

The Impact of Catchment Area Changes Resulting from the Disposal Expansion on Sump Capacity Requirements

Laela Oktalia Nur Firdaus¹ , Tedy Agung Cahyadi², Muhammad Anggara Imam Tantowi³

^{1,2} Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

³ PT Bumi Suksesindo

 oktalianf@gmail.com (Penulis Korespondensi)

Received 26-07-2026; revision 02-08-2026, accepted 04-08-2026

Abstract

Studies on the impact of changes in the catchment area resulting from disposal expansion on sump capacity requirements remain very limited, particularly at open-pit gold mines in Indonesia. Previous research has generally examined the aspects of drainage systems, sedimentation, and disposal hydrology separately; thus, there has been no study that comprehensively integrates changes in the catchment area due to disposal expansion with an evaluation of sump capacity requirements. This study aims to analyze the impact of changes in the catchment area resulting from disposal expansion on runoff discharge, sedimentation potential, and sump capacity requirements.

The study was conducted using a descriptive quantitative method based on rainfall data for the 2016–2025 period. Design rainfall was calculated using the Gumbel distribution, rainfall intensity using the Mononobe method, and runoff discharge using the Rational method. Catchment areas were delineated using Digital Elevation Model (DEM) data via Global Mapper software, while erosion and sedimentation potential were calculated using the USLE method and the Sediment Delivery Ratio (SDR) approach.

The analysis indicates that waste dump expansion significantly altered the catchment area configuration, resulting in a greater concentration of surface runoff toward the north sump, which received a runoff discharge of 16,81 m³/s, compared with 8,04 m³/s for the proposed south sump. The estimated annual sediment yield reached 11.631 tons/year for the north sump and 8.189 tons/year for the south sump. These catchment area changes consequently increased the required storage capacities to 248.777 m³ for the north sump and 92.484 m³ for the south sump. The novelty of this study lies in its integrated quantitative framework, which explicitly links catchment area changes induced by waste dump expansion with the evaluation of sump storage capacity requirements, providing a technical basis for designing mine drainage systems that can adapt to topographic changes during mining operations.

Keywords: catchment area; runoff discharge; sedimentation; sump capacity; mine drainage system.

Pengaruh Perubahan Daerah Tangkapan Hujan Akibat Pengembangan Disposal terhadap Kebutuhan Kapasitas Sump

Abstrak

Kajian mengenai pengaruh perubahan daerah tangkapan hujan akibat pengembangan disposal terhadap kebutuhan kapasitas sump masih sangat terbatas, khususnya pada tambang emas terbuka di Indonesia. Penelitian terdahulu umumnya mengkaji aspek sistem penyaliran,

sedimentasi, dan hidrologi disposal secara terpisah, sehingga belum terdapat kajian yang mengintegrasikan perubahan daerah tangkapan hujan akibat ekspansi disposal dengan evaluasi kebutuhan kapasitas *sump* secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan daerah tangkapan hujan akibat pengembangan disposal terhadap debit limpasan, potensi sedimentasi, dan kebutuhan kapasitas *sump*

Penelitian dilakukan menggunakan metode kuantitatif deskriptif berdasarkan data curah hujan periode 2016–2025. Curah hujan rencana dihitung menggunakan distribusi Gumbel, intensitas hujan dengan metode Mononobe, dan debit limpasan dengan metode Rasional. Daerah tangkapan hujan didelineasi menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) melalui perangkat lunak Global Mapper, sedangkan potensi erosi dan sedimentasi dihitung menggunakan metode USLE dan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR).

Analisis menunjukkan bahwa pengembangan disposal menyebabkan perubahan distribusi daerah tangkapan hujan yang mengakibatkan dominasi aliran menuju *sump* utara dengan debit limpasan sebesar 16,81 m³/s, dibandingkan 8,04 m³/s pada *sump* selatan. Potensi sedimentasi tahunan pada *sump* utara dan *sump* selatan masing-masing sebesar 11.631 ton/tahun dan 8.189 ton/tahun. Perubahan daerah tangkapan hujan tersebut mengakibatkan kebutuhan kapasitas tampungan sebesar 248.777 m³ untuk *sump* utara dan 92.484 m³ untuk *sump* selatan. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menghubungkan secara kuantitatif perubahan daerah tangkapan hujan akibat ekspansi disposal dengan evaluasi kebutuhan kapasitas *sump* sebagai acuan teknis perencanaan sistem penyaliran tambang yang adaptif terhadap perubahan topografi.

Kata Kunci: daerah tangkapan hujan; debit limpasan; sedimentasi; kapasitas *sump*; sistem penyaliran tambang

1. Pendahuluan

Sistem penyaliran tambang merupakan aspek kritis dalam kegiatan pertambangan terbuka yang berfungsi mengendalikan air permukaan maupun air tanah agar tidak mengganggu keberlangsungan operasional penambangan. Pengelolaan air tambang yang tidak optimal dapat menimbulkan berbagai permasalahan, meliputi terganggunya produktivitas alat, menurunnya stabilitas lereng, hingga terhambatnya akses kerja pada area penambangan. Sistem penyaliran tambang terdiri atas dua metode, yaitu *mine drainage* yang berfungsi mencegah masuknya air ke area penambangan, serta *mine dewatering* yang berfungsi mengeluarkan air yang telah terakumulasi di dalam area tambang melalui sistem *sump* dan pemompaan. Komponen utama dalam sistem mine dewatering adalah *sump*, yang berfungsi sebagai penampung sementara air limpasan sebelum dipompa ke luar area tambang. Perencanaan kapasitas *sump* perlu mempertimbangkan tidak hanya volume limpasan, tetapi juga potensi sedimentasi yang secara bertahap mengurangi kapasitas tampungan efektifnya.

Daerah tangkapan hujan (*catchment area*) merupakan variabel utama dalam analisis hidrologi yang secara langsung menentukan besaran debit limpasan yang masuk ke sistem penyaliran (Dewi dkk., 2021). Perubahan luas daerah tangkapan hujan akibat aktivitas pertambangan berpengaruh signifikan terhadap respons hidrologi kawasan, termasuk besaran debit limpasan puncak yang dihitung menggunakan Metode Rasional (Azizah dkk., 2024). Selain debit limpasan, sedimentasi yang dihasilkan dari erosi pada area disposal tanpa vegetasi turut memberikan beban signifikan terhadap kapasitas tampungan *sump* di hilirnya.

