

KAJIAN PERHITUNGAN DEBIT LIMPASAN YANG MASUK PADA SETTLING POND EFO DI PT GAG NIKEL PROVINSI PAPUA BARAT DAYA

Felice Deglardini Wopari^{1*}), Fandi Arapenta Ginting¹⁾, Fajrianti Nur Hajijah¹⁾,
Lia Medy Tandy¹⁾

Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Cendrawasih Jayapura
Jl. Kamp Wolker. Kelurahan Yabansai, Distrik Heram Jayapura-Papua
*)Penulis Korespondensi: felicedeglardiniw@gmail.com

Abstract

Settling Pond EFO is one of the mine water management facilities managed by PT Gag Nikel, functioning as a water reservoir and sedimentation deposition site. This study evaluates the suitability of the Settling Pond EFO capacity to the incoming runoff discharge, especially in high rainfall conditions. Based on the analysis results, the runoff discharge entering the Settling Pond EFO reached 0.42 m³/second, with a catchment area of 0.188 km² and a rainfall intensity of 10.54 mm/hour. The evaluation showed three main findings: (1) There is a change in volume between the initial design of the pond and the actual conditions due to long-term use; (2) The Settling Pond EFO has the potential to be full if it rains for 11 hours; and (3) The Settling Pond capacity has not been optimally utilized, with the remaining unfilled volume of 1,636.90 m³. These results indicate the importance of optimizing the capacity and management of the Settling Pond to overcome the risk of excess runoff.

Keywords: Runoff Discharge, Settling Pond Capacity, Settling Pond, Water Catchment Area

Abstrak

Settling Pond EFO merupakan salah satu fasilitas pengelolaan air tambang yang dikelola oleh PT Gag Nikel, berfungsi sebagai tempat penampungan air dan pengendapan sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas Settling Pond EFO terhadap debit limpasan yang masuk, terutama pada kondisi curah hujan tinggi. Berdasarkan hasil analisis, debit limpasan yang masuk ke Settling Pond EFO mencapai 0,42 m³/detik, dengan luas catchment area sebesar 0,188 km² dan intensitas curah hujan 10,54 mm/jam. Evaluasi menunjukkan tiga temuan utama: (1) Terdapat perubahan volume antara desain awal kolam dengan kondisi aktual akibat penggunaan jangka panjang; (2) Settling Pond EFO berpotensi penuh jika terjadi hujan dengan durasi 11 jam; dan (3) Kapasitas Settling Pond belum dimanfaatkan secara optimal, dengan sisa volume yang belum terisi sebesar 1.636,90 m³. Hasil ini menunjukkan pentingnya optimalisasi kapasitas dan pengelolaan Settling Pond untuk mengatasi risiko kelebihan limpasan.

Kata Kunci: Daerah Tangkapan Air, Debit Limpasan, Kapasitas Settling Pond, Kolam Pengendapan

PENDAHULUAN

Pada musim hujan, air yang mengalir di permukaan bumi mengalami proses yang berbeda-beda tergantung pada kondisi lingkungan. Sebagian air hujan terserap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan menjadi bagian dari air tanah, sementara sisanya mengalir di permukaan sebagai air limpasan (Asdak, 2002). Volume air limpasan sangat dipengaruhi oleh topografi, dengan aliran limpasan yang meningkat pada daerah dengan kemiringan lereng yang lebih curam (Haeruman, 1994).

Catchment area, sebagai bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS), didefinisikan sebagai wilayah yang dibatasi oleh punggung bukit atau pemisah topografi, berfungsi untuk menerima, menyimpan,

dan mengalirkan air hujan menuju aliran sungai hingga bermuara ke laut (Asdak, 2002). Air limpasan yang mengalir dengan cepat membentuk aliran debit yang signifikan (Asdak, 2014). Masalah pengelolaan air sering menjadi tantangan utama di wilayah pertambangan. Topografi area tambang, yang umumnya berupa perbukitan dan dataran tinggi (Michael, 2010), memperbesar risiko terbentuknya limpasan permukaan. Akumulasi air hujan dan limpasan yang tidak terkelola dengan baik dapat menghambat operasi tambang dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar (Younger, 2004).

