

Pemantauan pH dan Total Padatan Tersuspensi pada Air Limbah Kegiatan Penambangan dan Pengolahan Bijih Besi di PT Adidaya Tangguh, Desa Tolong, Kecamatan Ledo Kabupaten Pulau Taliabu, Provinsi Maluku Utara

Musadad Muhammad Nur^{*}, Solihin, Elfida Moralista

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*emusadad.mn@gmail.com

Abstract. PT Adidaya Tangguh is a private company engaged in the iron ore mining industry by implementing an open mining system. This system has an impact on the landscape and ecosystem on the surface of the earth, one of which is water pollution. Regulation of the Minister of Environment (Permen LH) No. 21 of 2009 in regards of Wastewater Standards for Iron Mining Activities is an environmental compliance standard stipulated by the government regarding iron ore mining activities that contain quality standards for wastewater that are permitted from iron ore mining activities. This potential for water pollution makes it important to monitor pH and total suspended solids (TSS) in wastewater so that steps can be taken before wastewater is released into the river. Daily wastewater monitoring in the period of April 2018 showed the pH level of wastewater at each monitoring point ranged from 5-6. The TSS parameters sequentially from the pit, disposal, and processing plant monitoring points range from 12–4.378 mg/L, 9–4.984 mg/L and 7–257 mg/L. The pH and TSS in wastewater at each monitoring point are still found to exceed the quality standards for iron ore mining wastewater so that certain treatments are required to comply with the specified wastewater quality standards. Total material discharge estimated to enter the iron ore mining pit area is 3.346,578 m³ / day, consisting of 3.316,418 m³ / day of water and sediment of 30,16 m³ / day. Thus the recommended wastewater treatment plant is the construction of a sediment pond with a storage capacity of 240 m³. Details of the dimensions of the sediment pond are 12 m long, 4 m wide and 5 m deep.

Keywords: Wastewater, Iron Ore, Water pH, Total Suspended Solid (TSS)

Abstrak. PT Adidaya Tangguh merupakan perusahaan swasta yang bergerak di bidang industri pertambangan bijih besi dengan menerapkan sistem penambangan terbuka. Sistem ini berdampak terhadap bentang alam dan ekosistem pada permukaan bumi, salah satunya pencemaran air. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) Nomor 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi merupakan standar penataan lingkungan yang ditetapkan pemerintah berkenaan dengan kegiatan pertambangan bijih besi yang memuat baku mutu air limbah yang diizinkan dari kegiatan pertambangan bijih besi. Potensi pencemaran air ini menjadikan pentingnya pemantauan pH dan total padatan

tersuspensi (TSS) pada air limbah sehingga dapat diambil langkah-langkah yang diperlukan sebelum air limbah dialirkan ke sungai. Pemantauan air limbah harian periode bulan April 2018 menunjukkan pH air limbah pada masing-masing titik pemantauan berkisar antara 5-6. Parameter TSS secara berurutan dari titik pemantauan *pit*, *disposal*, dan pabrik pengolahan berkisar antara 12–4.378 mg/L, 9–4.984 mg/L dan 7–257 mg/L. pH dan TSS pada air limbah di masing-masing titik pemantauan masih didapati melebihi baku mutu air limbah kegiatan pertambangan bijih besi sehingga memerlukan penanganan tertentu agar sesuai dengan baku mutu air limbah yg ditetapkan. Debit total material yang diperkirakan masuk ke area *pit* penambangan bijih besi adalah 3.346,578 m³/hari, terdiri dari air sebesar 3.316,418 m³/hari dan sedimen sebesar 30,16 m³/hari. Dengan demikian instalasi pengolahan air limbah yang direkomendasikan adalah pembuatan kolam pengendapan yaitu kolam sedimen (*sediment pond*) dengan kapasitas penampungan 240 m³. Rincian dimensi kolam pengendapan adalah panjang 12 m, lebar 4 m dan kedalaman 5 m.