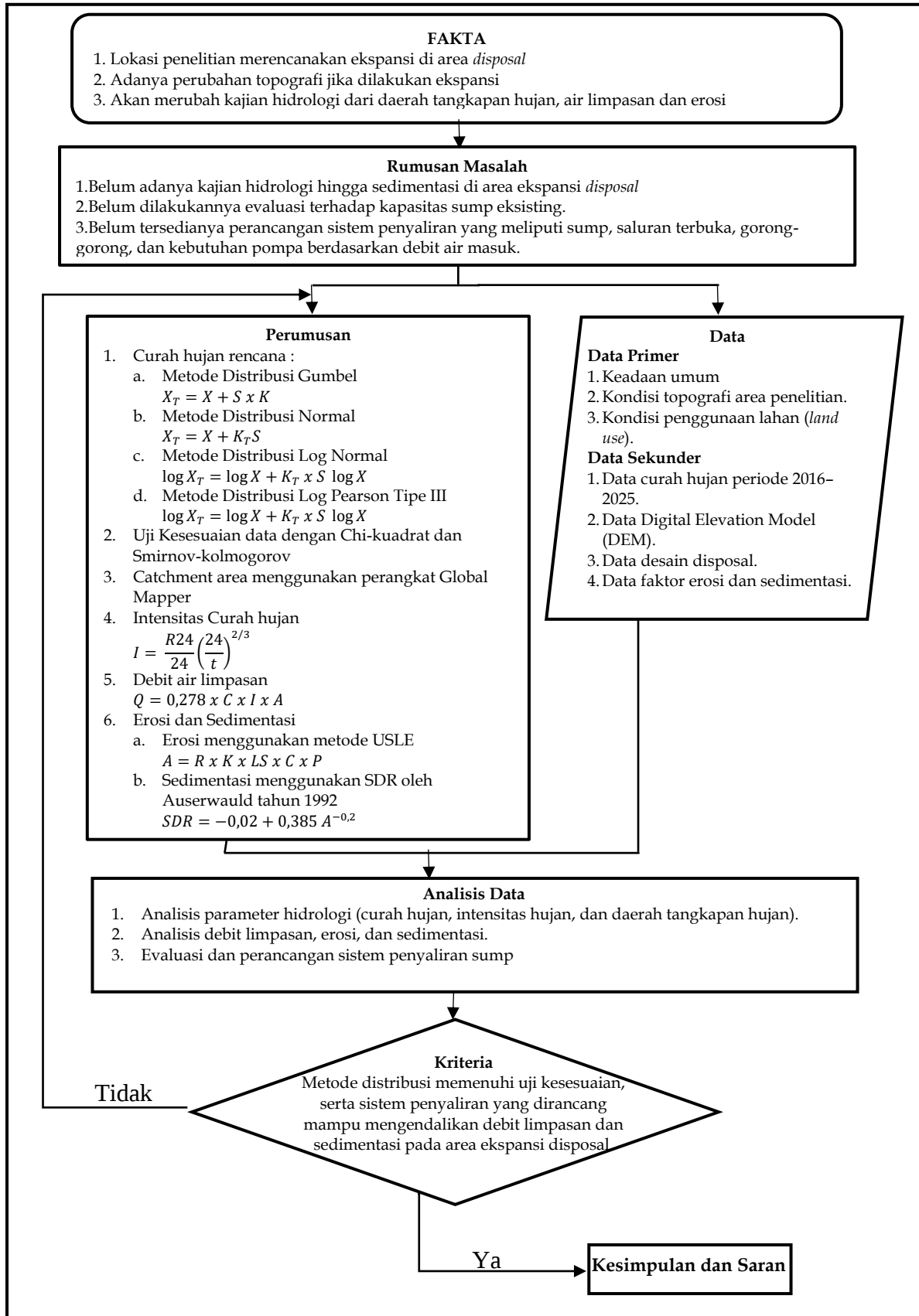
(Towansiba & Pangkung, 2020). Roshanfekar dan Hansen (2020) menegaskan bahwa perubahan geometri *mine-waste dump* memengaruhi perilaku hidraulik timbunan dan pola aliran permukaan, sedangkan Wright (2006) menjelaskan bahwa respons hidrologi disposasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik aliran air melalui rekahan dan zona berpori pada material timbunan.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji sistem penyaliran tambang, namun masing-masing masih berfokus pada aspek tertentu secara terpisah, baik dari sisi perancangan fasilitas penyaliran (Dewi dkk., 2021; Avellyn dkk., 2021), sedimentasi pada disposasi (Towansiba & Pangkung, 2020), maupun perilaku hidraulik internal timbunan (Roshanfekar & Hansen, 2020; Wright, 2006). Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan analisis perubahan daerah tangkapan hujan akibat ekspansi disposasi dengan evaluasi kebutuhan kapasitas *sump*, khususnya pada area ekspansi penelitian, yang berpotensi memperluas daerah tangkapan hujan dan mengubah arah aliran permukaan, sehingga berdampak langsung terhadap volume air yang masuk ke *sump* dan laju sedimentasi.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan daerah tangkapan hujan akibat pengembangan disposasi terhadap debit limpasan dan potensi sedimentasi, mengevaluasi kapasitas *sump* eksisting, serta menyusun rancangan teknis kebutuhan kapasitas *sump* yang sesuai dengan kondisi pasca-ekspansi. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menghubungkan secara kuantitatif perubahan daerah tangkapan hujan berbasis *Digital Elevation Model* (DEM) dengan analisis hidrologi, sedimentasi, dan evaluasi kebutuhan kapasitas *sump* sebagai acuan teknis perencanaan sistem penyaliran tambang yang adaptif terhadap perubahan topografi akibat pengembangan disposasi.

2. Metode

Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan perancangan teknis. Metode kuantitatif digunakan menganalisis kondisi hidrologi dan sistem penyaliran pada area penelitian berdasarkan data numerik yang diperoleh dari hasil pengamatan lapangan maupun data perusahaan. Sementara itu, metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi eksisting daerah penelitian, mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, serta menjelaskan hasil analisis yang diperoleh secara sistematis. Adapun pendekatan perancangan teknis untuk merekomendasikan rancangan teknis



Gambar 1. Metodologi Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Curah Hujan

Lokasi penelitian memiliki karakteristik iklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau, yang menyebabkan variasi curah hujan cukup tinggi setiap tahunnya. Curah hujan merupakan besaran air yang jatuh pada waktu tertentu dengan satuan tinggi diatas permukaan tanah secara horizontal, dinyatakan dalam satuan mm (Windari & Sudarti, 2024). Kondisi tersebut menjadikan analisis curah hujan sebagai tahapan yang krusial dalam perencanaan sistem penyaliran tambang. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data curah hujan harian maksimum selama periode 2016–2025 yang bersumber dari tiga stasiun pengamatan, yaitu Stasiun MIA, Stasiun OPP, dan Stasiun Portal *Underground*.

