Maret 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

##### Kata kunci:

Lindi

COD

Koagulan

Flokulan

IPAL

#### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang Bekasi sebagai hasil Proyek Strategis Nasional (PSN) sudah beroperasi sejak tahun 2019. PLTSa memiliki instalasi pengolahan air limbah lindi yang belum optimal dalam mengolah lindi karena konsentrasi COD yang masih tinggi. Hasil evaluasi menunjukkan perlu adanya karakterisasi lindi pada kondisi cuaca yang berbeda dan perubahan formulasi pada sistem pengolahan kimia koagulasi flokulasi menggunakan bahan kimia yang tepat. Sampel gabungan waktu diambil dalam rentang waktu sesuai dengan perubahan musim hujan dan kemarau untuk mengetahui karakteristik lindi dan pada titik tempat pengambilan sampel yang sama sedangkan sampel sesaat (*grab sample*) dilakukan untuk pengukuran suhu dan pH. Metode analisis laboratorium dilakukan sesuai dengan standar SNI dan sesuai akreditasi laboratorium yang berlaku pada parameter baku mutu lindi PermenLHK No. 59 Tahun 2016. Untuk reformulasi pada unit pengolahan kimia koagulasi flokulasi menggunakan metode *jar test*. Hasil karakterisasi lindi menunjukkan adanya perbedaan parameter COD yang signifikan antara lindi pada kondisi musim kemarau dan musim penghujan. Pada musim kemarau COD lindi mencapai angka 19.883 mg/L sedangkan di musim penghujan mencapai 7.605 mg/L. Perancangan IPAL dilakukan dengan perbaikan proses unit pengolahan secara kimia meliputi jenis koagulan dan flokulan yang dipakai. hasil *jar test* dengan membandingkan koagulan flokulan yang ada, pemilihan bahan kimia koagulan flokulan PACG30-FUH dan PAC20-FUHM bekerja paling efektif dari segi proses, sehingga perlu adanya perubahan bahan kimia yang digunakan untuk proses kimia yang ada dalam IPAL PLTSa Bantargebang.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) termasuk Proyek Strategis Nasional (PSN), sesuai Perpres No. 58/2017 tentang Proyek Infrastruktur Strategis Nasional (Perpres No. 58, 2017). Implementasinya diatur dalam Perpres No. 35/2018, tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah menjadi Energi Listrik berbasis Teknologi Ramah Lingkungan. Dalam peraturan ini, percepatan pembangunan PLTSA diterapkan pada 12 lokasi, yaitu Provinsi DKI Jakarta, Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kota Bekasi, Kota Bandung, Kota Semarang, Kota Surakarta, Kota Surabaya, Kota Denpasar, Kota Palembang dan Kota Manado (PerPres 2018). PLTSA Bantargebang Bekasi sudah beroperasi tahun 2019 dengan kapasitas insinerasi 80-90 ton sampah/ hari (Winanti 2018). Pada operasional di unit produksi PLTSA Bantargebang menghasilkan limbah lindi dari proses penyimpanan sampah di bunker.

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis (Damanhuri & Padi 2016). Dari proses ini diperkirakan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi. Lindi merupakan cairan yang kemungkinan besar mengandung jumlah kontaminan organik, COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), amonia, padatan tersuspensi, konsentrasi logam berat dan garam anorganik. Secara umum, lindi dari sampah domestik memiliki BOD 1.000 – 30.300 mg/L dan COD 100 – 51.000 mg/L (Atta & Gamal 2015). Karakteristik lindi dipengaruhi oleh umur (lama penimbunan), curah hujan dan tingkat perkolasi air yang masuk ke dalam landfill, kuantitas, jenis dan komposisi sampah (Fajariyah & Mangkoedihardjo 2017). Beberapa studi menunjukkan lindi dapat juga dimanfaatkan menjadi pupuk organik cair sebagai alternatif memanfaatkan limbah sebagai bentuk diversifikasi produk kompos dalam pelestarian lingkungan (Yusmartini *et al.*, 2021). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia mengatur mengenai pengelolaan lindi yang berpotensi mencemari lingkungan di dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/atau tempat pemrosesan akhir sampah. Dengan adanya peraturan ini, maka PLTSA Bantargebang harus memiliki unit pengolahan lindi dalam suatu sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Unit pengolahan lindi sangat diperlukan di setiap unit kegiatan yang menghasilkan lindi seperti di unit pengelolaan TPA Bantargebang dan unit plant PLTSA Bantargebang serta unit pendukung lainnya yang terintegrasi di dalamnya. Pengolahan lindi ini menggunakan berbagai teknologi yang ditujukan untuk menurunkan tingkat pencemaran melalui berbagai parameter di dalamnya yang diatur sesuai dengan PermenLHK No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Lindi.

IPAL lindi PLTSA Bantargebang sebagai IPAL percontohan harus mampu untuk mengolah lindi yang dihasilkan. IPAL lindi yang sudah terbangun masih belum beroperasi secara optimal dan tidak stabil dalam menurunkan

parameter COD. Hal ini perlu adanya evaluasi sistem proses yang ada di IPAL lindi. Penelitian ini diharapkan dapat mengkombinasikan beberapa alternatif teknologi dan metode yang tentunya mudah dioperasikan dan tidak membutuhkan biaya operasional yang besar. Penelitian direncanakan dengan tahapan-tahapan yang sudah menjadi kebutuhan dalam perencanaan sistem instalasi pengolahan air limbah (IPAL) lindi. Dalam penelitian ini dipilih teknik pengolahan secara kimia menggunakan teknologi koagulasi dan flokulasi dengan pertimbangan anggaran untuk tidak mengubah banyak mengenai sistem IPAL eksisting di PLTSA Bantargebang Bekasi. Teknologi koagulasi dan flokulasi untuk pengolahan limbah cukup populer karena bahan kimia yang mudah diperoleh di pasaran seperti koagulan tawas dan PAC (Lindu *et al.*, 2015) dan teknologi ini tidak memerlukan waktu lama dan luasan tempat yang besar dalam prosesnya. Dalam penelitian untuk memperbaiki proses pada pengolahan kimia menggunakan metode jar test. Pada metode *jar test* akan didapatkan jenis dan formulasi dosis bahan kimia optimum untuk proses kimia koagulasi flokulasi lindi PLTSA. Parameter efisiensi penurunan COD digunakan sebagai indikator kinerja pada proses pengolahan lindi PLTSA.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan karakteristik air lindi PLTSA dari proses penyimpanan bunker produksi PLTSA sesuai PermenLHK No 59 Tahun 2016
- Menentukan jenis bahan kimia dan dosis yang digunakan untuk proses pretreatment kimia dengan efisiensi terbaik dalam rangka perancangan unit kimia pada proses IPAL.