Kata Kunci : Air Limbah, Bijih Besi, pH Air, Total Padatan Tersuspensi (TSS)

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Bijih besi merupakan salah satu komoditas tambang yang jumlahnya melimpah di Indonesia. Pusat Sumberdaya Geologi pada tahun 2013 mencatat sumberdaya bijih besi di Indonesia sebesar 4.708.964.413,52 ton yang tersebar dalam endapan besi laterit, besi primer, dan pasir besi. Potensi sumberdaya yang besar tersebut menjadikan bijih besi sebagai salah satu komoditi tambang yang layak untuk diusahakan. PT Adidaya Tangguh merupakan perusahaan swasta yang bergerak di bidang pertambangan bijih besi dengan menerapkan sistem penambangan terbuka. Sistem penambangan terbuka berdampak terhadap bentang alam, sifat fisika, kimia dan biologis tanah, serta secara umum menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi. Dampak ini secara otomatis akan mengganggu ekosistem di atasnya, termasuk pencemaran air.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) Nomor 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi merupakan standar penataan lingkungan yang dikeluarkan pemerintah berkenaan dengan air limbah kegiatan penambangan dan pengolahan bijih besi. Potensi Pencemaran air inilah yang menjadikan pentingnya studi Pemantauan pH dan Total Padatan Tersuspensi pada Air Limbah Kegiatan Penambangan dan Pengolahan Bijih Besi di PT Adidaya Tangguh, Desa Tolong, Kecamatan Lede Kabupaten Pulau Taliabu, Provinsi Maluku Utara. Dengan demikian dapat diambil langkah-langkah yang diperlukan agar kualitas air limbah dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan sebelum dialirkan ke sungai.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai pH dan TSS air limbah pada titik-titik pemantauan di *pit*, *disposal* dan pabrik pengolahan bijih besi.
2. Mengetahui besarnya debit air dan sedimen yang masuk ke area *pit* penambangan bijih besi.
3. Mengetahui model instalasi pengolahan air limbah yang tepat pada area *pit* penambangan bijih besi agar kualitas air limbah di area penambangan bijih besi sesuai dengan baku mutu air limbah berdasarkan Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi.

2. Landasan Teori

Air Limbah

Air limbah adalah air yang telah mengalami penurunan kualitas karena pengaruh kegiatan penambangan dan pengolahan. Baku mutu air limbah bagi kegiatan pertambangan bijih besi sebagai mana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) Nomor 21 tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Pertambangan Bijih Besi

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	
			Kegiatan Penambangan	Kegiatan Pengolahan
1	pH	mg/L	6 – 9	6 – 9
2	TSS	mg/L	200	50
3	Besi (Fe)	mg/L	5	5
4	Mangan (Mn)	mg/L	1	1
5	Seng (Zn)	mg/L	5	5
6	Tembaga (Cu)	mg/L	1	1
7	Timbal (Pb)	mg/L	0,1	0,1
8	Nikel (Ni)	mg/L	0,5	0,5
9	Kromium [Cr (VI)]	mg/L	0.1	0.1

Sumber : Permen LH No. 21 tahun 2009

Debit Air Limpasan

Limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang paling rendah tanpa memperhatikan asal atau jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran. Limpasan yang muncul akan sangat dipengaruhi oleh jenis kondisi wilayah yang dilalui air limpasan, dimana masing-masing jenis kondisi wilayah memiliki koefisien yang berbeda-beda. Debit limpasan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = 0,278.C.I.A \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

- Q : Debit limpasan (m³/jam)
- C : Koefisien limpasan
- I : Intensitas curah hujan (m/jam)
- A : Luas catchment area (m²)

Laju Erosi Lahan

Laju erosi lahan merupakan perkiraan besarnya erosi yang akan terjadi pada suatu lahan, apabila pengelolaan lahan tidak dilakukan dengan tepat. Laju erosi lahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Universal Soil Loss Equation* atau USLE, sebagai berikut.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \dots\dots\dots (2)$$

