

Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang Tanah Liat di Pit Tlogowaru V PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Site Tuban

(Technical Design of Clay Mine Drainage System at Pit Tlogowaru V of PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Site Tuban)

Kadek Dwi Prabawa¹, Haeruddin², Siti Aminah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember
dwiprabawa16@gmail.com

Abstrak

Kegiatan penambangan tanah liat di Pit Tlogowaru V yang dikelola oleh PT Semen Indonesia (Persero) Tbk sering menghadapi permasalahan berupa genangan air limpasan, terutama pada musim hujan. Kondisi tersebut berdampak langsung terhadap produktivitas tambang karena menghambat pergerakan alat berat. Sistem penyaliran yang digunakan saat ini dinilai belum mampu mengelola debit limpasan secara optimal, sehingga diperlukan perencanaan sistem penyaliran yang lebih komprehensif dan andal secara teknis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyaliran tambang yang mencakup perhitungan debit limpasan, perencanaan kapasitas *sump*, desain saluran terbuka, dan pemilihan sistem pemompaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, dengan menganalisis data curah hujan harian selama 20 tahun (2004–2023) menggunakan distribusi Gumbel untuk mendapatkan curah hujan rencana periode ulang dua tahunan. Metode Mononobe digunakan untuk menghitung intensitas hujan, sementara metode Rasional diterapkan untuk menghitung debit limpasan. Hasil perhitungan menunjukkan debit limpasan puncak sebesar 1.159,64 m³/jam, dengan volume air harian mencapai 4.638,57 m³. *Sump* dirancang berbentuk prisma trapesium dengan volume 12.427,14 m³, melebihi kapasitas minimum 11.327,67 m³ sesuai sesuai ketentuan Keputusan Menteri ESDM RI Nomor 1827K/30/MEM/2018. Sistem penyaliran meliputi satu unit pompa Multiflo MF-420EX dengan debit 792 m³/jam dan pipa HDPE sepanjang 200 meter. Tiga saluran terbuka (Paritan A, B, dan C) dirancang untuk mengalirkan limpasan menuju *sump* dan *bozem* dengan debit masing-masing 1,1 m³/s, 1,17 m³/s, dan 0,84 m³/s. Analisis *water balance* menunjukkan bahwa sistem yang dirancang, diharapkan mampu mengelola limpasan harian secara efektif dan mendukung keberlanjutan operasional tambang. Dengan pendekatan ini, sistem penyaliran yang dihasilkan dinilai layak diterapkan di lapangan sebagai solusi teknis yang aplikatif, dan sesuai dengan kondisi tambang terbuka.

Kata Kunci: Debit Limpasan, Penyaliran Tambang, *Sump*, Sistem Pemompaan, Tlogowaru.

Abstract

The clay mining activities at Pit Tlogowaru V, operated by PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, frequently encounter problems related to runoff water accumulation, especially during the rainy season. This condition significantly affects mining productivity by disrupting equipment mobility. The current drainage system in place is considered inadequate for managing the volume of runoff effectively, prompting the need for a more comprehensive and technically reliable drainage design. This research aims to develop a drainage system design that includes runoff discharge calculation, sump capacity planning, open channel layout, and pump system selection. The study employs a quantitative method by analyzing 20 years (2004–2023) of daily rainfall data using the Gumbel distribution to determine the two-year return period design rainfall. The Mononobe method is then used to calculate rainfall intensity, while the Rational Method is applied to estimate the resulting runoff discharge. The calculated peak runoff discharge is 1,159.64 m³/hour, producing a daily volume of 4,638.57 m³ that must be managed. The sump is designed in the form of a trapezoidal prism with a total volume of 12,427.14 m³, exceeding the minimum requirement of 11,327.67 m³ as regulated in Kepmen ESDM number 1827K/30/MEM/2018. The drainage system includes one Multiflo MF-420EX pump, with a discharge capacity of 792 m³/hour, supported by 200 meters of HDPE pipeline. Additionally, three open channels (Paritan A, B, and C) are designed to transport runoff to the sump and bozem, with respective discharge capacities of 0.72 m³/s, 0.74 m³/s, and 0.31 m³/s. The water balance analysis confirms that the proposed system is capable of handling daily runoff effectively, offering a reliable and practical solution to support continuous mining operations under typical rainfall scenarios. This drainage design is considered applicable and efficient, providing a technically feasible solution that aligns with the operational needs of open-pit clay mining.

Keywords: Mine Drainage, Runoff Discharge, Sump, Pumping System, Tlogowaru

PENDAHULUAN

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan salah satu produsen semen terbesar di Indonesia yang memiliki tambang tanah liat aktif di Desa Tlogowaru, Kecamatan Merakurak, Tuban, Jawa Timur. Tanah liat sebagai bahan baku utama semen memiliki kandungan kimia yang penting dalam proses pengikatan dan pengerasan beton. Salah satu lokasi produksi penting perusahaan adalah Pit Tlogowaru V, yang menghadapi permasalahan serius berupa genangan air saat musim hujan. Hal ini berdampak pada kelancaran operasional tambang, menurunkan produktivitas alat berat, serta meningkatkan risiko keselamatan kerja. Sistem penyaliran eksisting dinilai belum mampu menangani limpasan air secara optimal, sehingga diperlukan solusi teknis untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air tambang.

