

Analisis Hidrologi dan Desain Saluran Drainase untuk Pengendalian Limpasan di Sump Tambang PT. Hansindo Mineral Persada

Analisis Hidrologi dan Desain Saluran Drainase untuk Pengendalian Limpasan di Sump Tambang PT. Hansindo Mineral Persada

Hendri Sutrisno, Fitriana Meilasari, dan Rachmat Ichwanudin

Universitas Tanjungpura
 Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi Pontianak 78124 Indonesia

e-mail: hendry@enviro.untan.ac.id

Naskah diterima 17 Oktober 2023, selesai direvisi 27 Agustus 2024, dan disetujui 30 Agustus 2024

ABSTRAK

Penambangan di PT. Hansindo Mineral Persada menggunakan metode *quarry*. Jenis penambangan ini akan menghasilkan cekungan pada lokasi penambangan. Cekungan yang terbentuk dimanfaatkan menjadi *sump* atau tempat penampungan air. *Sump* berfungsi sebagai tempat penampungan air yang masuk ke dalam tambang. Jika air yang masuk melebihi batas maksimum *sump* karena curah hujan yang tinggi, maka akan berdampak terhadap di lokasi penambangan. Meningkatnya debit limpasan yang masuk ke *sump* akan berpotensi menyebabkan genangan atau banjir di lantai dasar penambangan. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan analisis sistem penyaliran untuk mengatasi permasalahan air di PT. Hansindo Mineral Persada. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besaran debit limpasan yang masuk, bentuk dan dimensi saluran sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan pendekatan empiris. Metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rencana adalah metode Gumbel dan metode untuk penentuan luasan *catchment area* adalah metode poligon. Adapun data yang digunakan ialah data curah hujan 10 tahun terakhir untuk mengetahui curah hujan rencana dan data topografi untuk mendapatkan *catchment area*, serta pola aliran air di area penambangan untuk mendapatkan debit limpasan. Debit limpasan yang diperoleh digunakan untuk merancang bentuk saluran terbuka. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh debit limpasan yang masuk ke *sump* sebesar 0,4916m³/s. Semakin besar luas daerah tangkapan hujan, maka semakin besar debit limpasan yang masuk ke *sump*, sehingga penampang saluran terbuka yang disarankan berbentuk trapesium dengan dimensi $y_n = 0,612m$, $b = 0,7m$, $\alpha = 60^\circ$, dan $s = 0,25\%$.

Kata kunci: Debit Limpasan, Penambangan, Saluran Terbuka

ABSTRACT

Mining at PT. Hansindo Mineral Persada uses the quarry method. This type of mining will produce a basin at the mining site. The basin formed is used as a sump or water reservoir. The sump functions as a reservoir for water entering the mine. If the incoming water exceeds the maximum sump due to high rainfall, it will have an impact on the mining site. The increased discharge of runoff entering the sump will potentially cause inundation or flooding on the mining ground floor. Based on these problems, it is necessary to analyze the drainage system to overcome water problems at PT. Hansindo Mineral Persada. The purpose of this study is to determine the amount of incoming runoff discharge, the shape and dimensions of the channel according to the needs of the company. The method used in this study is a quantitative method with an empirical approach. The method used to calculate the planned rainfall is the Gumbel method and the method for determining the area of the catchment area is the polygon method. The data used are rainfall data for the last 10 years to determine planned rainfall and topography data to obtain catchment areas, as well as water flow patterns in mining areas to obtain runoff discharge. The obtained runoff discharge is used to design open channel shapes. Based on the analysis that has been carried out, it is obtained that the runoff discharge entering the sump is 0.4916m³/s. The larger the area of the catchment area, the greater the runoff discharge that enters the sump, so that the recommended cross-section of the open channel is in the form of a trapezoid with dimensions ($y_n = 0.612m$), ($b = 0.7m$), ($\alpha = 60^\circ$), and ($s = 0.25\%$).

Keywords: Mining, Open Channel, Runoff Discharge

PENDAHULUAN

PT. Hansindo Mineral Persada merupakan perusahaan tambang yang menggunakan metode *quarry*. Metode penambangan ini akan menghasilkan daerah cekungan yang luas sehingga berpotensi membentuk daerah tampungan air (Endrianto and Ramli, 2013; Siahaan, Alam and Mutia, 2017; Khusairi, Kasim and Yunasril, 2018; Lesmana, Waterman and Maimina, 2019). Secara umum air yang masuk ke tempat penampungan air berasal dari air hujan ((Gautama, 2019; Pratama and Kasim, 2019). Curah hujan yang tinggi berbanding lurus dengan debit permukaan/ debit *runoff* yang masuk ke tempat penampungan air. Tempat penampungan air atau *sump* memiliki batas maksimum (Triatmodjo, 2008; Nauli *et al.*, 2015). Hal ini menyebabkan air pada *sump* dapat meluap jika tidak mampu menampung air yang masuk (Putri, Saismana and Triantoro, 2017; Sepniko, Murad and Anaperta, 2018; Wirmanto, Kasim and MS Murad, 2019; Januardus, Nirmala and Sutrisno, 2021). *Sump* merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem penambangan terbuka. Fungsi *sump* sebagai tempat penampungan air yang masuk ke dalam area penambangan (Prima, Amin and Abro, 2016; Oktaviandi, Devy and Umar, 2017; Islamiaty, Saismana and Riswan, 2022). Jika *sump* meluap dapat menyebabkan area penambangan yang berdekatan pada *sump* akan tergenang. Salah satu fasilitas sistem penyaliran tambang adalah saluran terbuka. Saluran terbuka berfungsi untuk mengalirkan air dari satu tempat ke tempat lain (Marzuki, 2016; Rauf and M, 2019). *Sump* dan saluran terbuka merupakan sarana dan prasana penting dalam sistem penyaliran tambang. Karena *sump* dan saluran terbuka berfungsi untuk menangani air yang masuk ke dalam tambang. Upaya pengendalian air yang masuk ke lokasi tambang dapat dilakukan dengan merencanakan sistem penyaliran tambang. Sistem penyaliran tambang adalah suatu upaya pada kegiatan penambangan untuk mencegah, mengeringkan atau mengalirkan air yang masuk ke area penambangan (Putra and Ariyanto, 2016; Syarifuddin,

Widodo and Nurwaskito, 2017; Haeruddin *et al.*, 2019; Pratama and Kasim, 2019). Oleh karena itu sistem penyaliran berperan penting dalam mengendalikan air yang masuk ke area penambangan agar aktivitas penambangan dapat berjalan lancar.

Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa air limpasan mengisi cekungan dari hasil kegiatan penambangan. Ketika curah hujan tinggi air yang masuk ke dalam cekungan juga tinggi. Hal ini menyebabkan banjir atau meluapnya air pada area penambangan. Penyebab terjadinya banjir ialah tidak ada sistem penyaliran di sekitar lokasi. Oleh karena itu perlu adanya upaya pengendalian sistem penyaliran pada lokasi penambangan. Salah satu upaya pengendalian adalah kajian teknis sistem penyaliran tambang. Penelitian terdahulu terkait kajian teknis sistem penyaliran untuk menganalisis sistem penyaliran tambang, antara lain Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara di PT. Artamulia Tatapratama (Rajagukguk, Rande and adnyono, 2021); Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang dan Rancangan Sumuran Pada Pit Majapahit PT. Prolindo Cipta Nusantara, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan (Haryanto *et al.*, 2019); Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara pada Tambang Terbuka di PT. X ((Atika and Putri, 2020); Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Tahun 2016 Untuk Menentukan Kebutuhan Pompa Pada Pit Timur (Qurniawan, Yuliadi and Muchsin, 2017); Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka di PT. Adimitra Baratama Nusantara Desa Kampung Jawa Dan Desa Muara Kembang, Kec. Sangasanga, Kab. Kutai Kartanegara Kalimantan Timur (Sihombing and Sibirian, 2021). Kajian teknis sistem penyaliran sangat penting peranannya untuk menanggulangi permasalahan air di lokasi penambangan. Faktor-faktor yang perlu dianalisis adalah debit air yang masuk ke dalam *sump* dan bentuk saluran yang sesuai kebutuhan perusahaan untuk fasilitas mengalirkan air. Tujuan penelitian adalah mengetahui besaran debit limpasan yang masuk, bentuk dan dimensi saluran sesuai den-

gan kebutuhan di PT. Hansindo Mineral Persada.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan empiris. Data-data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan langsung di lapangan. Data primer yang diambil adalah data topografi lokasi penelitian. Data topografi diperoleh menggunakan pemetaan citra drone. Data topografi berfungsi untuk mendapatkan *catchment area* dan pola aliran air yang berpengaruh masuk ke dalam area penambangan. Data sekunder berupa data curah hujan 10 tahun terakhir. Data curah hujan berasal dari Balai Wilayah Sungai Kalimantan I. Data curah hujan digunakan untuk menghitung analisis curah hujan rencana. Berdasarkan pada hasil analisis curah hujan rencana diperoleh debit limpasan dan data debit limpasan digunakan untuk merancang bentuk dimensi saluran terbuka. Tahapan pengolahan dalam sebagai berikut:

Menghitung curah hujan rencana. Metode yang digunakan untuk menganalisis curah hujan rencana adalah metode Gumbel. Metode Gumbel cocok untuk daerah yang memiliki distribusi curah hujan yang ekstrim. Lokasi penelitian berada di daerah khatulistiwa yang memiliki curah hujan ekstrim. Oleh sebab itu, dalam menganalisis curah hujan rencana untuk penentuan sistem penyaliran menggunakan menggunakan metode ini. Metode Gumbel dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$X_t = \bar{x} + \frac{S_d}{S_n} (Y_t - Y_n) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- X_t = Perkiraan nilai curah hujan rencana (mm/hari) = R₂₄
- \bar{x} = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
- S_d = Simpangan baku (*standart deviation*)
- S_n = *Reduced* standar deviasi
- Y_t = Nilai *reduced variate* dari variabel pada periode ulang tertentu
- Y_n = Koreksi rata-rata (*reduced mean*)

Penentuan Luas *Catchment Area*. *Catchment Area* merupakan daerah tangkapan hujan. Dimana pembagian wilayah tangkapan hujan dibatasi oleh titik-titik elevasi tertinggi. Penentuan luas *catchment area* menggunakan metode poligon. Data topografi yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui daerah mana saja yang mungkin masuk ke dalam daerah tangkapan hujan. Analisis ini diolah menggunakan software Global Mapper 23.0 untuk didapatkan *boundary catchment*. Penentuan *catchment area* bertujuan untuk menentukan debit limpasan yang mempengaruhi daerah tangkapan hujan. Jika semakin besar daerah tangkapan hujannya, maka semakin besar juga debit yang masuk ke lokasi penambangan.