Dimana,

- A : Laju erosi tanah (ton/ha/th)
- R : Indeks erosivitas hujan
- K : Indeks erodibilitas tanah
- L : Indeks panjang lereng
- S : Indeks kemiringan lereng
- C : Indeks penutupan vegetasi
- P : Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah

Analisis Sedimen

Besarnya volume partikel yang terendapkan dapat ditentukan melalui analisis

sedimen. Analisis sedimen dapat dilakukan melalui pendekatan nisbah pengantar sedimen atau *sediment delivery ratio* (SDR). SDR adalah perbandingan antara sedimen yang dihasilkan dengan erosi lahan. Berdasarkan nilai SDR dapat dihitung dugaan muatan erosi atau erosi potensial dengan persamaan berikut.

$$MS = E \times SDR \dots \dots \dots (3)$$

Dimana,

- MS : Sedimen potensial (ton/tahun)
- E : Erosi aktual (ton/tahun)
- SDR : Nisbah pengantar sedimen

Instalasi Pengolahan Air Limbah

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) adalah sistem yang dibangun untuk mengelola air limbah agar sesuai dengan baku mutu lingkungan sebelum dikembalikan ke badan air penerima. Dalam pemodelan IPAL, beberapa aspek yang perlu diperhitungkan adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan pengendapan partikel (V). Pengendapan partikel diskret yang dapat mengendap bebas secara individual tanpa membutuhkan interaksi antar partikel. Kecepatan pengendapan dihitung sesuai dengan ukuran diameter sedimen dalam air. Pengendapan partikel diskret untuk aliran laminar dapat dihitung menggunakan persamaan Hukum Stokes sebagai berikut.

$$V_t = \frac{g \times D \times (\rho_s - \rho_\alpha)}{18\mu} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana,

- V_t : Kecepatan pengendapan partikel (m/det)
- g : Percepatan gravitasi (m/det²)
- D : Diameter partikel padatan (m)
- ρ_s : Berat jenis partikel padatan (kg/m³)
- ρ_α : Berat jenis air (kg/m³)
- μ : Kekentalan dinamik air (kg/m.det)

2. Luas kolam pengendapan (A), dapat dihitung dengan rumusan berikut:

$$A = \frac{Q_{total}}{V} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana,

- A : Luas kolam pengendapan (m²)
- Q_{total} : Debit total (air + padatan) (m³/det)
- V_t : Kecepatan pengendapan partikel (m/det)

3. Geometri kolam pengendapan ditentukan dengan mempertimbangkan kemampuan alat mekanis yang digunakan. Lebar (l) kolam pengendapan disesuaikan dengan jangkauan gali horizontal alat mekanis. Kedalaman (h) kolam pengendapan disesuaikan dengan jangkauan gali vertikal alat mekanis. Lebar sekat (a) antar kolam pengendapan disesuaikan dengan lebar terluar rantai alat mekanis ditambahkan 0,5 m sebagai pengaman. Panjang kolam pengendapan dapat dihitung dengan rumus:

$$p = \frac{A}{l} \dots \dots \dots (6)$$

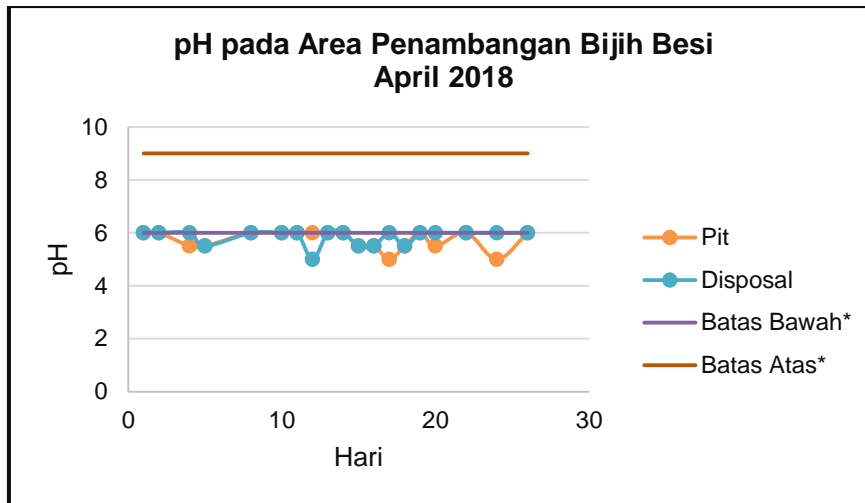
Dimana,

- p : panjang kolam pengendapan (m)
- A : Luas kolam pengendapan (m²)
- l : lebar kolam pengendapan (m)