Beberapa studi sebelumnya menekankan pentingnya sistem penyaliran tambang yang dirancang secara cermat. Sari dkk. (2024) dalam penelitian di daerah yang sama, menyatakan bahwa saluran eksisting di tambang tanah liat PT Semen Indonesia (Persero) Tbk memiliki kapasitas terbatas. Sistem penyaliran yang tidak memadai juga dapat menyebabkan gangguan operasional dan mempercepat kerusakan peralatan tambang (Mahardika dkk., 2022). Kinerja sistem penyaliran akan lebih optimal apabila dilengkapi dengan sistem pemompaan yang sesuai (Fitri & Murad, 2021). Selain itu, aspek kapasitas penampungan juga perlu disesuaikan dengan debit harian dan potensi curah hujan ekstrem agar risiko hidrologi dapat ditekan secara maksimal (Fajriyanti & Moralista, 2021).

Perkembangan metode dalam perencanaan sistem penyaliran tambang semakin menekankan pada akurasi estimasi hidrologi dan keandalan rancangan teknis. Metode distribusi Gumbel digunakan secara luas untuk memperkirakan curah hujan ekstrem tahunan berdasarkan data historis (Mahardika dkk., 2022), sementara metode Mononobe diterapkan untuk menghitung intensitas hujan rencana berdasarkan waktu konsentrasi aliran (Tamrin, 2010). Debit limpasan umumnya dihitung menggunakan metode Rasional, yang menggabungkan parameter luas daerah tangkapan, intensitas hujan, dan koefisien limpasan untuk menentukan besarnya aliran permukaan (Fajriyanti & Moralista, 2021). Dalam perencanaan *sump*, kapasitas penampungan dirancang mengacu pada ketentuan minimal 84 jam penyimpanan sesuai Kepmen ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 guna mencegah luapan saat curah hujan tinggi (Muhajirin & Yulantoro, 2022). Saluran terbuka biasanya dirancang dengan rumus *Manning* yang mempertimbangkan kemiringan dan kekasaran saluran (Sanusi & Pratiwi, 2019), sedangkan sistem pemompaan dihitung berdasarkan kebutuhan debit dan total *head*, disesuaikan dengan spesifikasi pompa dan pipa (Sepniko dkk., 2018). Berbagai pendekatan ini menunjukkan bahwa sistem penyaliran tambang tidak hanya menuntut perhitungan yang akurat, tetapi juga harus mempertimbangkan efisiensi operasional dan kepatuhan terhadap regulasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyaliran tambang tanah liat yang meliputi estimasi debit air limpasan, desain *sump*, saluran terbuka (paritan), serta sistem pemompaan. Perancangan dilakukan dengan pendekatan kuantitatif berdasarkan data curah hujan 20 tahun terakhir, serta mempertimbangkan kondisi topografi, kapasitas peralatan, dan regulasi teknis yang berlaku. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis terhadap permasalahan genangan air dan mendukung operasional tambang yang berkelanjutan.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Pit Tlogowaru V, salah satu area tambang tanah liat aktif PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, Site Tuban yang terletak di Desa Tlogowaru, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Wilayah ini termasuk dalam Zona Rembang dengan karakteristik geologi batuan sedimen, serta topografi dominan datar, yang mempengaruhi arah aliran air permukaan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan menghasilkan rancangan teknis sistem penyaliran tambang berbasis data numerik dan perhitungan matematis. Pemilihan metode kuantitatif didasarkan pada kebutuhan untuk memperoleh hasil yang objektif, terukur, dan dapat diuji secara aktual.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui survei lapangan, observasi, dan pengumpulan arsip teknis. Survei digunakan untuk mengukur dimensi *sump*, saluran, dan elevasi buangan, sedangkan observasi dilakukan untuk menentukan arah aliran air dan kondisi geomorfologi tambang. Arsip berupa data curah hujan, peta topografi, desain pit, serta spesifikasi pompa dan pipa digunakan untuk analisis hidrologi, perhitungan debit, dan perancangan sistem penyaliran.