Menghitung waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan oleh air hujan yang jatuh di tempat terjauh untuk mengalir di atas permukaan tanah ke titik tinjau/pengamatan. Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh kecepatan aliran, pola aliran, dan kemiringan aliran. Perhitungan nilai waktu konsentrasi memerlukan nilai L dan S. Nilai L merupakan panjang aliran dari titik terjauh sampai titik tinjau dalam satuan meter dan nilai S merupakan kemiringan. Adapun rumus perhitungan waktu konsentrasi dalam analisis pola aliran air yaitu rumus Kirpich (Gautama, 2019). Rumus Kirpich dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$t_c = 0,0195(L^{0,77} \times S^{-0,385}) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- t_c = Waktu konsentrasi (jam)
- L = Panjang aliran (m)
- S = Kemiringan

Menghitung intensitas hujan. Intensitas hujan adalah jumlah hujan persatuan waktu yang relative singkat, dinyatakan mm/jam, mm/menit, dan mm/detik. Intensitas curah hujan dipengaruhi oleh curah hujan rencana dan waktu konsentrasi. Perhitungan intensitas hujan menggunakan rumus Mononobe. Penggunaan rumus Mononobe dikarenakan data yang tersedia

merupakan data curah hujan harian (Kibriyanti, Nirmala and Meilasari, 2021). Rumus Mononobe dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$I = \frac{Xt}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- Xt = Curah hujan rencana (mm/hari)
- tc = Waktu konsentrasi (jam)

Menghitung debit limpasan. Debit limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Besarnya debit limpasan dipengaruhi oleh besarnya intensitas hujan, luasan *catchment area*, dan Koefisien limpasan permukaan. Debit limpasan dapat dianalisis menggunakan persamaan Rasional. Persamaan ini sering digunakan pada daerah *site* pertambangan. Persamaan Rasional dapat digunakan jika luasan area pertambangan ≤ 200 km² (Gautama, 2019). Rumus Rasional dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- Q = Debit air limpasan (m³/s)
- C = Koefisien limpasan
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan hujan (km²)

Menghitung Dimensi Saluran Terbuka. Saluran terbuka adalah saluran alami atau buatan yang memiliki permukaan bebas pada tekanan atmosfer. Saluran terbuka memiliki beberapa berbentuk yaitu segi empat, segi tiga dan bentuk trapesium. Saluran terbuka harus memenuhi syarat seperti dapat mengalirkan debit air yang direncanakan, memiliki ketahanan pada dinding saluran, tidak mudah mengalami pengendapan/sedimentasi pada dasar saluran, dan kemudahan pada pembuatan saluran (Pratama and Kasim, 2019). Penentuan dalam pemilihan bentuk saluran terbuka harus sesuai dengan kondisi

dan kebutuhan saluran. Setiap bentuk saluran terbuka memiliki sudut dan kemiringan yang berbeda-beda. Kemiringan pada dinding saluran tergantung pada material atau bahan dari bentuk tubuh saluran (Ruzardi, 1993). Jenis saluran yang memiliki ketahanan pada dinding saluran harus memiliki sudut = 60°. Salah satu jenis penampang saluran yang memiliki sudut 60° yaitu saluran berbentuk trapesium. Rumus dimensi saluran terbuka berbentuk trapesium dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$b = \frac{2}{\sqrt{3}} y_n$$

$$y_n = 0,968 \left(\frac{Q_n}{S_b^{1/2}} \right)^{3/8}$$

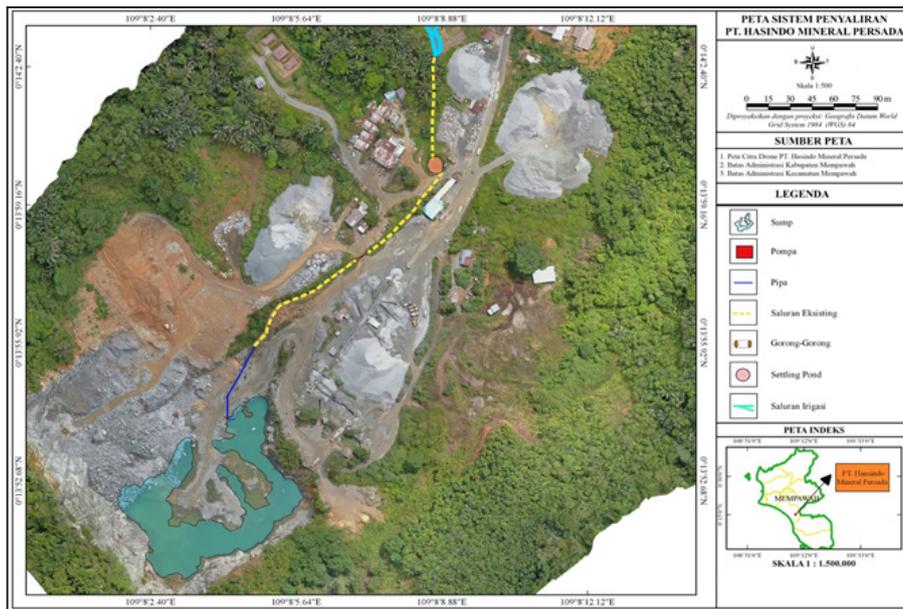
$$A = 1,622 \left(\frac{Q_n}{S_b^{1/2}} \right)^{3/4} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