Berdasarkan Gambar 2, curah hujan harian maksimum tahunan selama periode pengamatan menunjukkan pola fluktuasi yang cukup signifikan. Nilai curah hujan tertinggi tercatat pada tahun 2018 sebesar 207 mm/hari, sementara tahun-tahun lainnya menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah. Fluktuasi tersebut mengindikasikan bahwa kejadian hujan ekstrem masih berpotensi terjadi di lokasi penelitian sehingga perlu diperhitungkan dalam perencanaan kapasitas fasilitas penyaliran tambang. Curah hujan dengan intensitas tinggi berpotensi meningkatkan debit limpasan yang masuk ke *sump*, dan apabila kapasitas tampungan tidak memadai, hal ini dapat meningkatkan risiko terjadinya genangan pada area operasional yang berdampak pada keselamatan dan produktivitas penambangan.

Gambar 2. Curah Hujan Tahun 2016-2025



Guna menyesuaikan potensi kejadian hujan ekstrem, dilakukan analisis frekuensi curah hujan rencana menggunakan distribusi Gumbel. Pemilihan metode distribusi ini didasarkan pada hasil uji kesesuaian statistik yang menunjukkan bahwa distribusi Gumbel memenuhi kedua kriteria pengujian, yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Kolmogorov-Smirnov, serta menghasilkan nilai penyimpangan yang lebih kecil dibandingkan metode distribusi lainnya yang diuji. Periode ulang hujan yang digunakan adalah 5 tahun, yang disesuaikan dengan rencana umur operasional area penelitian. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai curah hujan rencana sebesar 262,9 mm/hari sebagaimana disajikan pada Tabel 1 yang tergolong curah hujan tinggi. Nilai curah hujan rencana tersebut selanjutnya digunakan

sebagai dasar dalam perhitungan intensitas hujan, debit limpasan, potensi sedimentasi, serta evaluasi kebutuhan kapasitas *sump*

Tabel 1. Curah Hujan Rencana

Reduce Variate (Yt)	1,5
Reduce Mean (Yn)	0,4952
Standar Deviasi (Sd)	52,5
Reduce Standar Deviasi (Sn)	0,9496
Curah Hujan Rencana (mm)	262,9

3.2. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan merupakan besarnya curah hujan yang dinyatakan sebagai tinggi hujan yang terjadi dalam satuan waktu tertentu, umumnya dinyatakan dalam mm/jam. Nilai intensitas hujan dipengaruhi oleh durasi kejadian hujan dan menjadi parameter penting dalam analisis hidrologi, khususnya untuk perencanaan debit banjir dan sistem drainase (Febriani dkk., 2019). Pada penelitian ini, intensitas curah hujan dihitung menggunakan Metode Mononobe, karena data hujan per jam tidak tersedia. Metode ini banyak digunakan pada analisis hidrologi di Indonesia untuk mengonversi data curah hujan harian maksimum menjadi intensitas hujan berdasarkan durasi kejadian hujan. Berdasarkan data curah hujan periode 2020–2025 diperoleh rata-rata durasi hujan sebesar 2 jam/hari. Selanjutnya, dengan menggunakan curah hujan rencana periode ulang lima tahun sebesar 262,99 mm/hari, diperoleh intensitas curah hujan sebesar 57,32 mm/jam. Berikut merupakan hasil perhitungan intensitas curah hujan :

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

$$I = \frac{262,99}{24} \left(\frac{24}{5} \right)^{2/3}$$

$$I = 57,32 \text{ mm/jam.}$$

Nilai intensitas hujan sebesar 57,32 mm/jam menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki potensi kejadian hujan dengan intensitas tinggi. Kondisi tersebut meningkatkan energi kinetik butir hujan yang mengenai permukaan tanah sehingga tidak hanya meningkatkan volume limpasan permukaan, tetapi juga memperbesar potensi pelepasan partikel tanah yang memicu erosi. Dengan demikian, intensitas hujan menjadi faktor penghubung antara curah hujan rencana dengan peningkatan debit limpasan, erosi, dan sedimentasi yang dianalisis pada penelitian ini.

Besarnya intensitas hujan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan debit limpasan menggunakan Metode Rasional. Semakin tinggi intensitas hujan, semakin besar debit limpasan yang dihasilkan apabila luas daerah tangkapan hujan dan koefisien limpasan tetap. Hubungan tersebut sesuai dengan konsep dasar hidrologi yang menyatakan bahwa intensitas hujan merupakan salah satu faktor pengendali utama pembentukan limpasan permukaan.

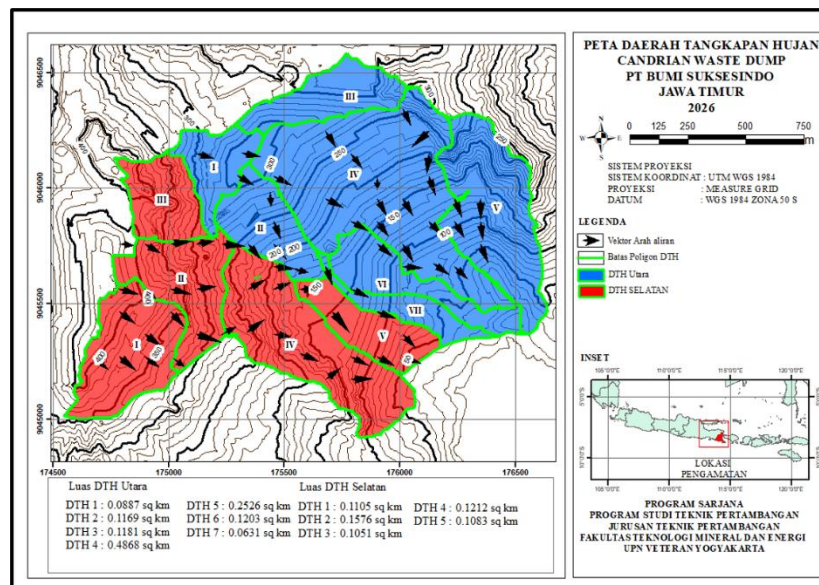
3.3. Daerah Tangkapan Hujan (DTH)

Daerah tangkapan hujan (DTH) merupakan wilayah yang mengumpulkan dan mengalirkan air hujan menuju suatu titik keluaran berdasarkan kondisi topografi. Pada penelitian ini, delineasi daerah tangkapan hujan dilakukan menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) yang diolah dengan perangkat lunak Global Mapper. Proses delineasi dilakukan melalui fitur *Generate Watershed* pada menu *Analysis*, dengan melakukan pengaturan parameter *Stream Cell Count* dan *Depression Fill Depth* untuk menghasilkan batas daerah tangkapan hujan serta jaringan aliran yang sesuai dengan kondisi topografi daerah penelitian. Hasil pengolahan tersebut digunakan untuk menentukan luas daerah tangkapan hujan dan arah aliran air permukaan secara lebih akurat (Rozi, 2021). Pemanfaatan DEM memungkinkan perubahan konfigurasi topografi akibat pengembangan *disposal* direpresentasikan secara lebih akurat dibandingkan pendekatan konvensional berbasis peta kontur. Oleh karena itu, perubahan luas daerah tangkapan hujan yang diperoleh pada penelitian ini mencerminkan perubahan aktual kondisi morfologi setelah aktivitas penimbunan berlangsung. Berdasarkan hasil delineasi, daerah tangkapan hujan dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu daerah yang mengalir menuju *sump* utara dan daerah yang mengalir menuju *sump* selatan. Perubahan topografi akibat pengembangan *disposal* yang dapat dilihat pada Tabel 2, menyebabkan terjadinya perubahan luas dan arah aliran daerah tangkapan hujan. Kondisi ini berdampak langsung terhadap distribusi debit limpasan yang masuk ke setiap *sump* sehingga diperlukan evaluasi ulang terhadap kapasitas tampungan dan fasilitas penyaliran yang tersedia.