Metode Analisis Data

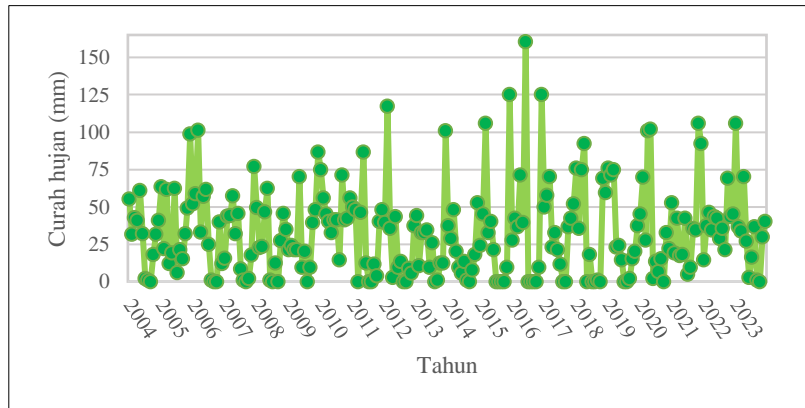
Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisis curah hujan
Dilakukan analisis curah hujan maksimum tahunan selama 20 tahun (2004–2023) menggunakan distribusi Gumbel untuk memperoleh curah hujan rencana. Selanjutnya, curah hujan rencana dikonversi menjadi intensitas hujan menggunakan metode Mononobe, dengan mempertimbangkan waktu konsentrasi aliran dari titik terjauh pada *catchment area* menuju *sump*.
2. Perhitungan debit limpasan
Setelah intensitas hujan diketahui, dilakukan perhitungan debit limpasan menggunakan metode Rasional. Dalam tahapan ini, luas *catchment area* ditentukan melalui interpretasi peta topografi dan desain pit menggunakan bantuan perangkat lunak *Google Earth Pro*, sedangkan koefisien limpasan dihitung berdasarkan karakteristik topografi, jenis tanah, dan penutupan vegetasi wilayah studi. Parameter-parameter tersebut dikombinasikan untuk menghasilkan nilai debit limpasan yang menjadi dasar dimensi sistem penyaliran.
3. Perencanaan *sump*
Perencanaan *sump* dirancang untuk menampung volume air selama 84 jam sesuai dengan ketentuan dalam Keputusan Menteri ESDM RI No. 1827K/30/MEM/2018. *Sump* didesain berbentuk prisma trapesium dengan dimensi yang disesuaikan agar aman menampung volume limpasan harian.
4. Desain sistem pemompaan dan pemipaan
Perencanaan sistem pemompaan dan pemipaan didasarkan pada kebutuhan debit harian dan tinggi tekanan (*head total*). Penentuan kapasitas pompa mempertimbangkan efisiensi pompa, waktu operasional, serta konfigurasi jaringan pipa.
5. Perencanaan paritan
Perencanaan paritan dilakukan untuk mengalirkan limpasan dari area *front* penambangan ke *sump* dan dari *sump* ke *bozem*. Analisis dilakukan menggunakan persamaan *Manning*, dengan memperhitungkan debit dari metode Rasional, kemiringan saluran, koefisien kekasaran, dan kondisi kontur lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan Tahun 2004–2023

Curah hujan merupakan salah satu parameter kunci dalam perencanaan sistem penyaliran tambang. Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan maksimum bulanan selama 20 tahun terakhir (2004–2023), yang kemudian dianalisis untuk menentukan curah hujan rencana sebagai dasar estimasi debit limpasan. Hasil analisis curah hujan dilakukan menggunakan persamaan statistika. Data analisa curah hujan maksimum bulanan di sajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik curah hujan maksimum bulanan

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai curah hujan maksimum tertinggi tercatat pada tahun 2016 dengan intensitas lebih dari 150 mm, sementara periode 2009–2012 menunjukkan kecenderungan curah hujan rendah di bawah 75 mm. Pola curah hujan yang fluktuatif ini menunjukkan perlunya pendekatan statistik untuk mengantisipasi curah hujan ekstrem. Berdasarkan analisa, dipilihlah metode distribusi Gumbel untuk menghitung curah hujan rencana berdasarkan sifat variabel ekstrem (Lashari dkk., 2017).

Curah Hujan Rencana (Xt)

Metode distribusi Gumbel digunakan untuk menghitung curah hujan rencana berdasarkan data curah hujan maksimum tahunan selama 20 tahun, karena metode ini sesuai untuk menganalisis variabel ekstrem. Perhitungan curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumbel berkaitan erat dengan periode ulang hujan yang ditentukan. Penentuan periode ulang hujan dilakukan menggunakan persamaan risiko hidrologi. Semakin tinggi persentase risiko hidrologi, semakin sesuai periode ulang yang dipilih. Hasil perhitungan periode ulang hujan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Periode ulang hujan

Periode Ulang Hujan (tahun)	Umur Tambang (tahun)	Resiko Hidrologi (%)
2	5	97
5	5	67
10	5	41
20	5	23

Penentuan periode ulang hujan didasarkan pada umur tambang, kondisi lingkungan dan keyakinan terhadap fasilitas penyaliran yang dibangun. Dengan umur tambang selama 5 tahun, penelitian ini menetapkan periode ulang hujan 2 tahun dengan risiko hidrologi sebesar 97%. Semakin tinggi persentase risiko hidrologi, maka semakin yakin pula curah hujan akan terlampaui pada periode waktu tertentu.