## 2. METODE

### 2.1. Alat dan Bahan

#### 2.1.1. Alat

Alat utama pada analisis ini adalah spektrofotometer Jasco Seri V-530 yang digunakan untuk mengukur kadar COD dalam sampel hasil pengolahan limbah air lindi dan reaktor *jar test* empat tabung *Messgerate* model S4S yang digunakan untuk percobaan penentuan kadar dan jenis bahan kimia untuk pengolahan air lindi secara kimia (Husaini, 2018). Peralatan laboratorium yang digunakan meliputi reaktor COD WTW CR2200, *magnetic stirrer* IKA C-MAG HS7, *beaker glass Iwaki Pyrex* 500 ml, *beaker glass Duran* 50 ml, Pipet *Socorex* 10 ml dan 1 ml, gelas ukur *Herma* 10 ml dan 100 ml dan labu takar *Pyrex* 1000 ml.

#### 2.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi bahan kimia koagulan dan flokulan dengan berbagai nama dagang di pasaran menggunakan beberapa dosis yang berbeda. Bahan kimia yang dipakai sebagai berikut:

- Koagulan PAC-200.8

- Koagulan *poly aluminium chloride* (PAC) jenis PAC-200.8 merupakan koagulan cair dengan kadar 8% yang dipasarkan di Indonesia oleh Bixxon dengan tipe 1327-41-9. Koagulan PACG30
- b) Koagulan PAC G30 merupakan koagulan bersertifikat RMTUV Jerman dengan merk TUV CERT tipe MP-30 yang dipasarkan di Indonesia dengan kemurnian 30%.
  - c) Koagulan PAC20  
PAC20 merupakan PAC dengan konsentrasi 20%. PAC jenis ini berbentuk cair dan dipasarkan local oleh KMG dengan tipe P-130.
  - d) Koagulan Alum-13  
Alum 13 merupakan koagulan Alumunium Sulfat dengan konsentrasi 13% dipasarkan lokal Indonesia dalam bentuk cair oleh WGT Surabaya.
  - e) Koagulan Alum-17  
Alum 17 merupakan salah satu koagulan Alumunium Sulfat (tawas) merk *Chemposite* di pasaran lokal Indonesia dengan kemurnian 17%.
  - f) Koagulan PLTSa  
Koagulan PLTSa merupakan koagulan eksisting PLTSa yang diberikan oleh vendor IPAL PLTSa dengan konsentrasi 15%.
  - g) Flokulan FUH  
Flokulan FUH merupakan flokulan polimer A tipe 9425 UH murni dengan berat molekul 22-24 juta. Flokulan ini dipasarkan di Indonesia oleh *Agapool Water Treatment*.
  - h) Flokulan FM  
Flokulan FM merupakan flokulan polimer A tipe 9510M murni dengan berat molekul 11-13 juta. Flokulan ini dipasarkan di Indonesia oleh *Agapool Water Treatment*.
  - i) Flokulan F-UHM merupakan flokulan gabungan dari polimer A 9425 UH dan 9510M.
  - j) Asam Sulfat dalam penelitian menggunakan Asam sulfat merk Smartlab dengan no cat A1092 kemurnian 98%.

**Prosedur Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan pendekatan secara empiris kuantitatif dengan tiga tahapan utama yang meliputi analisis karakterisasi air lindi PLTSa Bantargebang, analisis proses kimia koagulasi flokulasi secara *jar test* dan analisis hasil proses kimia dengan pengukuran COD. Pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi karakteristik lindi melalui pengambilan sampel lindi pada inlet IPAL. Pengambilan sampel pada bak pengumpul lindi sebagai inlet IPAL yang berasal dari bunker produksi PLTSa pada koordinat -6.351641, 106.997500. Metode pengambilan sampel mengikuti SNI 6989.59:2008 Badan Standarisasi Nasional. Sampel gabungan waktu diambil dalam rentang waktu sesuai dengan perubahan musim hujan dan kemarau untuk mengetahui karakteristik lindi dan pada titik tempat pengambilan sampel yang sama sedangkan sampel sesaat (*grab sample*) dilakukan untuk pengukuran suhu dan pH. Peralatan untuk mengambil sampel yaitu dengan menggunakan peralatan sederhana tabung pengambil sampel berbahan polipropilen (PP). Pengujian parameter lapangan yang dapat berubah dengan cepat, dilakukan langsung setelah pengambilan sampel. Parameter tersebut antara lain; pH (SNI 06-6989.11-2019) dan suhu (SNI 06-6989.23-2005). Kebutuhan pengambilan sampel adalah minimum dua (2) liter dan dikemas dalam wadah yang sampel yang sudah dipersiapkan sesuai dengan standar mutu.

Percobaan optimasi *chemical treatment* (koagulasi-flokulasi) menggunakan metode *jar test*. *Jar test* memberikan data mengenai kondisi optimum untuk parameter-parameter proses seperti: dosis koagulan flokulan, pH, waktu dan intensitas pengadukan cepat (koagulasi) dan pengadukan lambat (flokulasi) serta waktu penjernihan (Husaini et al., 2018). Matriks tujuan, metode dan hasil output penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks tujuan, metode dan hasil output penelitian

Tahapan Penelitian	Pengambilan Data	Metode Penelitian	Output
Analisis dan pengukuran karakteristik air lindi PLTSa secara kualitatif dan kuantitatif	Data primer analisis laboratorium	Metode standar analisis baku mutu air lindi PermenLHK No 59 Tahun 2016	Karakteristik Air Lindi PLTSa Bantargebang Bekasi
Analisis proses kimia koagulasi flokulasi secara <i>jar test</i>	Data primer penelitian laboratorium	Metode <i>jar test</i>	Reformulasi proses secara kimia
Analisis hasil proses kimia dengan pengukuran COD	Data primer pengukuran COD	Metode Spektrofotometri SNI 6989.15:2019	Hasil analisis laboratorium

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakteristik Lindi

Tabel 2. Data karakteristik lindi PLTSa

No	Parameter	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Baku Mutu Lindi
1	pH	-	9.1	8.5	6 - 9
2	BOD	mg/L	2.096	2.980	150
3	COD	mg/L	19.883	6.100	300
4	TSS	mg/L	280	47	100
5	N Total	mg/L	879	2,3	60
6	Merkuri	mg/L	0,00010	0,00005	0,005
7	Kadmium	mg/L	0,00800	0,00300	0,1
8	Warna	-	Hitam pekat	Hitam	-
9	Suhu	°C	28,4	27,8	-

Sumber : Hasil analisis penelitian

Pada Tabel 2 menunjukkan karakteristik lindi PLTSa Bantargebang dibandingkan dengan baku mutu lindi sesuai dengan PermenLHK No 59 tahun 2016. Pada karakteristik pH, BOD, COD, TSS dan N total sampel lindi PLTSa Bantargebang masih belum memenuhi baku mutu air lindi yang dipersyaratkan.