Tabel 2. Perubahan Luas DTH

Kondisi	Luas DTH
Sebelum Ekspansi	1,327 km ²
Sesudah Ekspansi	1,849 km ²
Perubahan	39,34 %

Pada area *sump* utara terdapat 7 daerah tangkapan hujan seluas 1,699 km², sedangkan pada *sump* selatan terdapat 5 daerah tangkapan hujan seluas 0,388 km². Dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Daerah Tangkapan Hujan

Perubahan distribusi daerah tangkapan hujan tersebut berimplikasi langsung terhadap distribusi debit limpasan yang diterima oleh masing-masing *sump*. Area ESS menerima kontribusi limpasan yang lebih besar karena memiliki luas daerah tangkapan hujan yang dominan. Sebaliknya, pembangunan *sump* selatan berfungsi mengakomodasi limpasan dari daerah hasil ekspansi sehingga beban hidrologi tidak seluruhnya terpusat pada *sump* utara. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan *catchment area* merupakan variabel pengendali utama (*primary controlling factor*) yang menghubungkan perubahan topografi dengan perubahan respons hidrologi kawasan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Roshanfekar dan Hansen (2020) yang menyatakan bahwa perubahan geometri disposasi dapat mengubah batas daerah tangkapan hujan, jalur aliran (*flow path*), dan distribusi limpasan permukaan. Dengan demikian, evaluasi *catchment area* menggunakan DEM sebaiknya dilakukan pada setiap tahap pengembangan disposasi sebagai dasar dalam perencanaan kapasitas saluran drainase, *sump*, dan sistem pemompaan.

3.4. Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan rasio yang menggambarkan proporsi air hujan yang tidak terserap ke dalam tanah dan mengalir sebagai limpasan permukaan menuju saluran drainase atau badan air penerima. Nilai koefisien limpasan bersifat variabel dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor fisik kawasan, meliputi jenis dan kondisi penutup lahan, tipe serta permeabilitas tanah, kemiringan lereng, dan karakteristik morfologi daerah tangkapan hujan (Nganro dkk., 2019). Pada penelitian ini, penetapan nilai koefisien limpasan dilakukan dengan mengacu pada klasifikasi Chow (1988) yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Koefisien Limpasan (Chow, 1988)

Kemiringan Lahan	Tutupan jenis Lahan	C
< 3% (datar)	Sawah, rawa	0,2
	Hutan, Perkebunan	0,3
	Perumahan	0,4
3% - 15% (sedang)	Hutan, Perkebunan	0,4
	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	0,9-1

Pada penelitian ini, penentuan nilai koefisien limpasan dilakukan berdasarkan interpretasi penggunaan lahan dari citra satelit yang kemudian diverifikasi melalui pengamatan lapangan. Selain mempertimbangkan kondisi penutup lahan, penentuan nilai koefisien limpasan juga memperhatikan kemiringan lereng pada masing-masing daerah tangkapan hujan sehingga nilai yang diperoleh lebih merepresentasikan kondisi aktual lokasi penelitian. Kondisi penggunaan lahan pada area penelitian ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan

hasil penentuan nilai koefisien limpasan masing-masing daerah tangkapan hujan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Koefisien Limpasan

DTH Eksisting		DTH Ekspansi	
DTH	Nilai Koefisien	DTH	Nilai Koefisien
DTH 1	0,85	DTH 1	0,81
DTH 2	0,88	DTH 2	0,81
DTH 3	0,89	DTH 3	0,8
DTH 4	0,9	DTH 4	0,87
DTH 5	0,82	DTH 5	0,89
DTH 6	0,86	-	-
DTH 7	0,83	-	-
Rata-rata	0,86		0,84

Berdasarkan hasil interpretasi, area penelitian didominasi oleh lahan terbuka yang digunakan sebagai disposal dengan kemiringan lereng relatif curam. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan infiltrasi tanah menjadi rendah akibat minimnya tutupan vegetasi serta tingginya tingkat pemadatan material timbunan, sehingga sebagian besar air hujan berubah menjadi limpasan permukaan. Oleh karena itu, nilai koefisien limpasan pada daerah penelitian berada pada kisaran 0,80–0,90, yang menunjukkan bahwa sekitar 80–90% air hujan yang jatuh berpotensi menjadi limpasan permukaan, sedangkan sisanya mengalami infiltrasi, evaporasi, maupun penyimpanan sementara pada permukaan lahan.

Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan topografi akibat pengembangan disposal menjadi faktor yang lebih dominan dalam meningkatkan respons hidrologi kawasan. Meskipun nilai koefisien limpasan antara kondisi eksisting dan ekspansi relatif serupa, peningkatan luas catchment area sebesar 39,34% menyebabkan volume air hujan yang berkontribusi terhadap limpasan permukaan menjadi lebih besar. Kondisi tersebut selanjutnya meningkatkan debit limpasan yang harus ditangani oleh sistem penyaliran tambang.

Hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa pada area tambang terbuka, perubahan geometri lahan tidak selalu diikuti oleh perubahan signifikan pada koefisien limpasan, tetapi lebih berpengaruh terhadap perubahan batas daerah tangkapan hujan dan distribusi aliran permukaan. Oleh karena itu, evaluasi koefisien limpasan perlu dilakukan bersamaan dengan analisis perubahan catchment area agar estimasi debit limpasan dapat menggambarkan kondisi hidrologi secara lebih representatif.