Metode distribusi Gumbel menggunakan nilai reduksi standar deviasi (S_n), reduksi rata-rata (Y_n), dan reduksi variate (Y_t) sebagai parameter perhitungan (Suripin, 2002). Berdasarkan data selama 20 tahun, diperoleh $S_n = 1,0696$, $Y_n = 0,5236$, dan Y_t untuk periode ulang 2 tahun sebesar 0,3065. Perhitungan curah hujan rencana (X_t) dilakukan menggunakan rata-rata curah hujan maksimum (\bar{x}) 91,33 mm/jam dan standar deviasi (S) 25,44. Perhitungan dengan metode distribusi Gumbel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 X_t &= b + \frac{1}{a} Y_t \\
 &= \left(\bar{x} - \frac{Y_n \times S}{S_n} \right) + \left(\frac{S}{S_n} \right) Y_t \\
 &= \left(91,33 - \frac{0,5236 \times 25,44}{1,0696} \right) + \left(\frac{25,44}{1,0696} \right) \times 0,3065 \\
 &= 86,17 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan rata-rata curah hujan maksimum sebesar 91,33 mm/jam dan periode ulang hujan 2 tahun, diperoleh curah hujan rencana sebesar 86,17 mm/jam. Nilai ini menunjukkan tingginya potensi kejadian hujan lebat di wilayah penelitian.

Pehitungan Debit Limpasan (Q)

Perhitungan debit limpasan menjadi langkah penting dalam merancang sistem penyaliran tambang, karena menentukan seberapa besar kapasitas air yang harus ditampung dan dialirkan. Dalam penelitian ini, debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional. Parameter yang digunakan dalam metode ini adalah intensitas hujan (I), luas *catchment area* (A), dan koefisien limpasan (C).

Intensitas hujan (I) dihitung dengan mempertimbangkan curah hujan rencana (Xt) dan waktu konsentrasi (tc). Waktu konsentrasi (tc) merupakan waktu maksimum yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik tertinggi dan terjauh menuju titik pengumpulan. Elevasi (H) dan panjang lintasan (L) ditentukan melalui pengukuran menggunakan *Google Earth Pro*. Perhitungan waktu konsentrasi dan intensitas curah hujan disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 tc &= 0,871 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \\
 &= 0,871 \times \left(\frac{(0,2043 \text{ m})^3}{(0,016 \text{ m})}\right)^{0,385} = 0,684 \text{ jam} \\
 I &= \frac{Xt}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= \frac{86,17 \text{ mm}}{24} \times \left(\frac{24}{0,684 \text{ jam}}\right)^{\frac{2}{3}} = 38,50 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan waktu konsentrasi (tc) sebesar 0,684 jam atau sekitar 42 menit, diperoleh intensitas hujan (I) sebesar 38,5 mm/jam. Berdasarkan klasifikasi intensitas hujan menurut Kohnke dan Bertrand (1959), intensitas ini termasuk dalam kategori hujan lebat (Kelas III), yaitu antara 12,5 mm/jam hingga 50 mm/jam. Klasifikasi ini menegaskan bahwa wilayah penelitian rentan terhadap limpasan permukaan dalam jumlah besar, yang jika tidak diantisipasi dapat mengganggu kelancaran kegiatan penambangan.

Koefisien limpasan (C) adalah variabel yang mencerminkan kondisi lingkungan di area penelitian. Kondisi daerah penelitian dapat dilihat dari kondisi tata guna lahan. Berdasarkan kriteria penentuan nilai koefisien limpasan oleh Suyono dkk, (2003), kondisi topografi wilayah berupa perbukitan dengan kemiringan 10–20% memiliki nilai koefisien topografi sebesar 0,16. Jenis batuan penyusun berupa lempung dan lanau memberikan kontribusi nilai koefisien tanah sebesar 0,16. Sementara itu, penggunaan lahan sebagai area pertanian menghasilkan koefisien vegetasi sebesar 0,11. Dengan menjumlahkan masing-masing faktor, diperoleh nilai koefisien limpasan total (C) sebesar 0,43 untuk area TW V.

Catchment area (A) ditentukan dengan mengamati arah aliran air melalui penarikan garis dari titik-titik elevasi tertinggi hingga membentuk poligon wilayah. Penghitungan luas dilakukan menggunakan *Google Earth Pro*, menghasilkan luas *catchment area* (A) TW V sebesar 0,07 km². Luasan *catchment area* ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Luasan *catchment area* TW V

Nilai yang diperoleh dari intensitas curah hujan (I), koefisien limpasan (C), dan luas *catchment area* (A) yang telah ditentukan selanjutnya digunakan dalam perhitungan debit limpasan (Q). Dengan menggunakan metode rasional, perhitungan debit limpasan (Q) disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,278 \times C \times I \times A \\
 &= 0,278 \times 0,43 \times 38,50 \frac{\text{mm}}{\text{jam}} \times 0,07 \text{ km}^2
 \end{aligned}$$

$$= 0,322 \text{ m}^3/\text{detik} = 1159,64 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan debit limpasan (Q) sebesar 1159,64 m³/jam, volume total air (Vt) yang masuk dapat dihitung berdasarkan rata-rata waktu lamanya hujan (t). Perhitungan rata-rata waktu lamanya hujan (t) dan volume total air (Vt) yang masuk adalah sebagai berikut:

Waktu rata-rata hujan:

$$t = \frac{X_i \text{ tertinggi}}{I}$$

$$= \frac{160,58 \text{ mm}}{38,50 \text{ mm/jam}} = 4,171 \text{ jam} \approx 4 \text{ jam}$$

$$Vt = Q \times t$$

$$= 1159,64 \text{ m}^3/\text{jam} \times 4 \text{ jam} = 4638,57 \text{ m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai debit limpasan(Q) dan volume air (Vt) yang masuk ke pit TW V masing-masing adalah 1.159,64 m³/jam dan 4.638,57 m³. Debit dan volume limpasan ini menjadi dasar teknis untuk merancang kapasitas tampungan pada *sump*, kapasitas pompa, serta dimensi paritan. Tanpa sistem penyaliran yang mampu menangani limpasan sebesar ini, risiko genangan yang menghambat aktivitas operasional tambang akan meningkat secara signifikan.

Sistem Pemipaan dan Pemompaan

Sistem pemompaan memiliki peran penting dalam mengalirkan air yang telah tertampung di *sump* menuju *bozem*, guna menjaga area penambangan tetap kering dan bebas genangan. Dalam penelitian ini, sistem pemompaan dirancang dengan memperhitungkan debit air limpasan yang masuk, kapasitas tampung *sump*, serta waktu kerja efektif per hari. Pemilihan pompa juga mempertimbangkan efisiensi, daya tahan, serta kesesuaian dengan kondisi lapangan tambang terbuka. Dipilih pompa Multiflo MF-420EX, jenis pompa *portable diesel-driven* yang umum digunakan di industri pertambangan. Untuk mendukung sistem ini, digunakan pipa HDPE (*High-Density Polyethylene*) dengan diameter luar 280 mm dan diameter dalam 263 mm, sepanjang 200 meter tanpa belokan. Sistem pipa didukung oleh enam unit penyangga pipa yang dirancang untuk mempertahankan elevasi dan kestabilan jalur aliran. Pemilihan pipa HDPE didasarkan pada keunggulannya yang tahan terhadap korosi, tekanan tinggi, dan perubahan suhu, serta cocok untuk kondisi lingkungan tambang terbuka. Berdasarkan spesifikasi pompa dan skema pemipaan yang digunakan, maka didapatkan *head* total pompa seperti ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 1. *Head* pemompaan

Parameter	Satuan	Nilai
Head statis	m	22
Elevasi <i>Inlet</i>	mdpl	-2
Elevasi <i>outlet</i>	mdpl	20
Head dinamis	m	75,50
<i>Head</i> gesekan pipa keluar	m	36,69
<i>Head</i> gesekan pipa hisap	m	36,69
<i>Head</i> kecepatan katup pipa	m	0,26
<i>Head</i> kecepatan pipa keluar	m	1,86
Head total	m	97,50

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *head* pompa adalah 97,5 m. Nilai ini berada dalam rentang operasi optimal berdasarkan kurva kinerja pompa (*performance curve*) pada *handbook Multiflo 420EX* buatan *Weir Minerals*. Titik kerja tersebut berada pada area efisiensi tinggi, yaitu sekitar 65%–70%, sehingga menjamin pengoperasian yang stabil dan hemat energi. Pada titik tersebut didapatkan kapasitas maksimum debit pemompaan (Qp) sebesar 220 l/detik atau 792 m³/jam dengan daya pompa rendah di 1.200 RPM, sehingga memberikan margin operasi yang cukup luas apabila terjadi peningkatan debit air secara tiba-tiba.

Waktu efektif pemompaan di Pit TW V setiap harinya adalah 8 jam, karena pompa hanya dapat dioperasikan pada shift 1 (pukul 08.00–16.00). Pembatasan waktu operasional ini didasarkan pada ketersediaan operator dan kepatuhan terhadap kebijakan K3. Hasil perhitungan kebutuhan unit pompa (n) dengan waktu operasional pemompaan (tp) 8 jam per hari adalah sebagai berikut:

$$n \text{ pompa} = \frac{Vt}{Q_p \times t_p}$$

$$= \frac{4638,575 \text{ m}^3}{(792 \text{ m}^3/\text{jam})(8 \text{ jam})} = 0,73 \approx 1 \text{ unit pompa}$$

Berdasarkan perhitungan, sistem pemompaan dirancang menggunakan satu unit pompa Multiflo MF-420EX (debit 792 m³/jam, 1.200 RPM) dan pipa HDPE berdiameter 11 inci sepanjang 200 meter tanpa belokan. Dengan konfigurasi ini, waktu pemompaan yang dibutuhkan adalah 8 jam, memungkinkan seluruh limpasan di *sump* dipindahkan ke *bozem* dalam satu hari. Konfigurasi sistem ini memungkinkan air dalam *sump* dipompa habis dalam satu siklus kerja harian. Rancangan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga berkontribusi pada penghematan energi dan tenaga kerja.