Salah satu syarat untuk memastikan kelancaran kegiatan operasional tambang adalah

menciptakan kondisi kerja yang bebas dari genangan air, baik di daerah kerja maupun jalan tambang (Cahyadi, T.A., et al., 2020). Berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik, pengelolaan air tambang menjadi salah satu aspek penting dalam perencanaan tambang. Salah satu metode pengelolaan air limpasan adalah melalui *mine dewatering* atau penyaliran tambang (Gautama, 2019). Dalam hal ini, *settling pond* atau kolam pengendapan sering digunakan sebagai solusi. Selain berfungsi sebagai penampung air tambang sebelum dialirkan ke badan air seperti sungai atau laut, *settling pond* juga berperan dalam mengendapkan lumpur atau material padatan yang terbawa oleh limpasan akibat aktivitas tambang atau erosi (Younger, 2004; Kurnia, D., et al., 2018).

Settling Pond EFO merupakan salah satu fasilitas pengelolaan air tambang yang dikelola oleh PT Gag Nikel. Namun, pada kondisi curah hujan tinggi, kapasitas *settling pond* seringkali menjadi perhatian karena volume limpasan yang tinggi dapat melampaui kapasitas tampungnya. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan kajian mengenai kesesuaian kapasitas *settling pond* terhadap debit limpasan yang masuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas *Settling Pond* EFO dalam menampung debit limpasan guna mencegah potensi permasalahan teknis maupun lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di *Settling Pond* EFO PT Gag Nikel dengan menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dan komparatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dua variabel utama, yaitu debit limpasan dan kapasitas tampung *settling pond*. Data diperoleh melalui observasi lapangan dan studi pustaka. Data primer meliputi dimensi dan volume *settling pond*, sedangkan data sekunder mencakup curah hujan periode 2018–2022 dan peta topografi Pulau Gag.

Pengolahan data diawali dengan analisis intensitas curah hujan berdasarkan durasi 1–10 jam untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, 25, dan 50 tahun. Selanjutnya, luas *catchment area* dihitung menggunakan peta topografi, sedangkan koefisien limpasan ditentukan berdasarkan jenis penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Debit limpasan dihitung menggunakan rumus rasional, dengan memperhitungkan parameter-parameter tersebut.

Evaluasi kapasitas *settling pond* dilakukan dengan menghitung kedalaman rata-rata kolam berdasarkan hasil pengukuran di setiap kolam pengendapan. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan volume debit limpasan untuk menilai apakah kapasitas kolam mencukupi dalam menampung aliran limpasan yang terjadi. Seluruh tahapan penelitian dirangkum dalam diagram alir yang disajikan pada Gambar 1.

Analisis Statistik

Perhitungan curah hujan rencana saling berkaitan dengan analisis statistik data antara lain sesuai yang tertulis dalam Suripin (2004) dan Soewarno (1995):

Nilai Curah Hujan Rata-Rata

$$X = \left(\frac{\sum X_i}{n} \right) \quad (1)$$

Standar Deviasi

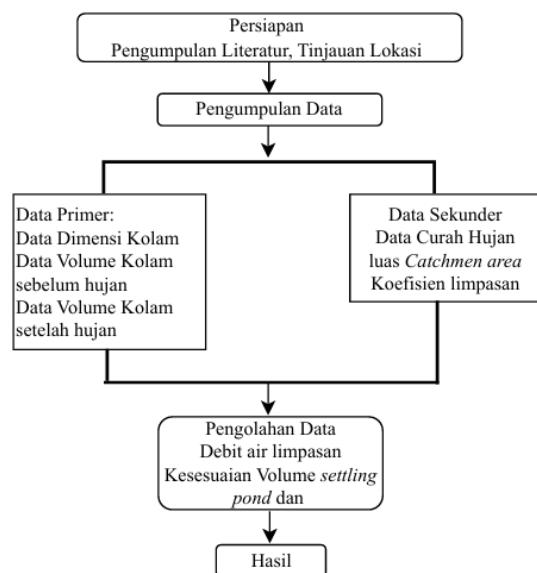
$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Reduksi Standar Deviasi

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (Y_{ni} - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Reduced Mean

$$Y_n = -In \{ -In [((n+1)-m)/(n+1)] \} \quad (4)$$



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana adalah curah hujan harian maksimum yang digunakan untuk menghitung intensitas hujan, dihitung menggunakan metode Gumbel berdasarkan distribusi normal harga ekstrem (Gautama, 1999). Rumus perhitungan curah hujan rencana dinyatakan sebagai:

$$CHR = X + \frac{S}{S_n} (Y_t - Y_n) \quad (5)$$

Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan menggambarkan volume hujan dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan intensitas hujan dilakukan menggunakan metode Mononobe (Suroso, 2006), dengan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{\frac{R_{24}(24)}{24} (tc)^2}{3} \quad (6)$$

Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat gangguan fisik yang terjadi pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Nilai koefisien limpasan dapat diperkirakan berdasarkan karakteristik fisik DAS, seperti jenis penggunaan lahan dan kondisi topografi, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien Limpasan

| Kemiringan | Tutupan/ Jenis lahan | Koefisien Limpasan |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| < 3 % (Datar) | Sawah, Rawa | 0,2 |
| | Hutan, Perkebunan | 0,3 |
| | Perumahan | 0,4 |
| | Hutan, Perkebunan | 0,4 |
| 3% - 15% (Sedang) | Perumahan | 0,5 |
| | Semak-semak agak jarang | 0,6 |
| | Lahan terbuka | 0,7 |
| | Hutan | 0,6 |
| > 15% (Curam) | Perumahan | 0,7 |
| | Semak-semak agak jarang | 0,8 |
| | Lahan terbuka daerah tambang | 0,9 |

Sumber: (Sayoga, 1993 dan Suwandhi, 2004)

Debit Limpasan

Salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan debit aliran puncak adalah metode rasional, sebagaimana dijelaskan oleh U.S. Soil Conservation Service (1986). Metode ini relatif sederhana dan dirancang untuk diterapkan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan ukuran kecil (<80 ha). Persamaan matematis yang digunakan dalam metode rasional untuk menghitung debit limpasan puncak adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL

Luas Catchment Area Settling Pond EFO

Catchment area merupakan wilayah tangkapan hujan yang berfungsi sebagai daerah pengumpul limpasan permukaan. Penentuan luas

catchment area untuk settling pond EFO dilakukan melalui analisis tumpang susun (*overlay*) antara data DEMNAS Pulau Gag dan data *shapefile* administrasi kecamatan di Kabupaten Raja Ampat, dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8. Batas catchment area ditentukan berdasarkan keterkaitan antara titik-titik elevasi tertinggi pada garis kontur, dengan asumsi bahwa aliran air mengalir dari daerah yang memiliki elevasi lebih tinggi menuju settling pond yang berada pada elevasi lebih rendah. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas catchment area tersebut adalah 0,188 km² atau setara dengan 18,82 hektar. Peta catchment area untuk settling pond EFO disajikan pada Gambar 2.

Intensitas Curah Hujan

Data intensitas curah hujan merupakan salah satu parameter penting dalam perhitungan debit limpasan permukaan. Curah hujan umumnya mengikuti pola tertentu dan memiliki kemungkinan untuk terulang dalam periode tertentu yang dikenal sebagai periode ulang hujan. Dalam penelitian ini, periode ulang yang digunakan adalah 2, 5, 10, 20, 25, dan 50 tahun. Penentuan intensitas curah hujan didasarkan pada periode ulang yang berkisar antara 1,5 hingga 2 kali umur tambang, di mana umur operasional tambang PT Gag Nikel adalah 16 tahun. Dengan asumsi durasi hujan terburuk selama 2 jam, diperoleh nilai intensitas curah hujan sebesar 10,54 mm/jam.

Perhitungan Debit Limpasan

Berdasarkan hasil perhitungan luas catchment area sebesar 0,188 km², koefisien limpasan sebesar 0,8, intensitas curah hujan 10,54 mm/jam, serta konstanta konversi 0,278, diperoleh debit limpasan yang masuk ke settling pond EFO sebesar 0,42 m³/s atau setara dengan 1.519,0 m³/jam. Debit limpasan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan periode ulang hujan. Periode ulang hujan didefinisikan sebagai waktu hipotetik di mana suatu kejadian hujan atau debit tertentu memiliki probabilitas yang sama untuk terjadi atau melebihi nilainya dalam suatu interval waktu tertentu (Triatmodjo, 2008).