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisa pH Air Limbah pada Area Penambangan Bijih Besi

Berdasarkan kegiatan pemantauan air limbah harian di titik pemantauan *pit* dan titik pemantauan *disposal* diperoleh nilai pH air limbah berkisar antara 5–6 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

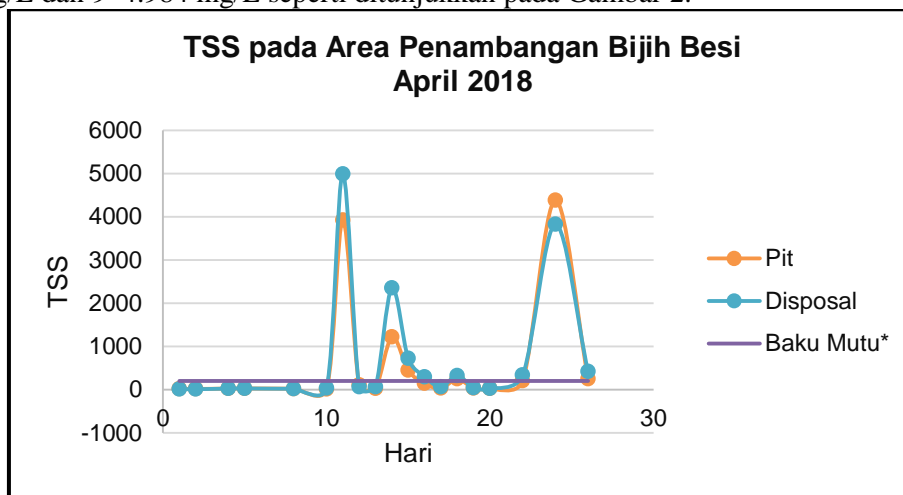


Gambar 1. Grafik pH Air Limbah pada Area Penambangan Bijih Besi

pH air limbah terendah yang terpantau pada area penambangan bijih besi adalah 5 sehingga kondisi air limbah pada area ini cenderung bersifat asam. Hal ini dimungkinkan karena adanya mineral pirit yang merupakan mineral sulfida di dalam satuan Bijih Besi sesuai dengan kajian stratigrafi lokasi penelitian. Angka tersebut menunjukkan bahwa masih ditemukannya keadaan air yang belum sesuai dengan Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, lampiran pertama (I)* sehingga diperlukan perencanaan pengolahan pH air limbah yang sesuai.

Analisa TSS Air Limbah pada Area Penambangan Bijih Besi

Berdasarkan kegiatan pemantauan air limbah harian di titik pemantauan *pit* dan titik pemantauan *disposal* diperoleh nilai TSS air limbah secara berurutan berkisar antara 12 - 4.378 mg/L dan 9–4.984 mg/L seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