Sampel 1 merupakan sampel lindi yang dihasilkan bunker PLTSa pada saat musim kemarau dengan kadar air sampah bunker rata-rata 35,8 % dengan nilai COD lindi mencapai 19.883 mg/L. Kadar COD yang sangat tinggi ini disebabkan karena berasal dari senyawa organik dalam air lindi yang tinggi. Kandungan organik lindi yang tinggi karena dihasilkan dari sampah muda termasuk dalam fase *acidogenesis*. Karakteristik sampah pada fase *acidogenesis* memiliki nilai 6.000 – 60.000 mg/L. Sampel 2 merupakan sampel lindi pada musim hujan dengan kadar air sampah bunker rata-rata mencapai 53,7 % dengan nilai COD 6.100 mg/L. Pada waktu musim hujan kadar COD, TSS, dan N total lindi turun karena adanya pelarutan material lindi oleh infiltrasi air hujan yang dapat membawa kontaminan dari tumpukan sampah dan mengencerkan lindi yang terbentuk. Nilai BOD yang tinggi disebabkan oleh tingginya zat organik dalam air lindi sehingga membutuhkan oksigen terlarut dalam proses dekomposisinya. Sampel 1 pada musim kemarau tidak ada aktivitas aliran air di timbunan sampah sehingga terdapat aktivitas perombakan bahan pencemar organik oleh bakteri anaerob, sehingga kadar BOD dalam air lindi mengalami penurunan. Senyawa organik yang terkandung dalam air lindi ini didominasi oleh senyawa organik terlarut yang sulit dibiodegradasi, ditandai dengan perbandingan BOD5/COD yang rendah, hanya 0,105 – 0,488 (Lindu *et al.*, 2015). Jika dibandingkan dengan penelitian karakteristik lindi di IPAL Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang pada Tabel 3, perbandingan nilai BOD/COD juga menunjukkan nilai yang rendah yaitu 0,11 hanya saja nilai COD tidak begitu tinggi dibandingkan nilai COD lindi PLTSa karena perbedaan tempat pengambilan sampel berada pada inlet IPAL dari TPST (*landfill*).

Tabel 3. Karakteristik lindi IPAL III Bantargebang

No	Parameter	Satuan	Sampel
1	pH	-	8,25
2	BOD	mg/L	323
3	COD	mg/L	2.947
4	TSS	mg/L	250
5	N Total	mg/L	60,5

Sumber : Penelitian (Lindu *et al.*, 2015)

Sampel 1 dan sampel 2 lindi PLTSa memiliki nilai pH yang bersifat basa. Hal ini dapat disebabkan oleh komposisi sampah yang menjadi sumber lindi didominasi oleh tumpukan sampah rumah tangga seperti bungkus detergen atau sabun yang bersifat basa, sehingga akan berdampak pada peningkatan pH air lindi tersebut (Daryat *et al.*, 2017). Berbeda dengan hasil penelitian Lindu *et al.*, pada Tabel 3, karakteristik pH lindi bersifat basa karena usia tumpukan sampah pada *landfill* yang sudah tua menyebabkan pH lindi yang dihasilkan mendekati netral (Daryat *et al.*, 2017).

Karakteristik warna pada air lindi merupakan parameter penting dalam proses pengolahan. Penampakan visual lindi PLTSa tampak hitam pekat. Hal ini mengindikasikan adanya kandungan bahan organik alami yang sangat tinggi terutama asam humat dan asam fulvat yang terbentuk akibat dari hasil dekomposisi bahan organik (Rezagama *et al.*, 2016).

#### 3.2. Proses Pengolahan Lindi Secara Kimia Koagulasi Flokulasi

Unit IPAL lindi yang sudah terpasang di PLTSa masih belum mampu untuk mengolah lindi secara optimum. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis laboratorium yang menunjukkan bahwa hasil outlet IPAL lindi yang ada di PLTSa terdapat tiga parameter yaitu BOD, COD, dan N total masih belum memenuhi baku mutu lindi. Tabel 4 menunjukkan hasil analisis laboratorium outlet IPAL Lindi PLTSa.

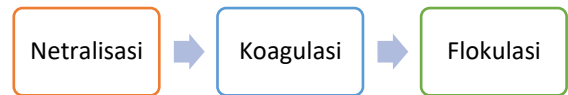
Tabel 4. Hasil analisis outlet IPAL lindi PLTSa Bantargebang

No	Parameter	Satuan	Sampel	Baku Mutu Lindi
1	pH	-	7,442	6 - 9
2	BOD	mg/L	267	150
3	COD	mg/L	604	300
4	TSS	mg/L	3,0	100
5	N Total	mg/L	71,4	60
6	Merkuri	mg/L	0,00008	0,005
7	Kadmium	mg/L	< 0,0010	0,1

Sumber : Hasil analisa Laboratorium PLTSa

Hasil outlet IPAL lindi yang belum memenuhi baku mutu ini mengakibatkan IPAL tidak bekerja dengan optimal sehingga memerlukan adanya evaluasi, penelitian, dan perancangan sistem ulang. Hasil karakterisasi lindi PLTSa Bantargebang menunjukkan parameter BOD/COD masih memerlukan perhatian khusus dikarenakan outlet IPAL lindi belum mampu mengolah lindi dengan baik. Nilai COD yang tinggi mencapai 19.883 mg/L dari baku mutu di angka 300 mg/L memiliki rentang nilai yang cukup besar dalam proses penurunan beban COD sebesar 98,5%. Pada penelitian Arya Rezagama 2016, efisiensi penurunan COD menggunakan proses koagulasi flokulasi menggunakan koagulan PAC sebesar 60% dan koagulan tawas sebesar 62,2%. Jika hanya menggunakan satu unit proses kimia saja di instalasi pengolahan air limbah lindi (IPAL), maka baku mutu akan sulit untuk dicapai sehingga memerlukan proses lanjutan untuk mengolah lindi. TSS yang masih di atas baku mutu dapat dirangsang menggunakan proses secara kimia fisika. Nilai N total pada lindi juga menjadi salah satu penentu kriteria desain IPAL PLTSa Bantargebang.

Redesain unit kimia IPAL lindi PLTSa Bantargebang dilakukan dengan mengevaluasi bahan kimia dipakai dalam proses koagulasi flokulasi. Nilai COD pada sampel 1 yang relatif tinggi ini akan mempengaruhi desain penggunaan bahan kimia koagulan flokulan mana yang memiliki kriteria efisiensi paling tinggi akan dipilih. Adanya karakteristik lindi yang akan diolah di unit IPAL PLTSa Bantargebang, maka desain IPAL lindi harus disesuaikan dengan nilai maksimum lindi yang akan diolah. Perancangan unit kimia ini terdapat tiga tahapan proses yaitu proses penyesuaian pH (netralisasi pH) sebagai *pretreatment*, proses koagulasi, dan proses flokulasi. Proses penyesuaian pH yang sering disebut juga sebagai netralisasi pH dilakukan berdasarkan rancangan spesifikasi penggunaan bahan kimia. Penggunaan koagulan Alum bekerja optimum pada rentang pH 5,5–8,0. Karakteristik lindi PLTSa memiliki nilai pH yang bersifat basa sehingga dalam operasionalnya membutuhkan asam untuk menurunkan pH tersebut. Asam yang digunakan untuk menurunkan pH air limbah dalam proses netralisasi lindi yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk mencapai pH optimal ke tahapan koagulasi dan flokulasi (Nugroho 2018).