Tabel. 2 Debit Rencana dan Periode Ulang Hujan

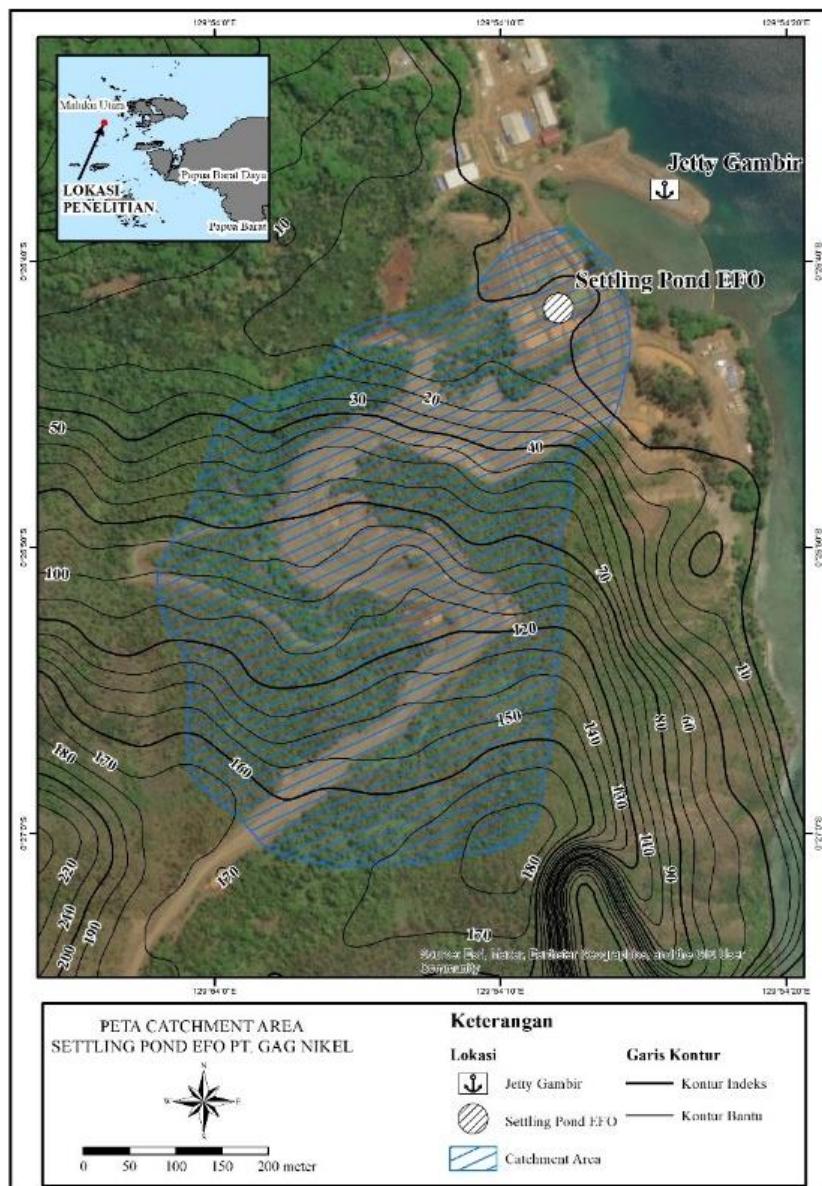
| C | I (mm/j) | A (Km ²) | Q (m ³ /d) | Q (m ³ /j) | T (j) | Q (m ³ /hari) |
|-----|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|-----------------------------|
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 2 | 3.038 |
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 4 | 6.079 |
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 6 | 9.114 |
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 8 | 12.152 |
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 10 | 15.190 |
| 0,8 | 10,54 | 0,18 | 0,42 | 1.519,0 | 11 | 16.709 |

Dimensi Settling Pond

Perhitungan dimensi settling pond dilakukan untuk menentukan kapasitas maksimum tampungan air limpasan, baik per jam maupun per hari, guna mencegah terjadinya limpasan yang meluap ke

lingkungan sekitar (Wahyudin et al., 2021). Pengukuran ini juga bertujuan untuk memastikan

bahwa *settling pond* yang telah dibangun telah sesuai dengan fungsi dan rancangan perencanaan awal.



Gambar 2. Peta Catchment Area Settling Pond EFO

Pengukuran dimensi kolam dilakukan selama satu minggu menggunakan alat bantu berupa meteran dan pipa paralon sepanjang 4 meter. Pengukuran panjang dan lebar kolam dilakukan menggunakan meteran, sedangkan pengukuran kedalaman dilakukan dengan menancapkan bambu ke dasar kolam, kemudian mengukur tinggi permukaan air terhadap titik dasar menggunakan meteran.