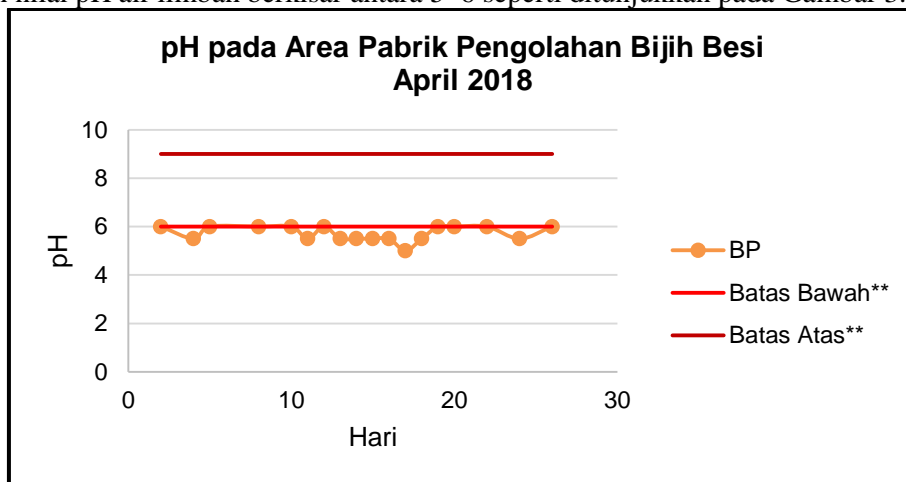
Gambar 2. Grafik TSS Air Limbah pada Area Penambangan Bijih Besi

Rentang angka tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan air yang dilakukan belum maksimal karena melebihi batas baku mutu air limbah sesuai dengan Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, lampiran pertama (I)*. Nilai TSS yang fluktuatif disebabkan karena kondisi pengukuran yang berbeda setiap harinya. Berdasarkan pemantauan di lapangan, TSS sangat dipengaruhi oleh

kondisi cuaca dan rentangnya terhadap waktu pengambilan sampel. Apabila pengambilan sampel dilakukan pada kondisi hujan deras atau pada rentang waktu yang kecil setelah hujan, maka nilai TSS cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai TSS dipengaruhi oleh laju aliran air dimana semakin deras aliran air semakin tinggi pula nilai TSS karena potensi terjadinya erosi semakin tinggi. Air limpasan hujan sangat berpotensi mengerosi lapisan batuan maupun tanah yang telah terekspos sehingga meningkatkan kandungan TSS dalam air. Berdasarkan kondisi tersebut, maka diperlukan perencanaan pengolahan TSS air limbah yang sesuai.

Analisa pH Air Limbah pada Area Pengolahan Bijih Besi

Berdasarkan kegiatan pemantauan air limbah harian di titik pemantauan pabrik pengolahan diperoleh nilai pH air limbah berkisar antara 5–6 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

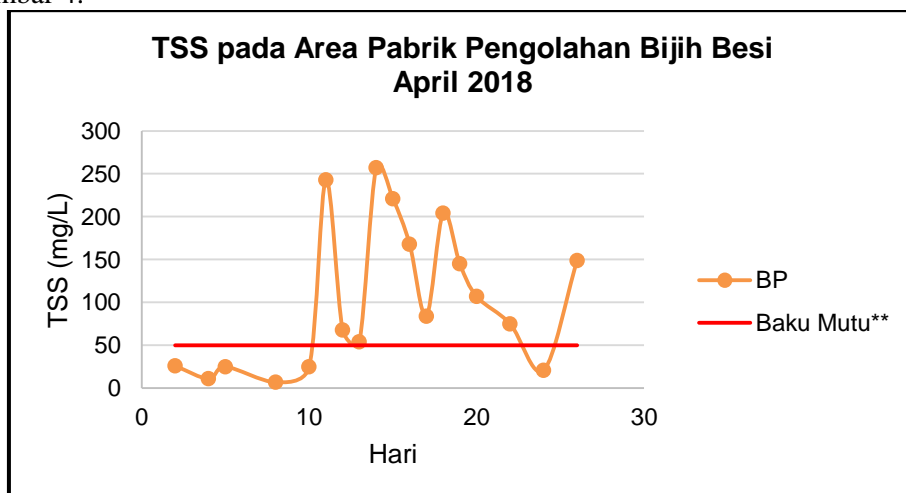


Gambar 3. Grafik pH Air Limbah pada Area Pengolahan Bijih Besi

pH air limbah terendah yang terpantau pada area penambangan bijih besi adalah 5 sehingga kondisi air limbah pada area ini cenderung bersifat asam. Hal ini dimungkinkan karena adanya mineral pirit yang merupakan mineral sulfida di dalam satuan Bijih Besi sesuai dengan kajian stratigrafi lokasi penelitian. Angka tersebut menunjukkan bahwa masih ditemukannya keadaan air yang belum sesuai dengan Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, lampiran pertama (II)** sehingga diperlukan perencanaan pengolahan pH air limbah yang sesuai.