Gambar 1. Tahapan proses kimia pengolahan lindi PLTSa Bantargebang

Proses koagulasi merupakan destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut sebagai koagulan (Said 2018) dengan menggunakan pengadukan cepat, sedangkan proses flokulasi adalah proses pengikatan flok dengan menambahkan senyawa kimia yang disebut sebagai flokulan dengan menggunakan pengadukan lambat. Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berkelanjutan dengan bentuk pencampuran koagulan hingga proses pembentukan flok dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan flokulan (Oktaviasari & Mashuri 2016). Aplikasi koagulasi flokulasi pada unit pengolahan limbah disesuaikan dengan karakteristik limbah yang akan diolah. Setiap limbah memiliki karakteristik yang berbeda untuk dosis dan jenis bahan kimia, baik koagulan dan flokulan pada proses koagulasi flokulasi. Limbah lindi yang dihasilkan PLTSa memiliki karakteristik COD yang sangat besar, sehingga dalam tujuannya mengurangi beban polutan tersebut diperlukan efisiensi proses yang cukup besar. Meski unit pengolahan lindi secara kimia menggunakan sistem proses koagulasi dan flokulasi secara maksimum, belum mencukupi penurunan beban polutan yang dapat memenuhi baku mutu lindi sehingga masih memerlukan proses pengolahan lanjutan dengan cara biologis. Waktu tinggal yang dibutuhkan proses biologis dalam mengolah lindi total 11 hari dengan efisiensi 96,9% dalam menurunkan konsentrasi COD (Said & Hartaja 2018)

Penelitian *jar test* terhadap limbah lindi PLTSa dilakukan melalui percobaan menggunakan beberapa koagulan dan flokulan. Penelitian *jar test* menggunakan bahan kimia koagulan PAC200,8, PACG30, PAC20, Alum13, Alum17 dan KOG (Koagulan PLTSa), Flokulan FUH, FM, FUHM dan flokulan PLTSa sebagai pembanding.

Tabel 5. Bahan kimia koagulan dan flokulan

Jenis Bahan Kimia	Kode	Dosis %
PAC-200.8 liquid (A)	A	8%
PAC-Type G30 (B)	B	10%
PAC-20 (D)	D	20%
Alum-13 (E)	E	13%
Alum-17 (F)	F	17%
Koagulan PLTSa	Ko	15%
FA-9425-UH (UH)	FUH	0,09%
FA-9510M (M)	FM	0,09%
FA Comb. (UHM)	FUHM	0,09%
Flokulan PLTSa	FLO	0,09%

Percobaan *jar test* menggunakan empat variabel dosis berbeda pada bahan kimia yang sama dengan kombinasi yang telah ditentukan. Kondisi operasional *jar test* sudah ditentukan berdasarkan pengujian pendahuluan yang sudah dilakukan untuk masing-masing bahan kimia. Kondisi operasi *jar test* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter operasional jar test

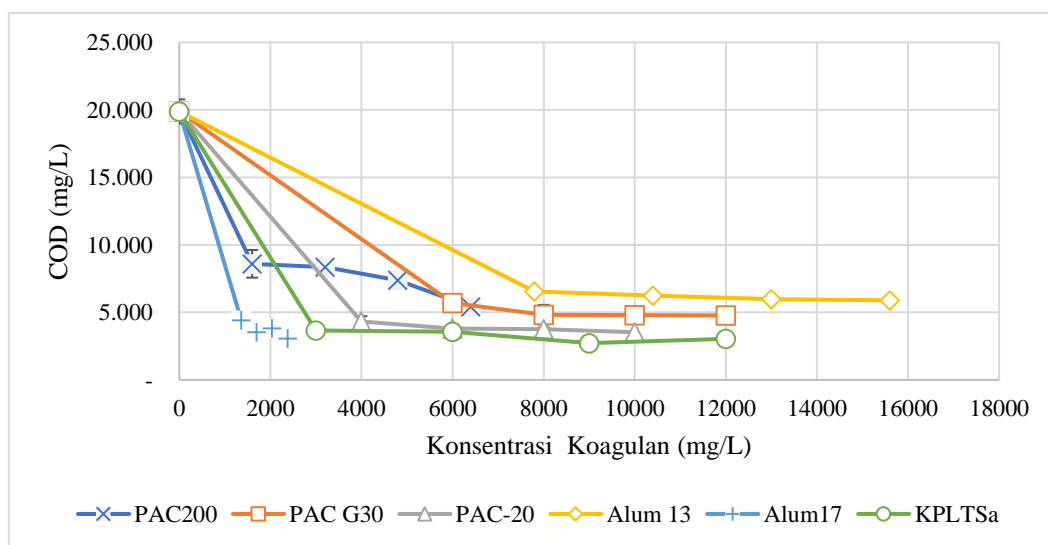
Parameter tetap	Waktu	Kecepatan Pengadukan
Waktu koagulasi	5 -10 menit	150 rpm
Waktu flokulasi	15-30 menit	50 rpm
pH		7,5-7,8
Suhu		26

Hasil *jar test* menunjukkan variasi koagulan dan flokulan menghasilkan operasi kimiawi yang berbeda terhadap air lindi. Beberapa perubahan yang terjadi meliputi penurunan derajat keasaman (pH) dan nilai COD. Pada penelitian pertama berbagai jenis koagulan dikombinasikan dengan flokulan tipe FM dimana terdapat penurunan COD tertinggi pada kombinasi koagulan flokulan Alum17-FM dengan efisiensi penurunan COD