Perancangan Sump

Sump berfungsi sebagai tempat penampungan utama bagi air limpasan sebelum dialirkan ke *bozem* melalui sistem pemompaan. Dalam merancang *sump*, diperlukan penyesuaian terhadap debit air yang masuk, volume total air limpasan harian, serta regulasi teknis yang berlaku, khususnya Keputusan Menteri ESDM RI Nomor 1827K/30/MEM/2018 yang mensyaratkan kapasitas *sump* minimum sebesar 1,25 kali volume air selama curah hujan maksimum dalam 84 jam. Dengan debit pemompaan (Q_p) sebesar 792 m³/jam, dapat diketahui kapasitas penampungan minimum *sump* seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Kapasitas minimum *sump* selama 84 jam

Waktu (jam)	Intensitas (mm/jam)	Debit (m ³ /jam)	Volume Limpasan (m ³)	Jumlah Pompa	Debit Pompa (m ³ /jam)	Volume Pemompaan (m ³)	Volume Sump (m ³)
1	29,87	899,88	899,88	1	792,00	792,00	107,88
14	29,87	899,88	12598,36	1	792,00	11088,00	1510,36
28	29,87	899,88	25196,71	1	792,00	22176,00	3020,71
58	29,87	899,88	52193,19	1	792,00	45936,00	6257,19
84	29,87	899,88	75590,14	1	792,00	66528,00	9062,14

Berdasarkan volume maksimum *sump* selama 84 jam, maka dapat dihitung kapasitas minimum *sump* (V) adalah sebagai berikut:

$$V = 1,25 \times \text{Volume maksimal selama 84 jam}$$

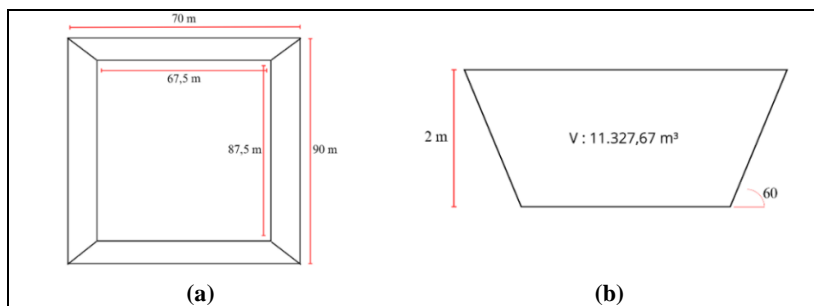
$$= 1,25 \times 9062,14 \text{ m}^3 = 11.327,67 \text{ m}^3$$

Kapasitas penampungan minimum (V) yang harus dipenuhi sesuai dengan ketentuan regulasi adalah sebesar 11.327,67 m³. *Sump* dirancang dengan bentuk prisma trapesium yang mengikuti kontur lereng tambang serta mempertimbangkan aspek kemudahan pelaksanaan di lapangan. Perencanaan dimensi dilakukan menggunakan rumus volume penampang trapesium melalui pendekatan metode *trial and error*. Dimensi *sump* yang direncanakan meliputi panjang permukaan (P_a) dan lebar permukaan (L_a) masing-masing sebesar 90 m dan 70 m, panjang dasar (P_b) dan lebar dasar (L_b) sebesar 87,5 m dan 67 m, serta kedalaman (d) 2 m dengan kemiringan dinding 60°. Pemilihan dimensi ini mempertimbangkan efisiensi penggunaan lahan dan kemampuan menahan volume air secara aman. Volume penampungan *sump* (V_{sump}) dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Budiarto (1997), sebagai berikut:

$$V_{sump} = \left(\frac{(P_a + P_b) \times d}{2} \right) \times L_a$$

$$= \left(\frac{(90 + 87,5) \times 2}{2} \right) \times 70 = 12.427,14 \text{ m}^3$$

Volume *sump* atau kapasitas tampung *sump* rencana adalah sebesar 12.427,14 m³. *Sump* dapat dikatakan telah memenuhi standar, karena mampu menampung kapasitas minimum yang telah dihitung berdasarkan ketetapan dalam kebijakan, sebesar 11.327,67 m³. Adapun desain rekomendasi bentuk *sump* disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Desain bentuk dan dimensi *sump* (a) tampak atas (b) tampak samping

Desain Paritan

Paritan berfungsi sebagai jalur utama pengaliran air permukaan dari area *front* penambangan menuju *sump* dan dari *sump* menuju *bozem*. Perancangan paritan dilakukan dengan mempertimbangkan arah aliran alami, elevasi, dan material dasar saluran. Penentuan dimensi paritan didasarkan pada ketersediaan lahan dan lokasi penempatannya, tanpa mempertimbangkan target debit aliran spesifik pada tiap paritan. Dalam penelitian ini, terdapat tiga jalur paritan yang dirancang, yaitu Paritan A, Paritan B, dan Paritan C. Paritan A dan B dirancang untuk mengalirkan air dari tepi pit menuju *sump*. Sedangkan Paritan C dirancang untuk mengalirkan air dari *outlet* pompa menuju *bozem*. Lokasi paritan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi Paritan A, B dan C