Air limpasan memasuki *settling pond* EFO dengan memanfaatkan kondisi topografi alami, di mana air mengalir dari titik-titik elevasi tertinggi menuju area yang lebih rendah, yaitu lokasi *settling pond*. Air limpasan pertama kali masuk melalui Kompartemen 1 sebagai saluran masuk (*inlet*), kemudian mengalir secara bertahap melalui setiap

kompartment hingga mencapai Kompartemen 10. Alur aliran antar kompartemen tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. 10 Kompartemen *settling pond*

Terdapat sepuluh kompartemen pada *settling pond* dengan total volume aktual dan volume rencana yang berbeda. Untuk mengetahui efektivitas kapasitas tampung saat ini, dilakukan perbandingan antara volume aktual *settling pond* yang telah diukur dengan volume rencana yang sebelumnya dirancang oleh PT GAG Nikel. Hasil perbandingan tersebut disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. *Settling Pond*

| Kolam | Volume Aktual (m ³) | Volume Rencana (m ³) |
|-------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2.019,12 | 1.160 |
| 2 | 754,16 | 800 |
| 3 | 2.007,04 | 1.800 |
| 4 | 1.318,21 | 1.320 |
| 5 | 709,02 | 920 |
| 6 | 984,68 | 1.240 |
| 7 | 960,94 | 1.640 |
| 8 | 1994,93 | 2.040 |
| 9 | 705,95 | 840 |
| 10 | 819,41 | 840 |
| Total | 12.313,46 | 12.600 |

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data, ditemukan beberapa hal terkait kesesuaian *settling pond* EFO terhadap debit limpasan. Volume kosong aktual yang tersedia saat ini adalah 12.313,46 m³, sedangkan volume rencana awal yang telah dibangun sebesar 12.600 m³. Perbedaan sebesar 286,54 m³ ini menunjukkan adanya penurunan kapasitas selama masa operasional *settling pond*. Penurunan tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh:

- Pendangkalan akibat sedimentasi:** Material padat yang terbawa limpasan mengendap di dasar kolam sehingga mengurangi volume efektif.
- Peninggian tangkul:** Akumulasi sedimen di sekitar tepi kolam menyebabkan tangkul menjadi lebih tinggi, sehingga kapasitas tampung menurun.
- Erosi dinding kolam:** Curah hujan tinggi dan aliran permukaan yang deras dapat mengikis dinding kompartemen, mempengaruhi bentuk dan volume tiap ruang.

Selain itu, dimensi antar kompartemen *settling pond* tidak seragam, sehingga kapasitas tampung tiap kompartemen bervariasi. Untuk mengevaluasi perubahan volume akibat hujan, diukur terlebih dahulu volume air di tiap kompartemen sebelum hujan, kemudian diukur kembali setelah hujan berdurasi sekitar 11 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa intensitas hujan yang tinggi menyebabkan air melampaui sekat pembatas pada Kompartemen 4, 5, 6, dan 7; keempat kompartemen tersebut menjadi satu kesatuan volume air yang seragam. Ringkasan data volume air sebelum dan setelah hujan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Volume Air Kolam *Settling Pond*

| Kolam | Volume Air Sebelum Hujan (m ³) | Volume Air Setelah Hujan (m ³) |
|-------|--|--|
| 1 | 767,02 | 1.667,88 |
| 2 | 488,32 | 731,54 |
| 3 | 712,5 | 1.174,12 |
| 4 | 520,69 | 4.636,7 |
| 5 | 274,74 | 4.636,7 |
| 6 | 492,34 | 4.636,7 |
| 7 | 468,46 | 4.636,7 |
| 8 | 613,44 | 1.067,29 |
| 9 | 294,73 | 589,47 |
| 10 | 338,01 | 667,82 |
| Total | 4.970,26 | 10.676,57 |

Sebelum hujan, total volume air di seluruh kompartemen tercatat sebesar 4.970,26 m³. Setelah hujan berlangsung selama 11 jam, volume maksimum air meningkat menjadi 10.676,57 m³ dua kali lipat dari keadaan sebelum hujan. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas sisa *settling pond* (12.313,46 m³) hampir terisi penuh, sehingga risiko luapan sangat tinggi jika tidak dilakukan tindakan pengosongan atau pemeliharaan lebih lanjut.