3.5. Air Limpasan

Air limpasan merupakan air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah yang kemudian mengalir menuju Sungai, danau, amupun laut. Sehingga diperlukan pengendalian limpasan (Azizah, dkk., 2024). Debit limpasan dihitung menggunakan metode rasional dengan

mempertimbangkan koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan hujan. Berikut merupakan perhitungan debit limpasan:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0,278 \times 0,85 \times 57,316 \times 0,193$$

$$Q = 2,156 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil perhitungan debit limpasan yang mengarah ke *sump* utara dan *sump* selatan masing-masing disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 5. Debit Limpasan Menuju *Sump* Utara

Debit Air Limpasan	C	I (mm/jam)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
DTH 1	0,85	57,316	0,193	2,156
DTH 2	0,88	57,316	0,117	1,304
DTH 3	0,89	57,316	0,118	1,317
DTH 4	0,9	57,316	0,487	5,43
DTH 5	0,82	57,316	0,253	2,817
DTH 6	0,86	57,316	0,12	1,342
DTH 7	0,83	57,316	0,063	0,704
Total			1,24	16,81

Tabel 6. Debit Limpasan Menuju *Sump* Selatan

Debit Air Limpasan	C	I (mm/jam)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
DTH 1	0,81	57,316	0,11	1,232
DTH 2	0,81	57,316	0,157	1,758
DTH 3	0,8	57,316	0,121	1,352
DTH 4	0,87	57,316	0,108	1,208
DTH 5	0,89	57,316	0,1051	1,502
Total			0,6027	8,042

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh total debit limpasan sebesar 16,81 m³/s pada *sump* utara dan 8,042 m³/s pada *sump* selatan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa limpasan lebih besar permukaan terkonsentrasi menuju *sump* utara. Dominasi tersebut terutama dipengaruhi oleh luas daerah tangkapan hujan yang lebih besar yang menuju *sump* utara, yaitu 1,351 km² dibandingkan 0,497 km² yang menuju *sump* selatan. Secara hidrologi, luas daerah tangkapan hujan merupakan faktor yang berbanding lurus dengan besarnya debit limpasan apabila intensitas hujan dan koefisien limpasan relatif sama.

Selain dipengaruhi oleh luas daerah tangkapan hujan, distribusi debit limpasan juga merupakan konsekuensi langsung dari perubahan topografi akibat pengembangan disposal. Aktivitas penimbunan material mengubah konfigurasi permukaan lahan sehingga garis pembagi aliran bergeser dan jalur aliran permukaan mengalami perubahan. Perubahan tersebut menyebabkan sebagian besar limpasan permukaan terkonsentrasi menuju *sump* utara, sedangkan area yang mengalir menuju *sump* selatan relatif lebih kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan morfologi disposal tidak hanya meningkatkan luas daerah tangkapan hujan, tetapi juga mengubah distribusi aliran permukaan pada sistem penyaliran tambang.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Roshanfekar dan Hansen (2020) yang menyatakan bahwa perubahan geometri disposal mampu mengubah pola aliran permukaan dan meningkatkan konsentrasi limpasan pada outlet tertentu. Kondisi serupa juga dilaporkan oleh Wright (2006), yang menjelaskan bahwa perubahan topografi akibat aktivitas penambangan merupakan faktor utama yang mengendalikan perubahan respons hidrologi suatu daerah tangkapan hujan.

3.6. Erosi dan Sedimentasi

Erosi merupakan proses terlepasnya partikel tanah dari tempat asalnya akibat energi tumbukan butir hujan dan aliran permukaan yang kemudian diangkut menuju lokasi lain. Untuk memperkirakan besarnya kehilangan tanah pada area penelitian digunakan metode Universal Soil Loss Equation (USLE) yang mempertimbangkan faktor erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), penutupan lahan (C), serta tindakan konservasi tanah (P) (Rachman dkk., 2018).

Nilai setiap parameter USLE diperoleh dari hasil analisis karakteristik lokasi penelitian dan data sekunder perusahaan. Nilai erodibilitas tanah (K) sebesar 0,075 menunjukkan bahwa material penyusun disposal memiliki tingkat kepekaan erosi yang relatif rendah. Meskipun demikian, nilai faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) sebesar 27,17 pada daerah tangkapan hujan menuju *sump* utara dan 32,47 pada daerah tangkapan hujan menuju *sump* selatan tergolong tinggi. Nilai LS yang besar menunjukkan bahwa perubahan geometri disposal menghasilkan lereng yang lebih panjang dan curam sehingga meningkatkan kecepatan aliran permukaan serta energi aliran dalam melepaskan dan mengangkut partikel tanah. Dalam metode USLE, faktor LS merupakan salah satu parameter yang paling sensitif terhadap perubahan topografi sehingga berkontribusi besar terhadap peningkatan laju erosi.

Nilai faktor penutupan lahan (C) dan tindakan konservasi (P) masing-masing sebesar 1 menunjukkan bahwa area penelitian masih berupa disposal aktif yang didominasi lahan terbuka tanpa vegetasi serta belum menerapkan tindakan konservasi tanah secara khusus. Kondisi tersebut mencerminkan skenario paling rentan terhadap erosi karena permukaan tanah menerima energi tumbukan hujan secara langsung tanpa perlindungan vegetasi maupun bangunan konservasi. Parameter USLE yang digunakan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 7. Parameter USLE

Parameter	Nilai
Erosivitas Hujan (R)	Januari 64,48
	Februari 49,36
	Maret 31,68
	April 16,72
	Mei 13,68
	Juni 18,48
	Juli 6,85
	Agustus 11,66
	September 17,04
	Oktober 33,37
	November 47,55
	Desember 59,01
Erodibilitas Tanah (K)	0,075

Kemiringan Lereng (LS)	
Mengarah ke <i>Sump</i> Utara	27,17
Mengarah ke <i>Sump</i> Selatan	32,47
Pengelolaan Lahan (P)	1
Penutupan Tanah (C)	1

Berikut merupakan perhitungan potensi erosi *sump* selatan menggunakan rumus USLE pada bulan januari :

$$A = R \times K \times LS \times P \times C$$

$$A = 64,48 \times 0,075 \times 32,47 \times 1 \times 1$$

$$A = 9.542 \text{ ton/bulan}$$

Hasil perhitungan potensi erosi bulanan pada daerah tangkapan hujan yang mengalir menuju *sump* utara dan *sump* selatan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 8. Potensi Erosi

Bulan	Potensi Erosi (ton/bulan)	
	<i>Sump</i> Utara	<i>Sump</i> Selatan
Januari	15.898	9.542
Februari	12.170	7.304
Maret	7.812	4.688
April	4.123	2.474
Mei	3.373	2.024
Juni	4.557	2.735
Juli	1.689	1.014
Agustus	2.875	1.726
September	4.202	2.522
Oktober	8.229	4.939
November	11.725	7.037
Desember	14.549	8.732

Berdasarkan hasil perhitungan, potensi erosi tertinggi terjadi pada bulan Januari, yaitu sebesar 15.989 ton/bulan pada *sump* utara dan 9.542 ton/bulan pada *sump* selatan. Sebaliknya, nilai erosi terendah terjadi pada bulan Juli masing-masing sebesar 1.689 ton/bulan dan 1.014 ton/bulan. Pola tersebut mengikuti variasi curah hujan musiman, di mana intensitas hujan pada musim penghujan meningkatkan nilai erosivitas hujan (R), sehingga energi kinetik hujan dan volume limpasan permukaan menjadi lebih besar. Akibatnya, proses pelepasan dan pengangkutan partikel tanah berlangsung lebih intensif dibandingkan pada musim kemarau.