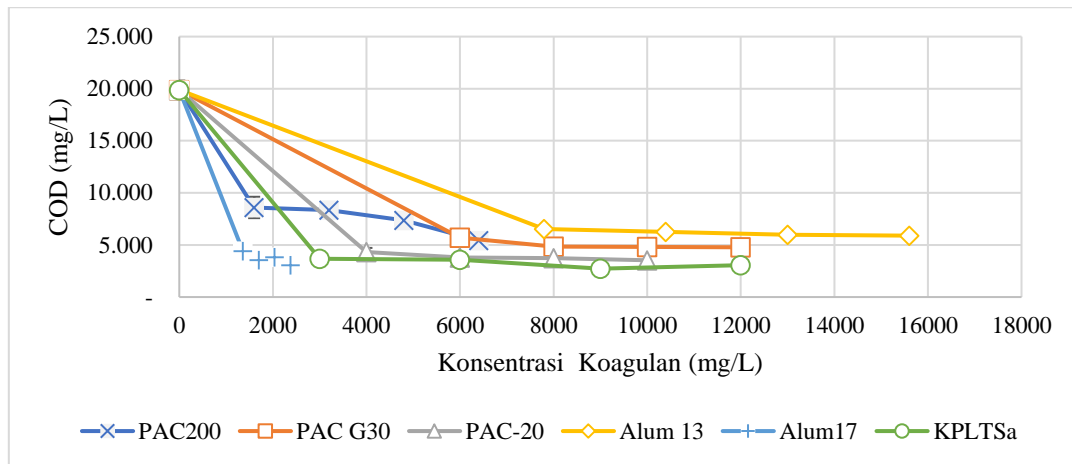
84,59%. Alum17-FM dapat menurunkan nilai COD 19.883 mg/L menjadi 3.063 mg/L. Jika dibandingkan dengan KPLTSa sebagai koagulan flokulan pembanding yang ada di PLTSa memiliki efisiensi koagulasi 86,30%, Alum17-FM masih belum mencukupi mengolah air lindi PLTSa secara optimal. Gambar 2 menunjukkan hasil percobaan *jar test*. Pada hasil percobaan *jar test* terdapat endapan yang dihasilkan oleh proses koagulasi dan flokulasi disertai dengan perubahan warna pada limbah lindi. Kadar COD diukur segera setelah *jar test* selesai. Pada Gambar 3 menunjukkan grafik penurunan nilai COD pada berbagai koagulan yang dikombinasikan dengan flokulan tipe FM dan dibandingkan dengan koagulan flokulan pembanding PLTSa.



Gambar 2. Hasil percobaan *jar test*

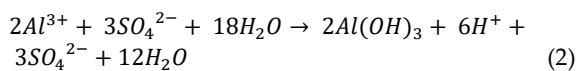
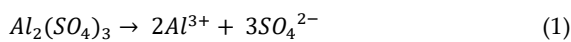


Gambar 3. Grafik penurunan nilai COD terhadap konsentrasi koagulan pada flokulan FM



Gambar 4. Grafik hubungan nilai COD dan penurunan pH terhadap dosis Alum17-FM

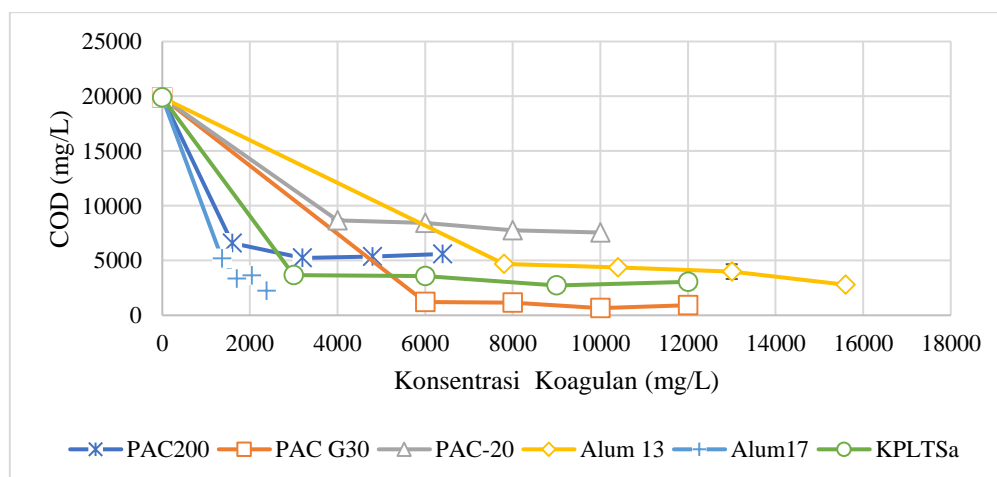
Alum bekerja optimal pada range pH 5,5–8. Selama koagulasi pengaruh pH air lindi terhadap ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> adalah penting untuk menentukan muatan hasil hidrolisis. Komposisi kimia air lindi juga penting, karena ion divalen seperti SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dapat diganti dengan ion-ion OH<sup>-</sup> dalam kompleks sehingga berpengaruh terhadap sifat-sifat endapan (Ningsih & Harmawan 2022). Pada percobaan Alum17-FM, terdapat penurunan pH selama proses koagulasi yang disebabkan oleh pelepasan ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion logam terhidrolisis membentuk flok aluminium hidroksida dan ion hidrogen akan bereaksi dengan alkalinitas air lindi sehingga dapat menurunkan nilai pH air limbah lindi yang diolah (Ningsih & Harmawan 2022). Mekanisme reaksi dapat ditunjukkan pada reaksi berikut:



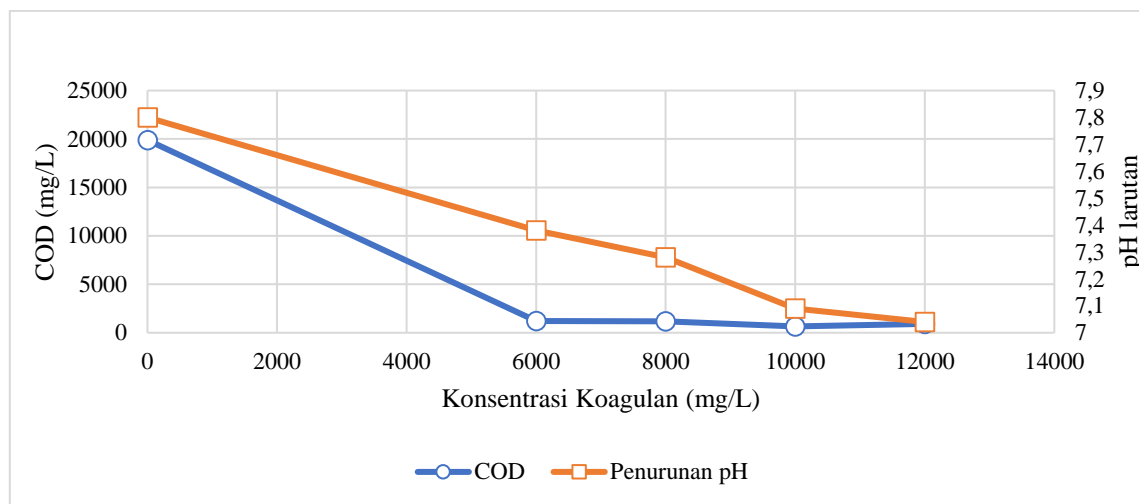
Reaksi ini menyebabkan pembebasan ion H<sup>+</sup> dengan kadar yang tinggi. Pada efisiensi tertinggi penurunan nilai COD air limbah lindi memiliki nilai penurunan dari pH 7,86 menjadi pH 7,01. Penurunan pH

ini masih dalam rentang baku mutu air lindi dimana pH baku mutu air lindi yang diolah yaitu antara pH 6 – 9. Gambar 4 menunjukkan grafik penurunan pH Alum17-FM.