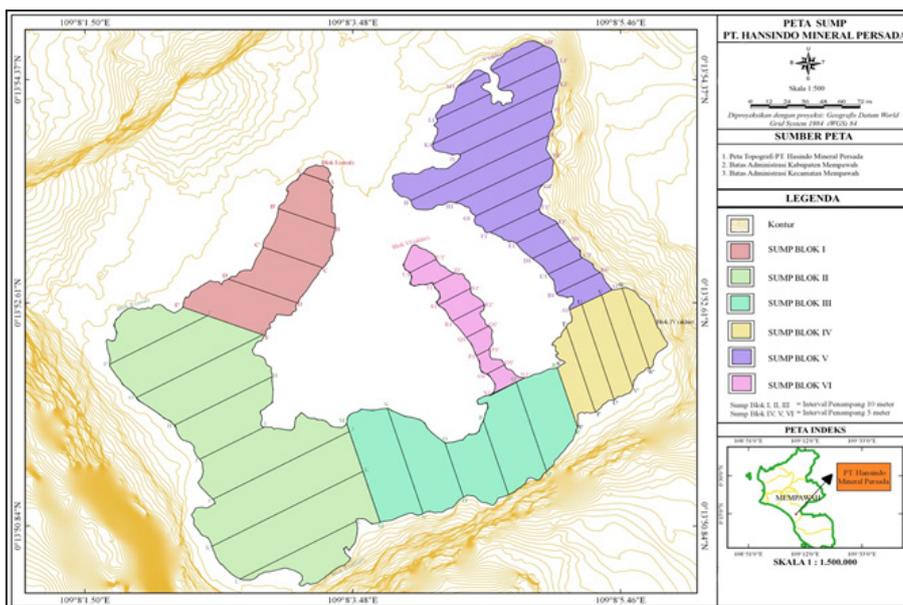
- b = Lebar dasar saluran (m)
- B = Lebar permukaan saluran (m)
- α = Sudut kemiringan saluran (°)
- y_n = Kedalaman aliran (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem penyaliran PT. Hansindo Mineral Persada terdiri dari tiga komponen utama: sump, saluran drainase, dan kolam pengendapan (*settling ponds*). Air yang terkumpul di sump dipompa menuju saluran drainase, kemudian dialirkan ke kolam pengendapan sebelum akhirnya dibuang ke badan air permukaan. Skema sistem penyalirannya dapat dilihat pada Gambar 1. Sump yang terbentuk secara alami di PT. Hansindo Mineral Persada diklasifikasikan berdasarkan intervalnya, yaitu 5 meter dan 10 meter. Hasil pemetaan menunjukkan terdapat enam blok sump dengan interval tersebut (Gambar 2). Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, sistem penyaliran eksisting di lokasi tambang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi sistem drainase di area depan penambangan melalui perancangan



Gambar 1. Peta Sistem Penyaliran.



Gambar 2. Pemetaan Sump.

gan saluran terbuka. Perancangan ini diawali dengan analisis debit air dan pemetaan kondisi lapangan untuk menentukan dimensi saluran yang paling sesuai. Hasil akhir yang diharapkan adalah saluran terbuka yang efektif dan efisien dalam mengalirkan air. Berikut adalah analisis perencanaan saluran saluran drainasenya.

Perhitungan Curah Hujan Rencana. Analisis curah hujan rencana menggunakan data curah

hujan harian maksimum selama 10 tahun terakhir. Data ini diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Kalimantan I dari tahun 2011-2020. Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan harian maksimum. Analisis curah hujan rencana menggunakan menggunakan metode Gumbel pada Persamaan 1. Hasil analisis curah hujan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Tahun 2011-2020

No.	Tahun (n)	CH Maks (Ri)*	Curah Hujan Rata-Rata (\bar{x})	(Xi-x)	(Xi-x) ²
1	2011	96		19,8	392,04
2	2012	82		5,8	33,64
3	2013	77		0,8	0,64
4	2014	48		-28,2	695,24
5	2015	47	76,2	-29,2	852,64
6	2016	62		-14,2	201,64
7	2017	84		7,8	60,84
8	2018	98		21,8	475,24
9	2019	63		-13,2	174,24
10	2020	105		28,8	829,44
Jumlah (Σ)		762			3.815,6

Sumber: Pengolahan Peneliti, 2023
*BWSK 1, 2011-2020

Standar deviasi:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{3.815,6}{10-1}}$$

$$Sd = 20,59$$

Curah hujan rencana:

$$X_t = \bar{x} + \frac{Sd}{S_n} (Y_t - Y_n)$$

$$X_t = 76,2 + \frac{20,59}{0,9496} (1,4999 - 0,4592)$$

$$x_t = 98,7653 \text{ mm/hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan rencana diperoleh nilai curah hujan dengan periode ulang 5 tahunan (x_t) sebesar 98,7653 mm/hari. Dasar penggunaan periode ulang 5 tahun karena keseluruhan area lokasi penelitian merupakan daerah terbuka dan area sarana tambang (Gautama, 2019).

Penentuan Luasan *Catchment Area*. Luas *catchment area* ditentukan berdasarkan peta topografi dan hasil observasi di lapangan. Penentuan luasan *catchment area* pada setiap blok berdasarkan pada blok-blok berbentuk poligon tertutup. Pada setiap blok *catchment area* dipengaruhi oleh

pola aliran air. Setiap pola aliran yang ada saling berhubungan terhadap pola aliran lain sampai aliran terkumpul pada satu titik tampungan air atau *sump*. Peta *catchment area* dan pola aliran air dapat dilihat pada Gambar 3.

Perhitungan Waktu Konsentrasi. Analisis waktu konsentrasi berdasarkan aliran pada masing-masing blok daerah tangkapan hujan yang telah ditentukan. Analisis waktu konsentrasi membutuhkan data panjang limpasan, kemiringan atau *slope*. Data panjang limpasan yang dipilih adalah panjang limpasan terpanjang dari hujan jatuh sampai ke *sump*. Data kemiringan yang dibutuhkan adalah kemiringan pada limpasan terpanjang. Hasil perhitungan waktu konsentrasi pada setiap blok dapat dilihat pada Tabel 2. Panjang aliran pada limpasan A dapat dilihat pada Gambar 1. Contoh perhitungan waktu konsentrasi pada blok A adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Elevasi Tertinggi} = 102 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Terendah} = 13 \text{ m}$$

$$\Delta H = 102 - 13 = 89 \text{ m}$$

$$L = 114,17 \text{ m}$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{89}{114,17} = 0,78289$$

$$t_c = 0,0195 (L^{0,77} \times S^{-0,385})$$

$$= 0,0195 (114,17^{0,77} \times 0,78289^{-0,385})$$

$$= 0,82276 \text{ jam}$$

Perhitungan Intensitas Hujan. Perhitungan intensitas hujan berdasarkan rumus Mononobe. Analisis intensitas curah hujan memerlukan data curah hujan rencana dan waktu konsentrasi. Data ini diperoleh dari hasil perhitungan curah hujan rencana dan data hasil perhitungan waktu konsentrasi. Hasil perhitungan intensitas hujan pada setiap blok dapat dilihat pada Tabel 2. Contoh perhitungan intensitas hujan pada blok A adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{X_t}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{98,765324}{24} \left(\frac{24}{0,82276} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 38,9958 \text{ mm/jam}$$