Analisa TSS Air Limbah pada Area Pengolahan Bijih Besi

Berdasarkan kegiatan pemantauan air limbah harian di titik pemantauan pabrik pengolahan, diperoleh nilai kandungan TSS air limbah berada pada rentang 7–257 mg/L seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik TSS Air Limbah pada Area Pengolahan Bijih Besi

Rentang angka tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan air yang dilakukan belum maksimal karena melebihi batas baku mutu air limbah sesuai dengan Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi, lampiran kedua (II)**. Nilai TSS yang fluktuatif disebabkan karena kondisi pengukuran yang berbeda setiap harinya. Berdasarkan pemantauan di lapangan, TSS sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan rentangnya terhadap waktu pengambilan sampel. Apabila pengambilan sampel dilakukan pada kondisi hujan deras atau pada rentang waktu yang kecil setelah hujan, maka nilai TSS cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan air limpasan hujan juga berpotensi membawa partikel material dari tempat lain menuju area pabrik pengolahan, sehingga meningkatkan kandungan TSS pada titik pemantauan ini. Struktur saluran kolam pengendap yang tidak dibeton juga berpotensi meningkatkan nilai TSS akibat pengikisan air terhadap dinding saluran kolam pengendap apabila aliran air deras saat hujan.. Berdasarkan kondisi tersebut, maka diperlukan perencanaan pengolahan TSS air limbah yang sesuai.

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Dikarenakan keterbatasan data, perencanaan IPAL hanya dilakukan untuk penanganan TSS di area *pit* penambangan bijih besi.

1. Debit material yang masuk ke area *pit* penambangan dibagi menjadi debit air dan sedimen dengan perhitungan sebagai berikut:

- a. Debit air limpasan.

$$\begin{aligned} Q &= 0,278.C.I.A \\ &= 0,278 \times 0,9 \times 12,282 \text{ mm/jam} \times 0,3 \text{ km}^2 \\ &= 3.316,148 \text{ m}^3/\text{hari} \text{ (3.316.148,114 liter/hari)} \\ &= 0,922 \text{ m}^3/\text{det.} \end{aligned}$$

- b. Debit Sedimen, dihitung berdasarkan sedimen potensial yang masuk ke area *pit*.

$$\begin{aligned} \text{Sedimen potensial} &= \text{Erosi aktual} \times \text{SDR} \\ &= 26.376,178 \text{ ton/tahun} \times 0,455 \\ &= 12.001,161 \text{ ton/tahun} \\ &= 11.010,240 \text{ m}^3/\text{tahun} \text{ (BD} = 1,09 \text{ ton/m}^3\text{)} \\ &= 30,16 \text{ m}^3/\text{hari} \text{ (32.879.893.747 mg/hari)} \\ &= 0,00035 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh debit total (Q_0) yang harus ditangani oleh kolam pengendapan area *pit* penambangan yaitu sebesar $0,92224 \text{ m}^3/\text{det}$.

2. Model IPAL pada Area *Pit* Penambangan

- a. Luas kolam pengendapan (A), diperoleh dengan membandingkan besarnya Q_0 dengan laju pengendapan partikel.