Berdasarkan Keputusan Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan Nomor 041/Kpts/V/1998, tingkat erosi pada area penelitian termasuk dalam kategori ringan hingga moderat. Walaupun demikian, kondisi tersebut tetap memerlukan perhatian karena terjadi pada area disposasi aktif yang belum memiliki vegetasi penutup sehingga berpotensi menghasilkan sedimen dalam jumlah besar apabila tidak dilakukan pengendalian erosi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Towansiba dan Pangkung (2020) yang menyatakan bahwa area disposal tanpa vegetasi menghasilkan laju erosi yang lebih tinggi dibandingkan lahan yang telah direklamasi. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi antara curah hujan tinggi, lereng curam, dan minimnya penutup lahan merupakan faktor utama yang mengendalikan peningkatan erosi pada area disposal. Material hasil erosi yang terbawa aliran permukaan akan mengalami pengendapan pada *sump* sehingga mengurangi kapasitas tampungan efektif. Berdasarkan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR), dapat dilihat pada Tabel 8

Sedimentasi merupakan proses pengendapan material hasil erosi yang terbawa oleh aliran permukaan dan kemudian terakumulasi pada dasar saluran maupun *sump*. Akumulasi sedimen yang berlangsung secara terus-menerus akan mengurangi kapasitas tampungan efektif sehingga perlu diperhitungkan dalam perencanaan sistem penyaliran tambang. Pada penelitian ini, sedimentasi dihitung menggunakan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR) untuk memperkirakan proporsi material hasil erosi yang benar-benar mencapai *sump*. Berikut merupakan hasil perhitungan potensi sedimentasi *sump* selatan pada bulan Januari:

$$S = A \times SDR$$

$$S = 9.542 \times 0,1275$$

$$S = 1.428 \text{ ton/bulan}$$

Hasil perhitungan potensi sedimentasi bulanan pada daerah tangkapan hujan yang mengalir menuju *sump* utara dan *sump* selatan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 9. Sedimentasi

Bulan	Potensi Sedimentasi (ton/bulan)	
	<i>Sump</i> Utara	<i>Sump</i> Selatan
Januari	2.028	1.428
Februari	1.552	1.093
Maret	996	701
April	526	370
Mei	430	303
Juni	581	409
Juli	215	152
Agustus	367	258
September	536	377
Oktober	1.049	739
November	1.495	1.053
Desember	1.856	1.306

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh sedimentasi kumulatif sebesar 11.631 ton/tahun pada *sump* utara dan 8.189 ton/tahun pada *sump* selatan. Pola sedimentasi bulanan mengikuti pola potensi erosi dan curah hujan, dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Juli. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan sedimentasi sangat dipengaruhi oleh besarnya debit limpasan dan kemampuan aliran dalam mengangkut material hasil erosi.

Secara hidraulik, peningkatan debit limpasan menyebabkan kapasitas angkut sedimen meningkat sehingga lebih banyak material hasil erosi terbawa menuju *sump*. Ketika kecepatan

aliran berkurang di dalam *sump*, kemampuan aliran dalam mengangkut partikel menurun sehingga sedimen mulai mengendap. Mekanisme tersebut menjelaskan hubungan yang erat antara perubahan daerah tangkapan hujan, peningkatan limpasan, erosi, dan sedimentasi pada area disposal.

Hasil penelitian ini konsisten dengan Towansiba dan Pangkung (2020) yang melaporkan bahwa peningkatan limpasan pada area disposal diikuti oleh peningkatan akumulasi sedimen pada fasilitas pengendapan. Dengan demikian, pengendalian sedimentasi tidak hanya dilakukan melalui pengerukan *sump*, tetapi juga melalui upaya pengendalian erosi pada daerah tangkapan hujan.

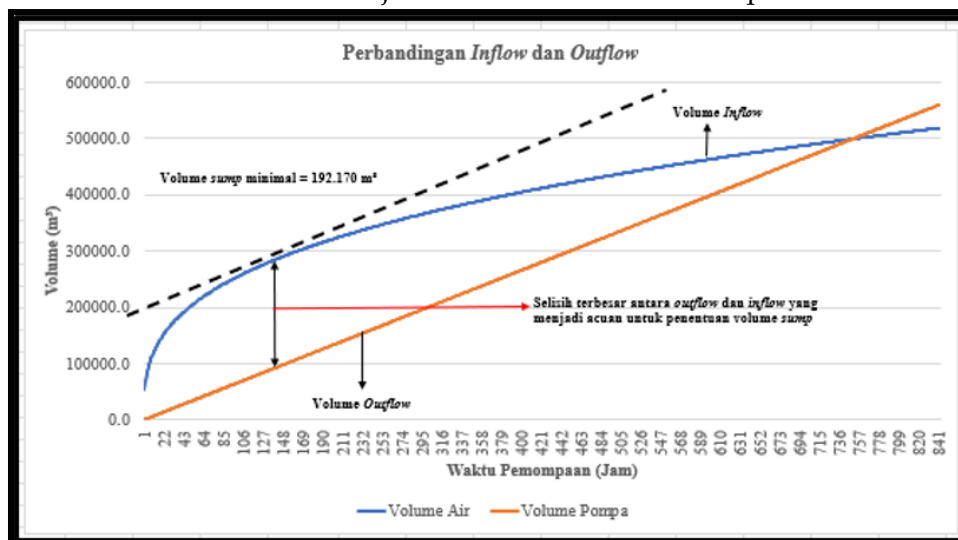
Akumulasi sedimentasi sebesar 11.631 ton/tahun pada *sump* utara dan 8.189 ton/tahun pada *sump* selatan menunjukkan bahwa kapasitas tampungan efektif akan terus berkurang apabila pengerukan tidak dilakukan secara berkala. Oleh karena itu, hasil estimasi sedimentasi ini dapat dijadikan dasar dalam menentukan interval pengerukan serta mengevaluasi kapasitas tampungan agar sistem penyaliran tetap berfungsi secara optimal selama umur operasional tambang.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Towansiba dan Pangkung (2020) yang melaporkan bahwa peningkatan debit limpasan pada disposal diikuti oleh peningkatan akumulasi sedimen pada settling pond. Dengan demikian, pengelolaan sedimentasi tidak hanya bergantung pada kapasitas *sump*, tetapi juga dipengaruhi oleh pengendalian erosi pada daerah tangkapan hujan.