Perhitungan Debit Limpasan. Debit limpasan merupakan total dari analisis setiap blok daerah tangkapan hujan/ *catchment area*. Besar debit limpasan dipengaruhi oleh luas *catchment area*, intensitas curah hujan dan koefisien limpasan. Data intensitas hujan diperoleh dari perhitungan intensitas curah hujan, data luas *catchment area* dapat dilihat pada Gambar 1. Nilai koefisien limpasan didapatkan dari jenis lahan permukaan (Gautama, 2019). Hasil contoh perhitungan debit limpasan pada setiap blok dapat dilihat pada Tabel 2. Contoh perhitungan debit limpasan pada blok A adalah sebagai berikut:

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

$$Q = 0,278 \times 0,9 \times 38,9958 \times 0,001734$$

$$Q = 0,0169 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit limpasan yang masuk ke dalam *sump* sebesar 0,4916 m³/s. *Sump* pada lokasi Besar debit limpasan yang masuk ke dalam *sump* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain luas *catchment area* atau daerah tangkapan hujan, intensitas hujan, dan nilai koefisien. Luasan *catchment area* atau daerah tangkapan hujan merupakan faktor yang paling mempengaruhi terhadap debit limpasan. Semakin besar luasan *catchment area* semakin besar pula debit air

limpasan yang masuk. Hal ini didukung oleh penelitian terdahulu dengan judul Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bengalon Kabupaten Kutai Timur (Haeruddin *et al.*, 2019). Intensitas curah hujan berpengaruh terhadap waktu konsentrasi, Semakin besar intensitas curah hujan maka semakin singkat waktu konsentrasi. Sehingga semakin besar waktu intensitas yang terjadi debit limpasan yang dihasilkan (Kibriyanti, Nirmala and Meilasari, 2021). Nilai koefisien dipengaruhi oleh jenis-jenis lahan. Berdasarkan jenis lahan pada lokasi penelitian merupakan jenis lahan tanpa tumbuhan dan daerah penambangan. Jenis lahan ini memiliki nilai koefisien sebesar 0,9. Nilai koefisien ini merupakan nilai terbesar berdasarkan nilai koefisien limpasan menurut (Gautama, 2019). Sehingga semakin besar nilai koefisien limpasan maka semakin besar debit yang masuk ke dalam *sump* (Khusairi, Kasim and Yunasril, 2018). Oleh karena itu luasan *catchment area*, intensitas hujan dan nilai koefisien mempengaruhi debit yang masuk ke dalam *sump*. Berdasarkan debit limpasan yang masuk perlunya pengendalian atau upaya untuk menangani *overload* atau banjir pada *sump*. Upaya untuk mengatasi terjadinya *overload* atau banjir pada *sump*, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap sistem penyaliran tambang.

Kebutuhan Pompa. Kondisi pompa di lapangan saat ini menunjukkan perlunya upaya optimalisasi. Kurangnya perawatan dan korosi pada komponen pompa menyebabkan tingginya frekuensi breakdown, yang pada akhirnya berdampak negatif pada performa dan efektivitas sistem pemompaan. Saat ini, perusahaan mengoperasikan satu unit pompa dengan kapasitas 42,28 m³/jam dan masa pakai lebih dari 3 tahun. Namun, potensi debit air mencapai 1.769,76 m³/hari, sehingga mengindikasikan kebutuhan penambahan pompa. Berdasarkan analisis kebutuhan, disarankan untuk menambah 2 unit pompa (Ichwanudin *et al.*, 2023). Debit limpasan yang masuk ke dalam *sump* sebesar 0,4916 m³/s. *Sump* pada lokasi Besar debit limpasan yang masuk ke dalam *sump* dipengaruhi

Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Limpasan

Saluran	A (Km ²)	L (m)	ΔH (m)	S	tc (jam)	Xt (mm/hari)	I (mm/jam)	C	Q (m ³ /s)	Dipengaruhi Aliran-Aliran		Qtotal
										Nama Aliran	Qal (m ³ /s)	
A	0,001734	114,17	89	0,78289	0,82276	98,7653	38,9958	0,9	0,0169	-	-	0,0169
B	0,00153	134,02	103	0,7720639	0,9358553	98,7653	35,7911	0,9	0,0137	-	-	0,0137
C	0,00081	76,349	62	0,8107375	0,5954897	98,7653	48,3806	0,9	0,0098	-	-	0,0098
D	0,00072	101,14	84	0,8336464	0,7315555	98,7653	42,1780	0,9	0,0076	-	-	0,0076
E	0,00216	156,9	111	0,707457	1,0927725	98,7653	32,2769	0,9	0,0175	-	-	0,0175
F	0,00102	78,032	71	0,9098831	0,5792622	98,7653	49,2800	0,9	0,0127	-	-	0,0127
G	0,00170	53,719	35	0,6515386	0,4941584	98,7653	54,7872	0,9	0,0234	-	-	0,0234
H	0,00521	251,76	96	0,3813155	1,9952617	98,7653	21,6058	0,9	0,0282	-	-	0,0282
I	0,00204	71,093	28	0,3938503	0,7442842	98,7653	41,6957	0,9	0,0213	-	-	0,0213
L	0,00273	76,817	7	0,0911257	1,3879541	98,7653	27,5206	0,9	0,0189	-	-	0,0189
M	0,00256	132,84	12	0,0903342	2,1232184	98,7653	20,7287	0,9	0,0133	-	-	0,0133
N	0,00174	96,253	20	0,2077857	1,2022134	98,7653	30,2870	0,9	0,0132	-	-	0,0132
O	0,00143	118,73	47	0,3958561	1,1025398	98,7653	32,0860	0,9	0,0115	-	-	0,0115
Q	0,00170	27,781	1	0,0359958	0,9069084	98,7653	36,5487	0,9	0,0156	-	-	0,0156
R	0,00294	58,08	1	0,0172176	2,1256186	98,7653	20,7131	0,9	0,0153	-	-	0,0153
U	0,00086	7,9	1	0,1265823	0,2122237	98,7653	96,2513	0,9	0,0208	-	-	0,0208
Y	0,00089	5,581	1	0,1791794	0,142065	98,7653	125,781	0,9	0,0283	-	-	0,0283
Z	0,00111	5,014	1	0,1994416	0,12553	98,7653	136,598	0,9	0,0382	-	-	0,0382
K	0,00080	15,318	3	0,195848	0,2987111	98,7653	76,6355	0,9	0,0154	L	0,0189	0,0343
J	0,00186	122,88	2	0,0162755	3,8681667	98,7653	13,8960	0,9	0,0065	I, K, M	0,0534	0,0599
P	0,00031	11,5	1	0,0869565	0,3274467	98,7653	72,0835	0,9	0,0057	Q, N	0,0288	0,0345
S	0,00144	11,646	2	0,1717328	0,2544323	98,7653	85,2874	0,9	0,0308	P, R	0,0441	0,0749
X	0,00146	14,107	0,4	0,0311902	0,5687251	98,7653	49,8869	0,9	0,0183	S, J	0,0975	0,1158
T	0,00069	32,367	10	0,3151358	0,4424782	98,7653	58,9744	0,9	0,0040	F, G	0,0361	0,0400
V	0,00052	15,992	0,2	0,0125063	0,8905243	98,7653	36,9957	0,9	0,0049	T, U	0,0569	0,0617
W	0,00090	9,68	0,1	0,0103306	0,6512094	98,7653	45,5798	0,9	0,0103	E, V	0,0744	0,0847
ZA	0,00011	3,787	1	0,2640613	0,0907749	98,7653	169,5525	0,9	0,0047	B, C, Z	0,0617	0,0664
ZB	0,00008	3,264	1	0,3063725	0,0764568	98,7653	190,1107	0,9	0,0040	D, ZA	0,0740	0,0781
ZC	0,00135	4,663	1	0,2144542	0,1154365	98,7653	144,4494	0,9	0,0491	A, Y	0,0452	0,0943
ZD	0,00362	25,146	2	0,0795355	0,6189843	98,7653	47,1484	0,9	0,0427	O, X	0,1274	0,1701
ZE	0,00382	42,261	4	0,0946499	0,8633799	98,7653	37,7671	0,9	0,0362	H, W	0,1129	0,1491
JUMLAH KESELURUHAN (Q_{ZB} + Q_{ZC} + Q_{ZD} + Q_{ZE})												0,4916

Sumber: Hasil Analisis, 2023

oleh beberapa faktor antara lain luas *catchment area* atau daerah tangkapan hujan, intensitas hujan, dan nilai koefisien. Luasan *catchment area* atau daerah tangkapan hujan merupakan faktor yang paling mempengaruhi terhadap debit limpasan. Semakin besar luasan *catchment area* semakin besar pula debit air limpasan yang masuk. Hal ini didukung oleh penelitian terdahulu dengan judul Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bengalon Kabupaten Kutai Timur (Haeruddin *et al.*, 2019). Intensitas curah hujan berpengaruh terhadap waktu konsentrasi, Semakin besar intensitas curah hujan maka semakin singkat waktu konsentrasi. Sehingga semakin besar waktu intensitas yang terjadi debit limpasan yang dihasilkan (Kibriyanti, Nirmala and Meilasari, 2021). Nilai koefisien dipengaruhi oleh jenis-jenis lahan. Berdasarkan jenis lahan pada lokasi penelitian merupakan jenis lahan tanpa tumbuhan dan daerah penambangan. Jenis lahan ini memiliki nilai koefisien

sebesar 0,9. Nilai koefisien ini merupakan nilai terbesar berdasarkan nilai koefisien limpasan menurut (Gautama, 2019). Sehingga semakin besar nilai koefisien limpasan maka semakin besar debit yang masuk ke dalam *sump* (Khusairi, Kasim and Yunasril, 2018). Oleh karena itu luasan *catchment area*, intensitas hujan dan nilai koefisien mempengaruhi debit yang masuk ke dalam *sump*. Berdasarkan debit limpasan yang masuk perlunya pengendalian atau upaya untuk menangani *overload* atau banjir pada *sump*. Upaya untuk mengatasi terjadinya *overload* atau banjir pada *sump*, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap sistem penyaliran tambang. Kebutuhan Pompa. Kondisi pompa di lapangan saat ini menunjukkan perlunya upaya optimalisasi. Kurangnya perawatan dan korosi pada komponen pompa menyebabkan tingginya frekuensi breakdown, yang pada akhirnya berdampak negatif pada performa dan efektivitas sistem pemompaan. Saat ini, perusahaan men-

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Limpasan

No	Uraian	Kondisi Aktual	Rekomendasi
1	Debit	42,28 m ³ /jam	80 m ³ /jam
2	Head	7 m	10 m
3	Efisiensi Pompa	21 %	56,25%
4	Daya Hidraulik	0,84 kW	2,25 kW
5	Daya Poros	4 kW	4 kW
6	Waktu Pemompaan	41,85 jam	22,12 jam
7	Kebutuhan Pompa	4	2

goperasikan satu unit pompa dengan kapasitas 42,28 m³/jam dan masa pakai lebih dari 3 tahun. Namun, potensi debit air mencapai 1.769,76 m³/hari, sehingga mengindikasikan kebutuhan penambahan pompa. Berdasarkan analisis kebutuhan, disarankan untuk menambah 2 unit pompa (Ichwanudin *et al.*, 2023).