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q_0}{V_s} \\ &= \frac{0,92224 \text{ m}^3/\text{det}}{0,026 \text{ m/det}} \\ &= 35,471 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b. Luas kolam pengendapan efektif (A_{ff}), merupakan luas kolam pengendapan yang dikalikan dengan faktor pengaman untuk memberikan daya tampung lebih dari daya tampung kolam sebenarnya.

$$\begin{aligned} A_{ff} &= A \times 1,2 \\ &= 35,471 \text{ m}^2 \times 1,2 = 42,565 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Dimensi kolam pengendapan

- i. Lebar kolam (l)

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{\frac{Aff}{P}} \\
 &= \sqrt{\frac{42,565 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}} \\
 &= 3,767 \text{ m} \\
 &\approx 4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ii. Panjang kolam (p)

$$\begin{aligned}
 p &= 3 \times l \\
 &= 3 \times 4 \text{ m} \\
 &= 12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

iii. Kedalaman kolam (h):

Kedalaman kolam ditentukan 5 meter, dengan tinggi pengendapan diizinkan adalah 2 m (*storage height*), dan 3 m sisanya adalah tinggi aliran air (*flow height*).

Berdasarkan perhitungan-perhitungan diatas, maka direkomendasikan pembuatan kolam sedimen sebagai sarana IPAL dengan kapasitas tampung 240 m³.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kegiatan penelitian dan analisis data, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter air limbah pada titik pemantauan *pit* diperoleh pH air berkisar antara 5–6 dan TSS berkisar antara 12–4.378 mg/L. Parameter air limbah pada titik pemantauan *disposal* diperoleh pH air berkisar antara 5–6 dan TSS berkisar antara 9–4.984 mg/L. Serta parameter air limbah pada titik pemantauan pabrik pengolahan diperoleh pH air berkisar antara 5–6 dan TSS berkisar antara 7–257 mg/L. Air limbah pada masing-masing area ini masih didapati melebihi baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam Permen LH No. 21 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi.
2. Debit total material yang masuk ke area *pit* penambangan bijih besi adalah 3.346,578 m³/hari, terdiri dari air sebesar 3.316,418 m³/hari dan sedimen sebesar 30,16 m³/hari.
3. Instalasi pengolahan air yang direkomendasikan adalah pembuatan kolam pengendapan yaitu kolam sedimen (*sediment pond*) dengan kapasitas penampungan 240 m³. Rincian dimensi kolam sedimen adalah panjang 12 m lebar 4 m dan kedalaman 5 m.

5. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel sebaiknya dilakukan pada waktu yang sama setiap harinya, dimana waktu pengambilan dilakukan sore hari (satu jam sebelum selesai *shift* kerja).
2. Pengolahan air limbah sebaiknya dioptimalkan lagi, mengingat hasil pemantauan menunjukkan masih ditemukannya kondisi air limbah yang tidak sesuai dengan baku mutu air limbah, baik pH maupun TSS.
3. Perlu dilakukan uji TSS dengan menggunakan metode analisis gravimetri, sehingga menghasilkan model IPAL yang lebih akurat.
4. Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk menentukan dosis kapur yang tepat untuk menentralkan pH air limbah pada lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2009, “Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Bijih Besi”, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 21 Tahun 2009.
- Anonim, 2018, “Data Pemantauan Harian Kualitas Air Limbah di AdidayaTangguh”, Environment Department PT Adidaya Tangguh.

- Arsyad S., 2010, “Konservasi Tanah dan Air”, Serial Pustaka IPB Press. Bogor.
- Asdak Chay, 2002, “Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai”, Cetakan kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Br., Harto, Sri, 1993, “Analisis Hidrologi”, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Gautama, R.S., 1999, “Sistem Penyaliran Tambang”, Institut Teknologi Bandung, Bandung.\
- Harun, dkk, 2008, “Pedoman Teknis Pengolahan Air Limbah Tambang Batubara Terbuka”, Kementrian Negara Lingkungan Hidup.
- P., Juanda D., 2014, “Hidrogeologi Umum”, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Said, I, N., 2014, “Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara”, Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Widowati, W., 2008, “Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran”, Yogyakarta: Penerbit Andi
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson, and B.V. Cross., 1971, “A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites”, *Journal of Soil and Water Conservation* 26:189-193.
- Wischmeier W.H., and D.D. Smith, 1978, “Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Erosion Planning”, USDA, Washington, D.C.