Pada penelitian kedua, berbagai jenis koagulan dikombinasikan dengan flokulan tipe FUH dimana terdapat penurunan COD tertinggi pada kombinasi koagulan flokulan PACG30-FUH dengan efisiensi penurunan COD 96,71%. PACG30-FUH dapat menurunkan nilai COD 19.883 mg/L menjadi 654 mg/L. Hal ini disebabkan karena koagulan PACG30 lebih dahulu membentuk polimer hidroksi aluminium dibanding koagulan lain. Pengikatan partikel koloid ke dalam polimer dengan ukuran molekul yang lebih panjang, kemungkinan terbentuknya flok lebih besar dibanding senyawa koagulan lain dengan proses polimerisasi hidroksi aluminium lebih lambat (Lindu *et al.*, 2015). Jika dibandingkan dengan KPLTSa dengan efisiensi koagulasi 86,30%, PACG30-FUH sudah cukup mengolah air lindi PLTSa secara optimal. Pada Gambar 5 menunjukkan grafik penurunan nilai COD pada berbagai koagulan yang dikombinasikan dengan flokulan tipe FUH dan dibandingkan dengan koagulan flokulan pembeding PLTSa.

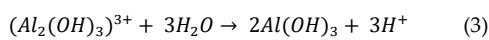


Gambar 5. Grafik penurunan nilai COD terhadap konsentrasi koagulan pada flokulan FUH



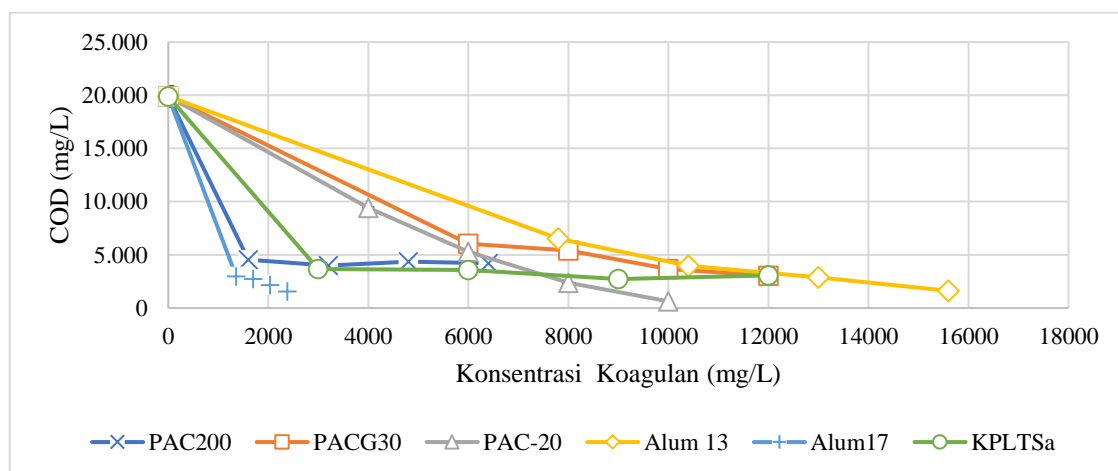
Gambar 6. Grafik hubungan nilai COD dan penurunan pH terhadap dosis PACG30-FUH

Pada percobaan PACG30 terdapat penurunan pH selama proses kimia. Penurunan pH dalam proses kimia pengolahan lindi PLTSa disebabkan oleh penggunaan PAC pada proses koagulasi yang menyebabkan pelepasan ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion hidrogen yang dihasilkan menyebabkan menurunnya pH air limbah lindi yang diolah (Budiman *et al.*, 2017). Reaksi pelepasan ion hidrogen dapat ditunjukkan pada reaksi berikut:



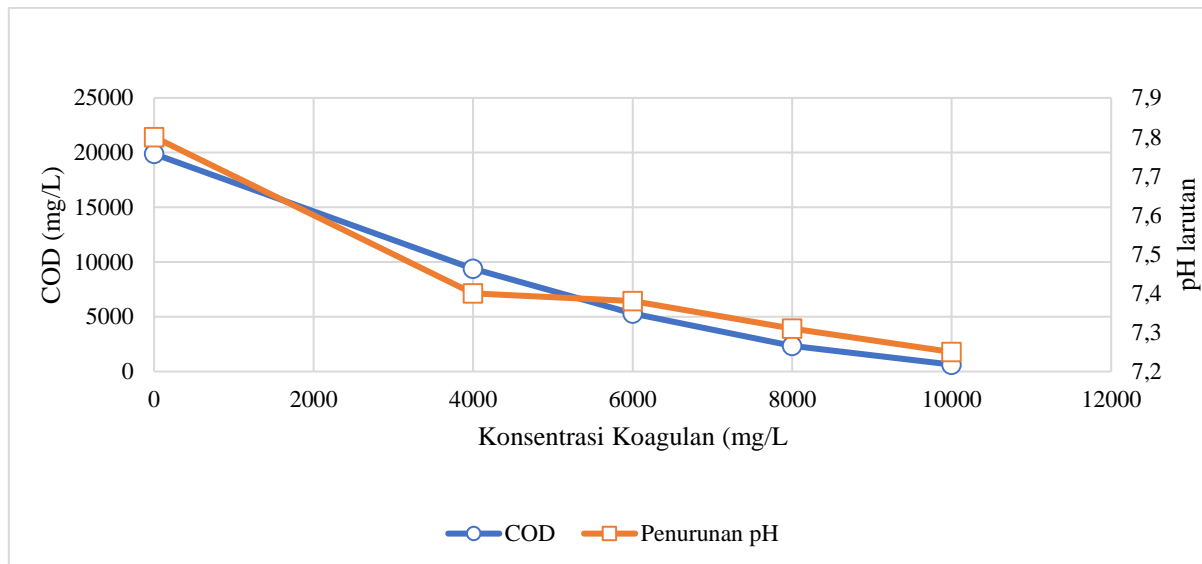
Pada efisiensi tertinggi penurunan nilai COD air limbah lindi memiliki nilai penurunan dari pH 7,83 menjadi pH 7,04. Penurunan pH ini masih dalam rentang baku mutu air lindi dimana pH baku mutu air lindi yang diolah yaitu antara pH 6 – 9. Gambar 6 menunjukkan grafik penurunan pH PACG30-FUH.