Analisis Saluran Terbuka. Saluran terbuka dirancang untuk mengalirkan air dari *front* penambangan ke *settling pond*. Saluran terbuka yang telah dibuat oleh perusahaan merupakan saluran yang dibuat tanpa rancangan debit limpasan. Hal tersebut menyebabkan saluran sering mengalami *overload* atau keluar dari saluran. Kondisi tersebut diperparah dengan bentuk saluran yang tidak beraturan menyebabkan dinding saluran sering mengalami longsor. Maka dari itu perlu rancangan saluran berdasarkan debit air yang masuk, agar dapat menentukan dimensi dan bentuk saluran sesuai debit yang masuk ke *sump*. Debit yang digunakan dalam rancangan adalah debit total limpasan yang masuk ke dalam *sump*. Sehingga rancangan dan dimensi saluran harus memiliki kapasitas berdasarkan debit limpasan yang masuk. Pernyataan ini selaras dengan penelitian terdahulu dengan judul Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Batubara (Endriantho and Ramli, 2013). Penampang saluran direncanakan berbentuk trapesium dengan penampang hidrolis terbaik. Penampang ini dipilih karena memiliki kestabilan struktur yang baik dan ketahanan yang baik terhadap erosi, sehingga meminimalisir risiko kerusakan akibat aktivitas penambangan di sekitarnya.

karena bentuk ini merupakan penampang hidrolis terbaik. Memiliki ketahanan terhadap dinding saluran, karena memiliki sudut kemiringan pada

dinding saluran sebesar ($\alpha = 60^\circ$). Alasan penggunaan bentuk trapesium supaya dinding saluran tidak mudah runtuh karena adanya aktivitas kegiatan penambangan. Berdasarkan bentuk penampang saluran yang telah ditentukan, perlu penyesuaian terhadap kondisi di lokasi penelitian dengan bahan pembuatan saluran. Kondisi di lokasi penelitian merupakan formasi Granodiorit Mensibau (Klm) terdiri atas granodiorite hornblende-biotit, adamelit, tonalit, diorite dan granit (Geologi Lembar Singkawang, 1993). Formasi yang dominan pada lokasi penelitian adalah formasi geologi Granodiorit Mensibau (Klm) sekitar 90% dan sisanya adalah alluvial (Wahid, Sutarto and Meilasari, 2019). Untuk konstruksi saluran terbuka yang dirancang menggunakan bahan alami sesuai kondisi geologi lokasi penelitian yaitu tanah berbatu yang ditumbuhi tanaman. Sehingga saluran terbuka yang dirancang tidak memerlukan konstruksi cor atau beton. Maka dalam perancangan saluran terbuka di lokasi penelitian tidak memerlukan bahan dan alat khusus dalam pembuatan saluran terbuka. Penelitian terdahulu yang mendukung penentuan bentuk penampang saluran berdasarkan kondisi lahan, dengan judul Desain Saluran Terbuka Untuk Lokasi Penelitian *Underground Coal Gasification* (UCG) di Musi Banyuasin Sumatera Selatan (Fajrin, Komar and Harmi-nuke Eko Handayani, 2018). Maka perhitungan rancangan dimensi saluran terbuka dengan bentuk trapesium dengan Persamaan 5 adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$Q = 0,4916 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0,03 \text{ (Merupakan galian paritan yang dindingnya ditumbuhi tanaman)}$$

$$S = 0,25 \text{ (\%)}$$

Penyelesaian:

Perhitungan kedalaman (y_n)

$$y_n = 0,968 \left(\frac{Qn}{Sb^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$y_n = 0,968 \left(\frac{0,4916 \times 0,03}{0,0025^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$y_n = 0,968 (0,295)^{3/8}$$

$$y_n = 0,612 \text{ m}$$

Perhitungan nilai lebar dasar saluran (b)

$$b = \frac{2}{\sqrt{3}} y_n$$

$$b = \frac{2}{\sqrt{3}} 0,612$$

$$b = 0,7 \text{ m}$$

Perhitungan penampang basah (A)

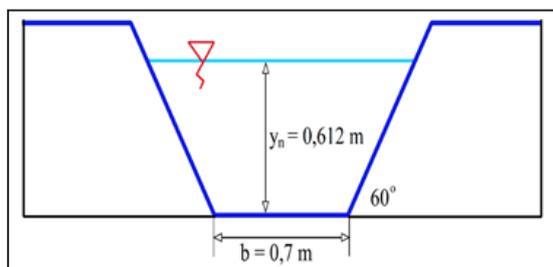
$$A = 1,622 \left(\frac{Qn}{Sb^{1/2}} \right)^{3/4}$$

$$A = 1,622 \left(\frac{0,4916 \times 0,03}{0,0025^{1/2}} \right)^{3/4}$$

$$A = 1,622 (0,295)^{3/4}$$

$$A = 1,65 \text{ m}^2$$

Bentuk dan ukuran dimensi saluran terbuka yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi Saluran Bentuk Trapesium.

Rekomendasi rancangan dimensi penampang saluran terbaik bentuk trapesium:

$$\text{Lebar dasar saluran (b)} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman aliran (} y_n \text{)} = 0,612 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan dinding saluran (} \alpha \text{)} = 60^\circ$$

$$\text{Kemiringan dasar saluran} = 0,25\%$$

Hasil analisis saluran terbuka yang telah dirancang dengan bentuk trapesium. Pertimbangan penentuan bentuk saluran berdasarkan debit aliran rencana dan kondisi lahan di lokasi penelitian. Diharapkan dengan rancangan saluran yang telah dianalisis dapat mengatasi permasalahan

air pada lokasi penambangan PT. Hansindo Mineral Persada.