Analisis Kesesuaian *Settling Pond* Terhadap Debit Limpasan

Perhitungan volume tampung *settling pond* dilakukan untuk mengetahui kapasitas akumulasi air yang dapat ditahan dalam satuan waktu tertentu, sehingga limpasan tidak meluap ke lingkungan (Wahyudin et al., 2021). Besarnya akumulasi ini dipengaruhi oleh total debit limpasan yang masuk serta variasi dimensi antar kompartemen, yang memengaruhi kapasitas masing-masing bagian kolam.

Tabel 5 menyajikan kesesuaian antara volume air akibat hujan berdurasi 11 jam dan kapasitas tampung *settling pond*.

Tabel 5. Kesesuaian Volume Air Hujan pada *Settling Pond* dan Debit Limpasan

| Total Volume Air Hujan (m ³) | Debit Air Limpasan (m ³ /hari) |
|---|--|
| Sebelum | Setelah |
| 4.970,26 | 10.676,57 |
| | 16.709 |

Volume aktual *settling pond* adalah sebesar 12.313,46 m³, dengan sisa ruang tampung awal sebesar 4.970,26 m³. Pada kejadian hujan dengan durasi maksimum 11 jam dan debit limpasan 16.709 m³/hari (atau sekitar 1.519 m³/jam), volume limpasan melebihi kapasitas sisa kolam, sehingga berisiko menyebabkan luapan.

Untuk menghindari hal tersebut, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah melakukan pemompaan air sisa sebelum hujan berikutnya. Pemompaan ini bertujuan untuk mengosongkan sebagian volume kolam dengan membuang air ke

sungai atau laut terdekat, sehingga menciptakan ruang tampung yang memadai.

Dari perhitungan, volume kolam yang tersedia hanya mampu menampung hingga $10.676,56 \text{ m}^3$ saat hujan berdurasi ± 11 jam. Dengan kapasitas total $12.313,46 \text{ m}^3$, masih terdapat ruang tak terisi sebesar $1.636,90 \text{ m}^3$. Namun, kapasitas tersebut belum dimanfaatkan secara optimal karena adanya pendangkalan kolam akibat sedimentasi maupun erosi dinding kolam. Akumulasi sedimen menyebabkan sebagian volume kolam tidak dapat digunakan.

Upaya perbaikan yang disarankan meliputi pemeliharaan berkala, termasuk pengerukan sedimen secara rutin. Oleh karena itu, diperlukan pemasangan papan jadwal pengerukan di area *settling pond* EFO guna memantau kegiatan pemeliharaan. Selain itu, kondisi dasar kolam yang tidak dilapisi material kedap air memungkinkan terjadinya infiltrasi melalui pori-pori tanah, yang juga memengaruhi efektivitas kapasitas tampung kolam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengukuran, volume kosong aktual *settling pond* sebesar $12.313,46 \text{ m}^3$ menunjukkan adanya penurunan dibandingkan dengan volume perencanaan sebesar 12.600 m^3 . Penurunan ini diduga disebabkan oleh proses pendangkalan, sedimentasi, dan perubahan morfologi kolam seperti peninggian tanggul.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kapasitas kolam belum sepenuhnya sesuai dalam menampung debit limpasan, terutama pada kejadian hujan dengan durasi lebih dari 8 jam. Debit limpasan selama 8 jam tercatat sebesar 12.152 m^3 , yang hampir mendekati kapasitas kolam, sehingga berpotensi menimbulkan luapan jika tidak dikelola dengan baik.

DAFTAR NOTASI

| | |
|-------------|---|
| X_i | : Jumlah data curah hujan harian maksimum |
| X | : Rata-rata curah hujan |
| n | : jumlah data |
| Y_n | : Variasi reduksi dari jumlah data |
| \bar{Y}_n | : Rata-rata Y_n |
| m | : Nomor urut dat |
| I | : Intensitas curah hujan (mm/jam) |
| T_c | : Waktu curah hujan (menit) |
| R_{24} | : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm) |
| t | : waktu curah hujan (menit) |
| Q | : Debit air limpasan (m^3/detik) |
| C | : Koefisien limpasan |
| I | : Intensitas curah hujan (mm/jam) |
| A | : Luas daerah tangkapan hujan (km^2) |
| $0,278$ | : Konstanta |

DAFTAR PUSTAKA

Adnyano, A.I. & Bagaskoro, M., 2020. *Kajian teknis dewatering system tambang pada pertambangan batubara*. Vol. 8(1), pp.28–33.