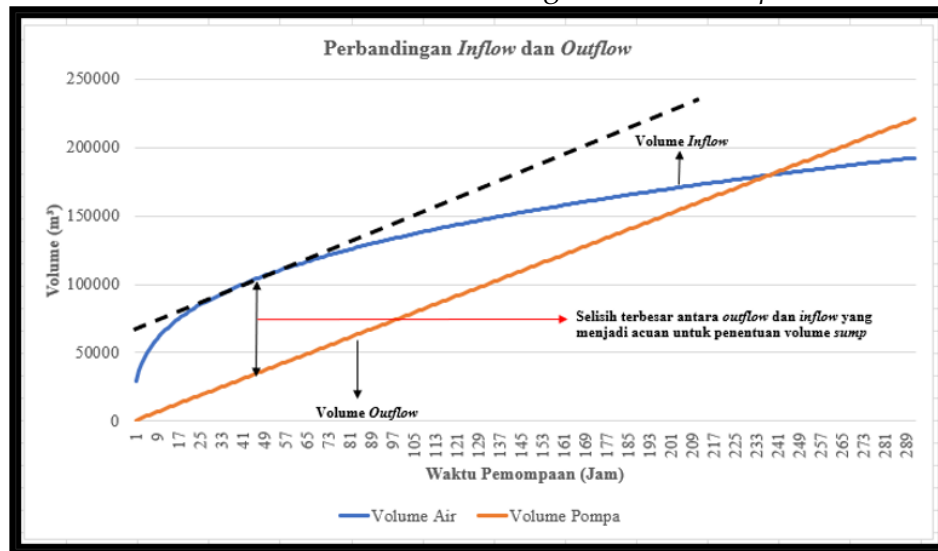
3.7. Sump

Evaluasi dan perancangan *sump* dilakukan berdasarkan keseimbangan antara volume air masuk (inflow) dan volume air keluar (outflow). Volume inflow dihitung berdasarkan akumulasi debit limpasan harian dari masing-masing daerah tangkapan hujan, sedangkan outflow ditentukan berdasarkan kapasitas pompa dan jam operasional pemompaan.

Pompa yang digunakan adalah MF-420EXHVB Pump Unit dengan kapasitas pemompaan sebesar 820,8 m³/jam. Kapasitas pompa tersebut dipilih karena mampu mengimbangi debit limpasan hasil analisis pada kondisi hujan rencana. Namun demikian, evaluasi ini dilakukan dengan asumsi pompa beroperasi secara normal selama periode hujan, sehingga skenario kegagalan pompa (*pump failure scenario*) maupun kejadian hujan dengan periode ulang yang lebih besar belum dianalisis dan menjadi salah satu keterbatasan penelitian.



Gambar 4. Grafik Perhitungan volume Sump Utara



Gambar 5. Grafik Perhitungan volume Sump Selatan

Kapasitas tampungan minimum ditentukan berdasarkan selisih maksimum antara inflow dan outflow yang ditentukan dari grafik pada Gambar 4 dan 5, lalu mempertimbangkan sedimen, kemudian dikalikan faktor keamanan sebesar 1,25 sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

Selain memenuhi ketentuan regulasi, penggunaan faktor keamanan tersebut bertujuan mengantisipasi ketidakpastian yang berasal dari fluktuasi curah hujan, perubahan luas daerah tangkapan hujan akibat aktivitas penambangan, serta penurunan kapasitas tampungan yang disebabkan oleh sedimentasi selama periode operasional.

Tabel 10. Volume Sump

Keterangan	Sump Utara (m ³)	Sump Selatan (m ³)
<i>Inflow</i>	288.083	103.946
<i>Outflow</i>	95.904	34.776
Air Limpasan yang ditampung	192.179	69.170
Sedimentasi	6.842	4.817
Volume Total	248.777	92.484

Hasil evaluasi pada Tabel 10 menunjukkan bahwa perubahan daerah tangkapan hujan akibat pengembangan disposal menyebabkan perubahan distribusi limpasan permukaan yang berdampak langsung pada peningkatan kebutuhan kapasitas tampungan *sump*. *Sump* utara menerima beban *inflow* yang jauh lebih besar dibandingkan *sump* selatan, yang disebabkan oleh luasan daerah tangkapan hujan yang lebih luas pada sisi *sump* utara pasca-ekspansi. Di samping itu, akumulasi sedimen yang dikonversi dengan nilai densitas 1,7 ton/ m³ yang mencapai 6.842 m³/tahun pada *sump* utara dan 4.817 m³/tahun pada *sump* selatan menjadi

faktor pada kapasitas tampungan efektif yang signifikan dan tidak dapat diabaikan dalam perencanaan.

Dimensi *sump* ditentukan berdasarkan kebutuhan kapasitas tampungan minimum yang telah dihitung, dengan mempertimbangkan kondisi geometri dan topografi area penelitian. Bentuk *sump* yang digunakan adalah trapesium dengan kemiringan dinding 60° yang disesuaikan dengan karakteristik material dan stabilitas lereng pada area *disposal*. Perhitungan volume *sump* berbentuk trapesium menggunakan geometri trapezium. Berdasarkan persamaan tersebut, dengan kedalaman *sump* ditetapkan sebesar 10 m dan kemiringan dinding 60°, diperoleh dimensi *sump* sebagaimana disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Dimensi *Sump*

Keterangan	<i>Sump</i> Utara	<i>Sump</i> Sealatan
Panjang Permukaan (a)	160 m	98 m
Panjang Dasar (d)	154 m	92 m
Kemiringan (e)	60°	60°
Kedalaman (f)	10 m	10 m

Dimensi *sump* yang dirancang menghasilkan volume tampungan yang ekuivalen dengan kebutuhan kapasitas minimum yang telah dihitung, sehingga *sump* mampu menampung selisih maksimum antara *inflow* dan *outflow* pada periode hujan puncak. Perlu ditekankan bahwa kapasitas *sump* yang dirancang tidak harus menampung seluruh total volume limpasan selama periode hujan, melainkan hanya selisih antara *inflow* dan *outflow* pada setiap interval waktu. Hal ini dimungkinkan karena sistem pemompaan beroperasi secara kontinu selama periode hujan berlangsung, sehingga volume air yang tersimpan di dalam *sump* secara bertahap berkurang seiring berjalannya operasi pemompaan.

Pengerukan sedimen secara berkala dilakukan satu tahun sekali menjadi bagian penting dalam pengelolaan *sump* karena sedimentasi sebesar 7.447 m³/tahun pada *sump* utara dan 4.153 m³/tahun pada *sump* selatan akan mengurangi kapasitas tampungan efektif secara bertahap. Apabila pengerukan tidak dilakukan sesuai jadwal, kapasitas tampungan akan terus menurun sehingga meningkatkan risiko terjadinya overflow pada saat hujan berintensitas tinggi. Oleh karena itu, evaluasi kapasitas *sump*, pembaruan model hidrologi menggunakan data DEM terbaru, serta peninjauan jadwal pengerukan sedimen perlu dilakukan setiap terjadi perubahan geometri *disposal* agar sistem penyaliran tetap mampu mendukung keberlanjutan operasi penambangan.