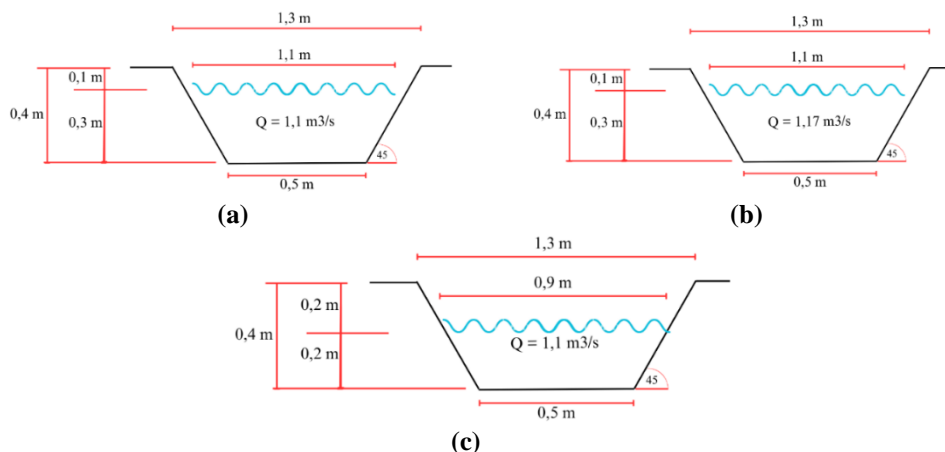
Penampang paritan menggunakan bentuk trapesium terbuka dengan dimensi yang telah dihitung menggunakan persamaan *Manning*. Kemiringan saluran disesuaikan dengan kondisi topografi alami untuk menjaga kestabilan aliran. Adapun dimensi Paritan A, B, dan C dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Dimensi Paritan A, B, dan C

Parameter	Satuan	Parit A	Parit B	Parit C
Kemiringan	%	0,1	0,11	0,50
Beda elevasi	m	16	14	16
Panjang paritan	m	156,44	121,33	32,29
Koefisien <i>Manning</i>	-	0,022	0,022	0,03
Lebar permukaan paritan	m	1,3	1,3	1,3
Lebar dasar paritan	m	0,5	0,5	0,5
Kedalaman aliran	m	0,3	0,3	0,2
Tinggi jagaan	m	0,1	0,1	0,2
Tinggi paritan	m	0,4	0,4	0,4
Luas penampang basah	m ²	0,24	0,24	0,14
Keliling penampang basah	m	1,34	1,34	1,07
Radius hidrolis	m	0,178	0,178	0,131
Debit	m ³ /detik	1,10	1,17	0,84

Dalam desain ini, terdapat tiga jalur paritan yang dirancang, yaitu Paritan A, Paritan B, dan Paritan C, masing-masing memiliki debit aliran sebesar 1,1 m³/detik, 1,17 m³/detik, dan 0,84 m³/detik. Material dasar saluran didominasi oleh tanah lempung. Berdasarkan Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990 Bina Marga, kecepatan aliran untuk saluran dengan dasar lempung yang direkomendasikan berada pada debit antara 0,75 m³/detik hingga 1,1 m³/detik. Dengan demikian, desain

dikatakan aman karena memiliki debit yang sesuai dan mempertimbangkan aliran tidak kontinu serta adanya peredaman kecepatan oleh vegetasi dan kemiringan saluran. Paritan dirancang dengan lintasan yang mengikuti kontur alami serta menggunakan kemiringan dasar stabil, sehingga dapat mengalirkan air secara gravitasi dengan kecepatan terkendali. Adapun rekomendasi rancangan desain dan dimensi paritan dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Rekomendasi dimensi paritan (a) Paritan A, (b) Paritan B, dan (c) Paritan C

Water Balance

Analisis *water balance* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem penyaliran dalam mengelola volume air yang masuk dan keluar dari *sump*, guna memastikan tidak terjadi kelebihan kapasitas (*overflow*) selama proses penambangan. Komponen utama yang dianalisis meliputi volume air yang masuk ke *sump* (V_{in}) dari limpasan permukaan sebesar $4.638,57 \text{ m}^3$ dan volume air yang dikeluarkan (V_{out}) melalui sistem pemompaan ($792 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam}$) sebesar 3.168 m^3 . Perhitungan *water balance* dapat dilakukan sebagai berikut:

$$V_{in} - V_{out} < V_{sump}$$

$$4.638,57 - 3.168 < 12.427,14$$

$$1.470,57 < 12.427,14$$

Berdasarkan hasil perhitungan, volume air yang masuk ke *sump* selama satu hari hujan adalah sebesar $4.638,57 \text{ m}^3$, sementara kapasitas *sump* yang dirancang mencapai $12.427,14 \text{ m}^3$. Air dari *sump* dipompa keluar menggunakan satu unit pompa Multiflo MF-420EX dengan debit $792 \text{ m}^3/\text{jam}$, sehingga seluruh volume air dapat dikosongkan dalam waktu 8 jam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki margin waktu dan volume yang cukup aman. Sistem ini juga mempertimbangkan kemungkinan keterlambatan pemompaan atau peningkatan intensitas hujan, sehingga dinilai handal untuk mendukung keberlangsungan operasi tambang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan sistem penyaliran tambang tanah liat di Pit Tlogowaru V PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, yang mencakup perhitungan debit limpasan, desain *sump*, saluran terbuka, dan sistem pemompaan. Debit limpasan sebesar $1.159,64 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan volume harian $4.638,57 \text{ m}^3$ dihitung berdasarkan *catchment area* seluas $0,07 \text{ km}^2$ dan intensitas hujan $38,5 \text{ mm}/\text{jam}$. Saluran terbuka dirancang mengikuti kontur alami pada tiga sisi dengan debit masing-masing sebesar $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, $1,17 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,84 \text{ m}^3/\text{s}$, sehingga mampu mengalirkan air secara terkontrol menuju *sump* dan meminimalkan genangan. *Sump* berbentuk prisma trapesium dirancang dengan kapasitas $12.427,14 \text{ m}^3$, melebihi standar minimum sesuai regulasi, untuk menjamin penampungan yang aman. Sistem pemompaan menggunakan satu unit pompa Multiflo MF-420EX dengan debit $792 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan pipa HDPE 11" sepanjang 200 meter, yang memungkinkan pengosongan *sump* dalam waktu 8 jam serta dinilai dapat meningkatkan efisiensi operasional. Secara perhitungan, rancangan ini mampu mengatasi seluruh air limpasan harian yang masuk ke dalam *front* penambangan. Seluruh sistem dirancang berdasarkan data aktual dan standar teknis, serta dinilai lebih optimal dibandingkan sistem eksisting. Kelebihan penelitian ini adalah pendekatan teknis yang sistematis berdasarkan data aktual dan sesuai standar regulasi. Kekurangannya, penelitian belum memasukkan variabel biaya pemasangan dan operasional sistem. Pengembangan lebih lanjut dapat

diarahkan pada pengujian sistem di bawah variasi curah hujan yang lebih ekstrem dan pada analisis efisiensi secara ekonomis untuk mendukung implementasi berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Site Tuban yang telah memberikan izin penelitian serta data yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para dosen di Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, atas arahan dan bimbingan yang sangat berarti selama ini. Terima kasih disampaikan pula kepada keluarga dan rekan-rekan seperjuangan yang telah memberikan semangat, doa, dan dukungan moral selama proses penyusunan sampai penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiarto. (1997). *Sistem Penirisan Tambang*. Yogyakarta: Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. (1990). *Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990*. Jakarta.
- Fajryanti, N. M., & Moralista, E. (2021). Perencanaan Sistem Penyaliran dan Pemompaan pada Tambang Terbuka di PT X Desa Tegalega, Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Journal Riset Teknik Pertambangan 1(1)*, 39-46
- Fitri, Y., & Murad, M. (2021). Sistem Penyaliran Tambang Untuk Mengatasi Genangan Air Limpasan Di Front Penambangan Blok Timur PT. Prima Delin Agro Permai Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang (6)2*, 10-19.
- KESDM RI. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*. Jakarta.
- Kohnke, H., & Betrand, A. R. (1959). *Soil conservation*. Bombay: McGraw-Hill Book Company.
- Lashari, Kusumawardani, R., & Prakasa, F. (2017). Analisa Distribusi Curah Hujan di Area Merapi Menggunakan Metode Aritmatika dan Poligon. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan 1(1)*, 39-48.
- Mahardika, R., Hartono, & Inmarlinianto. (2022). Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang Pada Penambangan Batugamping Di UP. Parno, Desa Karangasem, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang (5)2*, 35-42.
- Muhajirin, M. M., & Yulantoro, M. Y. (2022). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambag Terbuka Batubara Pit 1 PT.Banjar Bumi Persada. *Teknologi berkelanjutan*, Vol. 11 No 02.
- Sanusi, W., & Pratiwi, V. (2019). *Evaluasi Koefisien Manning pada Berbagai Tipe Dasar Saluran*. Yogyakarta: Universitas Komputer Indonesia.
- Sari, S. A., Saputra, W., & Cahyono, G. Y. (2024). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*, 1-10.
- Sepniko, R., Murad, M., & Anaperta, Y. M. (2018). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka pada Penambangan Batubara Blok B PT Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang 3(4)*, 1456-1470.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suyono, S., & Kensaku, T. (2003). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta, Indonesia.
- Tamrin, K. (2010). *Bahan Kuliah Penyaliran Tambang*. Padang: Universitas Negeri Padang.