Arindry, A.P., Syahrudin & Herlambang, Y., 2020. *Evaluasi kapasitas kolam pengendapan unit pencucian bauksit pada washing plant Cabing Km 23 PT Dinamika Sejahtera Mandiri site Teraju Kabupaten Sanggau Kalimantan Barat*. JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 7(1).

Astarini, A. & Adriat, R., 2022. *Studi perbandingan metode penentuan intensitas curah hujan berdasarkan karakteristik curah hujan Kalimantan Barat*. Prisma Fisika, 10(1), pp.109–114.

Asdak, C., 2002. *Hutan dan perilaku aliran air: klarifikasi keberadaan hutan dan pengaruhnya terhadap banjir dan kekurangan air*. Jurnal Manusia dan Lingkungan, 9(1), pp.40–49.

Asdak, C., 2014. *Kajian lingkungan hidup strategis: jalan menuju pembangunan berkelanjutan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Cahyadi, T.A. et al., 2020. *Evaluasi saluran terbuka dengan menggunakan distribusi Gumbel dan model Thomas Fiering*. Kurvatek, 5(1), pp.29–36.

Firdaus et al., 2023. *Evaluasi kinerja kolam pengendap lumpur (KPL) batubara di stockpile PT Bukit Asam Tbk unit Pelabuhan Tarahan*. Jurnal Hutan Tropis, 11(1), pp.84–91.

Gautama, R.S., 2019. *Sistem penyaliran tambang*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Haeruman, H., 1944. *Pengelolaan daerah aliran sungai*. Lokakarya Pengelolaan DAS Terpadu, Cisarua, Bogor.

Kurnia, D., Har, R. & Prabowo, H., 2018. *Evaluasi kondisi aktual dan perencanaan sistem penyaliran tambang emas di Pit Durian, Site Bakan PT J Resources Bolaang Mongondow, Kecamatan Lolayan, Kotamobagu, Sulawesi Utara*. Jurnal Bina Tambang, 3(1), pp.1–7.

Michael, P.E.T.E.R., Superfesky, M.I.C.H.A.E.L. & Uranowski, L., 2010. *Challenges of applying geomorphic and stream reclamation methodologies to mountaintop mining and excess spoil fill construction in steep slope topography (e.g. Central Appalachia)*. In: *Proceedings of the Joint Conference of the 27th Annual Meetings of the American Society of Mining and Reclamation*, 12th Annual Pennsylvania Abandoned Mine Reclamation Conference, and 4th Annual Appalachian Regional Reforestation Initiative Mined Land

- Reforestation Conference. Lexington: ASMR, pp.610–634.
- Parhusip, M., Ernawati, R. & Cahyadi, T.A., 2021. *Evaluasi settling pond pada area Run of Mine (ROM)*. Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan (JIPL), 1(1), pp.1–9.
- Permanadewi, S., Wahyudiono, J. & Tampubolon, A., 2017. *Cebakan nikel laterit di Pulau Gag, Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat*. Buletin Sumber Daya Geologi, 12(1), pp.55–70.
- Setianingrum, N. & Yulianti, R., 2020. *Evaluasi kolam pengendapan lumpur (SP 10) terhadap debit air pompa yang masuk (Studi kasus: PT Trisensa Mineral Utama, Tani Aman, Kalimantan Timur)*. Indonesian Mining and Energy Journal, 3(2), pp.59–64.
- Silisa, L.J., Rande, S.A. & Misdayanta, P., 2022. *Rencana teknis pemeliharaan kolam pengendapan di area EFO PT Gag Nikel Provinsi Papua Barat*. Mining Insight, 3(1), pp.11–20.
- Syajruddin, Musa, R. & Ashad, H., 2022. *Kajian debit limpasan akibat intensitas curah hujan terhadap variasi kepadatan dan kemiringan lahan*. Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur dan Sains, pp.41–50.
- Towansiba, N. & Pangkung, Y.G., 2020. *Rancangan settling pond terhadap laju endapan sedimen pada area Arrafah dan waste dump pada front penambangan PT Gag Nikel, Kab. Raja Ampat, Provinsi Papua Barat*. Intan: Jurnal Penelitian Tambang, 3(1), pp.35–39.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Utamakno, L., Budiarto & Tinungki, P.S., 2020. *Rancangan pemodelan settling pond pada daerah Imkasu di PT Gag Nikel, Pulau Gag, Kabupaten Raja Ampat, Papua Barat*. Prosiding SEMITAN II, 2(1), pp.95–101.