Pada penelitian ketiga, berbagai jenis koagulan dikombinasikan dengan flokulan tipe FUHM di mana terdapat penurunan COD tertinggi pada kombinasi koagulan flokulan PAC20-FUHM dengan efisiensi penurunan COD 96,81%. PAC20-FUHM dapat menurunkan nilai COD 19.883 mg/L menjadi 633 mg/L. Hal ini disebabkan karena koagulan PAC20 lebih dahulu membentuk polimer hidroksi aluminium dibanding koagulan lain. Pengikatan partikel koloid ke dalam polimer dengan ukuran molekul yang lebih panjang, kemungkinan terbentuknya flok lebih besar dibanding senyawa koagulan lain yang proses polimerisasi hidroksi aluminium lebih lambat (Lindu *et al.*, 2015). Efektivitas koagulasi PAC20-FUHM jika dibandingkan dengan KPLTSa dengan efisiensi koagulasi 86,30%, PAC20-FUHM sudah cukup mengolah air lindi PLTSa secara optimal. Pada Gambar 7 menunjukkan grafik penurunan nilai COD pada berbagai koagulan yang dikombinasikan dengan flokulan tipe FUHM dan dibandingkan dengan koagulan flokulan pembanding PLTSa.



Gambar 7. Grafik penurunan nilai COD terhadap konsentrasi koagulan pada flokulan FUHM

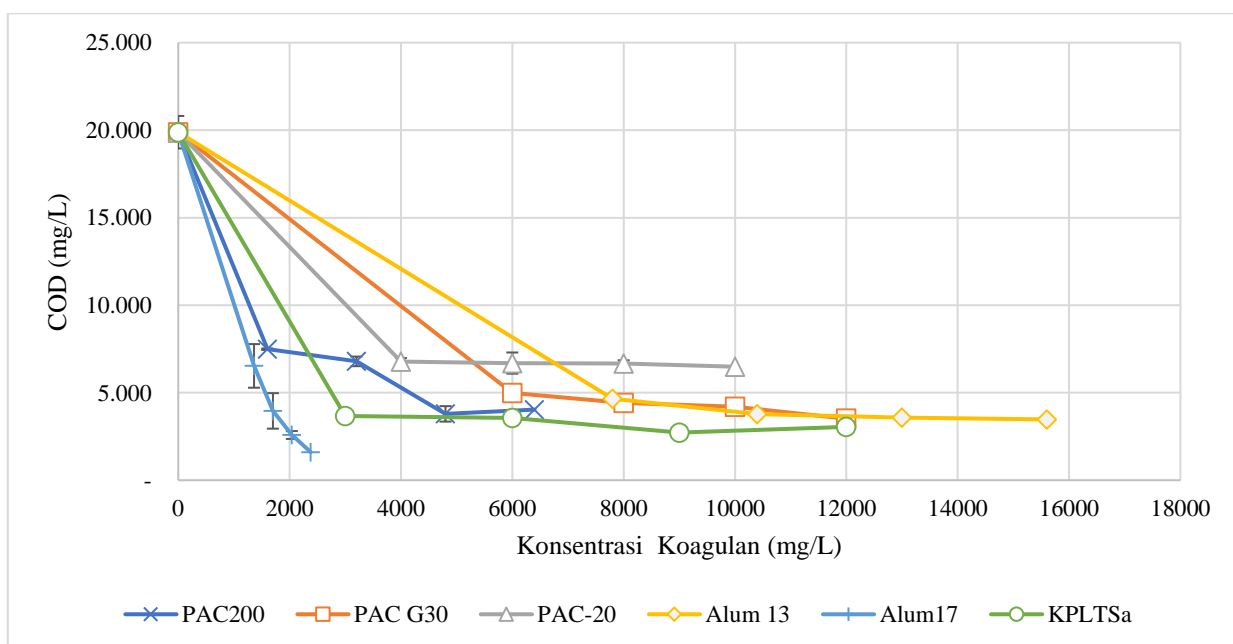




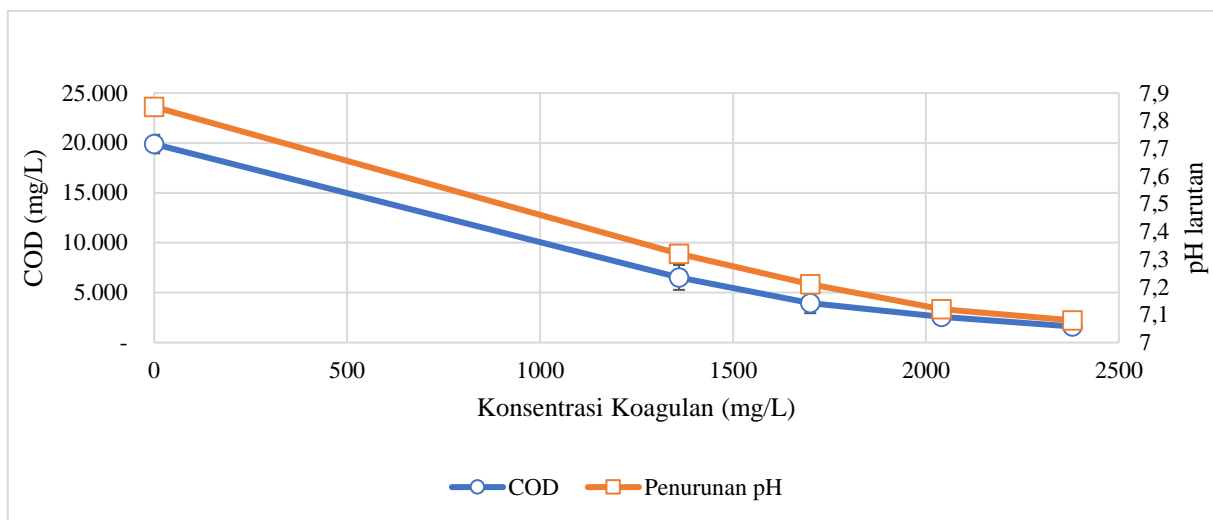
Gambar 8. Grafik hubungan nilai COD dan penurunan pH terhadap dosis PAC20-FUHM

Pada percobaan PAC20, terdapat penurunan pH selama proses kimia. Penurunan pH dalam proses kimia pengolahan lindi PLTSa disebabkan oleh penggunaan PAC pada proses koagulasi yang menyebabkan pelepasan ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion hidrogen yang dihasilkan menyebabkan menurunnya pH air limbah lindi yang diolah seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (3). Pada efisiensi tertinggi penurunan nilai COD air limbah lindi memiliki nilai penurunan dari pH 7,93 menjadi pH 7,25. Penurunan pH ini masih dalam rentang baku mutu air lindi dimana pH baku mutu air lindi yang diolah yaitu antara pH 6 – 9. Gambar 8 menunjukkan grafik penurunan pH PAC20-FUHM.

Pada penelitian keempat, berbagai jenis koagulan dikombinasikan dengan flokulan tipe Flokulan PLTSa di mana terdapat penurunan COD tertinggi pada kombinasi koagulan flokulan Alum17-FLO dengan efisiensi penurunan COD 91,91%. Alum17-FLO dapat menurunkan nilai COD 19.883 mg/L menjadi 1.608 mg/L. Jika dibandingkan dengan KPLTSa dengan efisiensi koagulasi 86,30%, PACG30-FUH masih belum cukup mengolah air lindi PLTSa secara optimal. Hal ini disebabkan nilai COD masih di kisaran angka > 1000 mg/L masih jauh dari target penurunan COD yaitu di bawah 1000 mg/L. Pada Gambar 9 menunjukkan grafik penurunan nilai COD pada berbagai koagulan yang dikombinasikan dengan flokulan PLTSa dan dibandingkan dengan koagulan flokulan pembeding PLTSa.