4. Kesimpulan

1. Pengembangan *Disposal Candrian* terbukti mengubah konfigurasi daerah tangkapan hujan akibat perubahan morfologi lahan, sehingga mengubah distribusi aliran permukaan pada area penelitian. Hasil delineasi menunjukkan bahwa daerah tangkapan hujan seluas 1,699 km² mengalir menuju *sump* utara dan 0,388 km² menuju *sump* selatan, sehingga menghasilkan debit limpasan masing-masing sebesar 16,81 m³/s dan 8,04 m³/s. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan morfologi *disposal* merupakan faktor pengendali utama respons hidrologi tambang karena secara langsung memengaruhi konfigurasi daerah tangkapan hujan, distribusi limpasan, serta kebutuhan kapasitas fasilitas penyaliran. Oleh karena itu, evaluasi sistem penyaliran perlu dilakukan setiap terjadi perubahan geometri *disposal*.

2. Potensi sedimentasi tahunan yang diperkirakan mencapai 11.631 ton/tahun pada *sump* utara dan 8.189 ton/tahun pada *sump* selatan menunjukkan bahwa perubahan daerah tangkapan hujan tidak hanya meningkatkan limpasan permukaan, tetapi juga memperbesar beban sedimen yang masuk ke *sump*. Akumulasi sedimen tersebut berpotensi mengurangi kapasitas tampungan efektif secara bertahap sehingga pengerukan sedimen secara berkala menjadi bagian penting dalam menjaga kinerja sistem penyaliran dan meminimalkan risiko limpasan pada periode hujan tinggi.
3. Berdasarkan evaluasi keseimbangan *inflow-outflow* serta mempertimbangkan akumulasi sedimentasi tahunan, kebutuhan kapasitas tampungan ditetapkan sebesar 248.777 m³ untuk *sump* utara dan 92.484 m³ untuk *sump* selatan dengan faktor keamanan 1,25 sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Hasil ini menunjukkan bahwa perencanaan kapasitas *sump* tidak dapat didasarkan hanya pada debit limpasan, tetapi juga harus mempertimbangkan perubahan morfologi tambang dan akumulasi sedimentasi selama umur operasional.
4. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menghubungkan perubahan morfologi disposal, delineasi daerah tangkapan hujan berbasis Digital Elevation Model (DEM), analisis debit limpasan, estimasi sedimentasi, hingga evaluasi kebutuhan kapasitas *sump* dalam satu kerangka analisis hidrologi. Pendekatan tersebut memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam perencanaan sistem penyaliran tambang yang adaptif terhadap perubahan topografi akibat pengembangan disposal.
5. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam perencanaan pengembangan disposal berikutnya, evaluasi kapasitas *sump*, optimasi sistem pemompaan, penentuan jadwal pengerukan sedimen, serta pengelolaan drainase tambang untuk mengurangi risiko genangan dan gangguan operasional selama umur tambang.
6. Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain penggunaan data curah hujan selama periode 2016–2025, penerapan Metode Rasional untuk perhitungan debit limpasan, serta belum mempertimbangkan kontribusi aliran air tanah (*groundwater inflow*) dan pengaruh perubahan iklim terhadap respons hidrologi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan model hidrologi yang lebih komprehensif, seperti HEC-HMS atau SWMM, memanfaatkan DEM beresolusi tinggi, serta memasukkan skenario perubahan iklim untuk meningkatkan akurasi evaluasi sistem penyaliran tambang.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Bumi Suksesindo atas pemberian izin penelitian, akses lokasi penelitian, serta penyediaan data yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pembimbing lapangan atas dukungan teknis, arahan, dan bantuan selama proses pengambilan data di lokasi penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, masukan, dan saran ilmiah yang sangat berharga selama penyusunan dan penyempurnaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Avellyn, S. S., dkk. (2021): Mathematical Design Study of Drainage And Dewatering Strategies: Integrated System For Water Management in Open-Pit Mining: Mine Drainage System Planning At PT Putra

- Coal in The North Kalimantan Region, IOP Publishing – Journal of Physics: Conference Series. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1764/1/012121>
- Azizah, C., Lizar, C. A., & Risna, Y. K. (2024): Metode Empiris Untuk Menganalisis Aliran Limpasan Permukaan Dalam Perancangan Sumberdaya Air, *Jurnal Lingkungan Almuslim*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill. https://books.google.com/books?id=1_D7CAAAQBAJ
- Dewi, M. C., dkk. (2021): The planning of mine drainage system at PT Perkasa Inakakerta, East Kutai Regency, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/882/1/012040>
- Febriani, L. A., Wardhani, E., & Halomoan, N. (2019): **Analisa Hidrologi untuk Penentuan Metode Intensitas Hujan di Wilayah Aerocity X**, *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 1(2), 63–70. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v1n2.p63-70>
- Nganro, S., Trisutomo, S., Barkey, R. A., & Ali, M. (2019). Analisis Koefisien Limpasan Permukaan Kota Makassar dengan Metode Cook. *TATALOKA*, 21(2), 285–292. <https://doi.org/10.14710/tataloka.21.2.285-292>
- Rachman, A., Suhartanto, E., & Harisuseno, D. (2018): Prediksi Laju Erosi Menggunakan Metode Universal Soil Loss Equation (USLE) pada Daerah Aliran Sungai, *Jurnal Teknik Pengairan*, 9(2), 132–141. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v7i1.2775>
- Roshanfekr, A., & Hansen, D. (2020): Hydraulic Behavior of Progressively Lengthened Mine-Waste Dumps, *ASCE – Journal of Hydraulic Engineering*.
- Rozi, M. F., Rosadi, P. E. (2022). Pemodelan daerah tangkapan hujan dengan menggunakan aplikasi Global Mapper. *KURVATEK*. 2022;7(1):19-24. [doi:10.33579/krvtk.v7i1.2775](https://doi.org/10.33579/krvtk.v7i1.2775)
- Towansiba, L., & Pangkung, N. (2020). Settling pond design considering sedimentation deposit rates at waste dump PT Gag Nikel, Raja Ampat, West Papua. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 3(2), 43–49. <https://doi.org/10.31227/osf.io/6zj8b>
- Windari, G. A., & Sudarti. (2024): Analisis Ketersediaan Air Bersih Berdasarkan Curah Hujan dan Kondisi Hidrologi di Desa Nano Kecamatan Jangar Kabupaten Bima, *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi (GeoJPG)*. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/GeoJPG>
- Wright Metago, A. (2006): Understanding Waste Rock Dump Hydrology is Essential for Effective Closure Planning and ARD Management, Australian Centre for Geomechanics. https://papers.acg.uwa.edu.au/p/605_05_Metago



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License