Gambar 9. Grafik penurunan nilai COD terhadap konsentrasi koagulan pada flokulan PLTSa



Gambar 10. Grafik hubungan nilai COD dan penurunan pH terhadap dosis Alum17-Flo

Pada percobaan Alum17-FLO terdapat penurunan pH selama proses kimia. Penurunan pH dalam proses kimia pengolahan lindi PLTSa disebabkan oleh penggunaan Aluminium Sulfat pada proses koagulasi yang menyebabkan pelepasan ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion hidrogen yang dihasilkan menyebabkan menurunnya pH air limbah lindi yang diolah seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (1) dan (2). Pada efisiensi tertinggi penurunan nilai COD air limbah lindi memiliki nilai penurunan dari pH 7,82 menjadi pH 7,08. Penurunan pH ini masih dalam rentang baku mutu air lindi dimana pH baku mutu air lindi yang diolah yaitu antara pH 6 – 9. Gambar 10 menunjukkan grafik penurunan pH Alum17-FLO.

#### 4. KESIMPULAN

Karakteristik air limbah lindi di PLTSa Bantargebang dipengaruhi oleh perubahan musim. Pada musim kemarau, air limbah lindi bersifat pekat dan memiliki nilai COD dan TSS yang sangat tinggi dibandingkan dengan air limbah lindi pada waktu musim penghujan. Nilai COD air limbah lindi PLTSa Bantargebang pada waktu musim kemarau mencapai 19.883 mg/L, sehingga perlu dilakukan penurunan nilai COD secara signifikan menggunakan proses kimia secara optimum. Redesain unit koagulasi dan flokulasi pada IPAL lindi PLTSa menjadi salah satu alternatif dengan melakukan penggantian bahan kimia koagulan flokulan eksisting. Proses koagulasi flokulasi dioptimalkan dengan penggunaan bahan kimia yang direncanakan untuk menurunkan nilai COD yang sangat tinggi yaitu jenis koagulan flokulan PACG30-FUH dan PAC20-FUHM dengan masing-masing efisiensi penurunan COD 96,71% dan 96,81%. Meskipun efisiensi penurunan nilai COD dalam air limbah lindi tinggi, masih belum cukup menurunkan kadar BOD/COD memenuhi baku mutu air lindi sesuai PermenLHK No 59 Tahun 2016, sehingga masih diperlukan pengolahan air limbah lindi lanjutan seperti pengolahan secara fisika dan biologis.

#### PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian dan penyempurnaan dalam penelitian ini. Penelitian ini sepenuhnya dibiayai oleh program beasiswa Sainstek dalam program pasca sarjana pegawai Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Kepada pembimbing Bapak Prof. Suprihatin dan Bapak Dr. Rudi Nugroho, M.Eng. yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penelitian ini serta kepada pihak PLTSa Bantargebang Bekasi yang telah memberikan izin dan data sekunder untuk pelaksanaan penelitian sampai tahap akhir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Atta, A. M., & Gamal, N. (2015). *Applied Technologies for Leachate Treatment*. (3):1–55. Cairo University Faculty of Engineering.
- Budiman, A., Wahyudi, C., Irawati, W., & Hindarso, H. (2017). *Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride Dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih*. Universitas Katolik Widya Mandala. Surabaya.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2017). *Pengelolaan Sampah Terpadu Edisi Kedua*. Institut Teknologi Bandung. ISBN 978-602-7861-33-6. Bandung
- Daryat, F., Zul, D., Fibriarti, B. L., Matematika, F., Alam, P., Bina, K., & Pekanbaru, W. (2017). *Analisis Kualitas Air Lindi Asal Tempat Pembuangan Akhir Sampah Kota Pekanbaru Berdasarkan Parameterbiologi, Fisika Dan Kimia*. Riau Biol. 2(1):68–80.
- Fajariyah, C., & Mangkoedihardjo, S. (2017). *Kajian Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan Teknik Lahan Basah menggunakan Tumbuhan Air*. Jurnal Teknologi ITS. 6(2).
- Husaini, H., Cahyono, S. S., Suganal, S., & Hidayat, K. N. (2018). *Perbandingan Koagulan Hasil Percobaan Dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode Jar Test*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara. 14(1):31.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016).

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah
- Lindu, M., Iswanto, B., & Senduk, N. (2015). Penentuan Koagulan Untuk Mengolah Air Lindi Bantar Gebang Menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chlorida, Tawas dan Polydiallyl Dimethyl Ammonium Chloride. *Jurnal Sains Material Indonesia*. 17(1):1-7.
- Ningsih, S., & Harmawan, T. (2022). Pengaruh Penambahan  $Al_2(SO_4)_3$  Terhadap Derajat Keasaman Air Baku pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Keumueneng Langsa. *Quim J Kim Sains dan Terap*. 4(1):20-23.
- Nugroho, R., & Mahmud, I. (2018). Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan proses AOPs. *Jurnal Air Indonesia*. 1(2):163-172.
- Oktaviasari, S. A., & Mashuri, M. (2016). Optimasi Parameter Proses Jar Test Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan PCR-TOPSIS (Studi Kasus: PDAM Surya Sembada Kota Surabaya). *Jurnal Sains*
- PerPres. (2018). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan. Presidential Regulation (PERPRES) concerning Acceleration of Construction of Waste Power Plant.
- Pusat Teknologi Lingkungan (PTL)-BPPT. (2017). Laporan Akhir Penyusunan Dokumen Studi Desain Pilot Project PLT Sampah, Buku 1, 2 dan 3.
- Rezagama, A., Hadiwidodo, M., Purwono, P., Ramadhani, N. F., & Yustika, M. (2016). Penyisihan Limbah Organik Air Lindi TPA Jatibarang Menggunakan Koagulasi-Flokulasi Kimia. *Teknik*. 37(2):78.
- Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah – Teori dan Aplikasi*. Erlangga. Jakarta.
- Said, N. I. (2018). Uji Kinerja Pengolahan Air Siap Minum Dengan Proses Biofiltrasi, Ultrafiltrasi Dan Reverse Osmosis (RO) Dengan Air Baku Air Sungai. *Jurnal Air Indonesia*. 5(2):144-161.
- Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*. 8(1).
- Winanti, W. S. (2018). Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). *Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan (58)*:1-5.
- Yusmartini, E. S., Mardwita, M., & Fahmi, I. A. (2021). Sosialisasi Pengolahan Lindi Menjadi Pupuk Cair Di Tps-3R Kelurahan Talang Kelapa Kecamatan Alang-Alang Lebar Palembang Sumatera Selatan. *J Widya Laksana*. 10(1):33..