KESIMPULAN

Debit limpasan yang masuk ke *sump* sebesar $0,4916 \text{ m}^3/\text{s}$. Besar debit limpasan yang masuk ke dalam *sump* dipengaruhi oleh luasan daerah tangkapan hujan/*catchment area*. Semakin luas *catchment area* maka semakin besar pula debit yang akan masuk ke dalam *sump*. Semakin lama waktu intensitas curah hujan maka semakin besar debit yang dihasilkan dan semakin besar nilai koefisien limpasan maka semakin besar debit limpasan yang masuk ke dalam *sump*. Bentuk saluran terbuka yang disarankan adalah bentuk trapesium karena bentuk ini memiliki ketahanan terhadap dinding saluran sehingga saluran ini sangat cocok pada kondisi area penambangan. Dimensi Saluran lebar dasar saluran (y_n) = $0,612 \text{ m}$, lebar dasar saluran (b) = $0,7 \text{ m}$, kemiringan dinding saluran (α) = 60° , dan kemiringan dasar saluran (s) = $0,25\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan banyak terimakasih kepada PT. Hansindo Mineral Persada yang telah bersedia dan mengijikan untuk melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Atika, F. and Putri, R. (2020) 'Jurnal Iptek Media Komunikasi Teknologi Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Pada Tambang Terbuka di PT. X', *Jurna IPTEK*, 24(1), pp. 59–66. Available at: <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2020.v24i1>.
- Endriantho, M. and Ramli, M. (2013) 'Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Batubara', 09(01), pp. 29–40.
- Fajrin, M., Komar, S. and Harminuke Eko Handayani, R. (2018) 'Desain Saluran Terbuka Untuk Lokasi Penelitian Underground Coal Gasification (Ucg) Di Musi Banyuasinsuma-

- tera Selatan Design of Open Channelsat Location Ofundergroundcoalgasification (Ucg) Researchin Musi Banyuasi, South Sumatra’, *Jurnal Pertambangan*, 2(1), pp. 62–70. Available at: <https://doi.org/10.36706/jp.v2i1.5772>.
- Gautama, R.S. (2019) *Sistem Penyaliran Tambang*. Bandung: ITB Press.
- Haeruddin, H. *et al.* (2019) ‘Kajian Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bengalon Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur’, *Jurnal Geomine*, 7(1), pp. 01–07. Available at: <https://doi.org/10.33536/jg.v7i1.334>.
- Haryanto, S.E. *et al.* (2019) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Dan Rancangan Sumuran Pada Pit Majapahit PT. Prolindo Cipta Nusantara Kabupaten Tanah Bukmbu, Kalimantan Selatan’, in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*. Surabaya, pp. 539–544.
- Ichwanudin, R. *et al.* (2023) ‘Optimalisasi Penggunaan Pompa Untuk Sistem Penyaliran Tambang PT. Hasindo Mineral Persada’, *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), p. 245. Available at: <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i1.61618>.
- Islamiaty, A., Saismana, U. and Riswan, R. (2022) ‘Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang Pada PT Akbar Mitra Jaya Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan’, *Jurnal Himasapta*, 6(3), p. 127. Available at: <https://doi.org/10.20527/jhs.v6i3.4666>.
- Januardus, H., Nirmala, A. and Sutrisno, H. (2021) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Pada Wilayah Bukit 13 Di Pt. Antam Tbk-Ubp Bauksit Tayan Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat’, *JeLAST*, 8(2), pp. 1–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.26418/jelast.v8i2.48672>.
- Khusairi, A.R., Kasim, T. and Yunasril (2018) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Tambang Batubara Nusa Alam Lestari, Terbuka PT Sinamar, Kenagarian Asam Jujuhan, Kecamatan Dharmasraya’, *Jurnal Bina Tambang*, 3(3), pp. 1202–1212.
- Kibriyanti, U.N., Nirmala, A. and Meilasari, F. (2021) ‘Kajian Teknis Sistem Penirisan Tambang Batubara PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan’, *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 8(2), pp. 1–9. Available at: <http://dx.doi.org/10.26418/jelast.v8i2.48671>.
- Lesmana, D.M.M., Waterman, W. and Maimina, M. (2019) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka pada PIT Alpha PT. Timah Investasi Mineral, Kecamatan Kabaena Barat, Kabupaten Bombana, Sulawesi ...’, in F.F. Alrizal, N. Putra, and B. Oktaviana (eds) *Menuju Penerapan Teknologi Terbarukan pada Industri 4.0: Perubahan Industri dan Transformasi Pertumbuhan Digital*. Surabaya, pp. 501–506.
- Marzuki, R. (2016) ‘Analisa Dimensi Saluran Terbuka Guna Menanggulangi Banjir Tahunan (Studi Kasus Di Jl. Jend A. Yani – Jl. Mayjend Sutoyo)’, *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil*, 4(2), pp. 99–107. Available at: <https://doi.org/10.31293/teknikd.v4i1.2494>.
- Nauli, F. *et al.* (2015) ‘Rancangan Sistem Penyaliran Pada Tambang Batubara Air Laya Tanjung Enim Sumatera Selatan’, in D. Sugati, S. Kadiman, and A. Setyawan (eds) *Prosiding Seminar Nasional ReTIII ke-10*. Yogyakarta: STTNAS Yogyakarta, pp. 262–268.
- Oktaviandi, I., Devy, S.D. and Umar, H. (2017) ‘Analisis Sistem Penirisan Tambang Di Pit S12Gn Pada PT. Kitadin Site Embalut Kecamatan Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur’, *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 5(1), pp. 7–13. Available at: <http://dx.doi.org/10.30872/jtm.v5i1.1401>.
- Pratama, S.P. and Kasim, T. (2019) ‘Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bawah Tanah Seam C1 Blok Timur Site Sapan Dalam PT Nusa Alam Lestari Desa Salak, Sapan Dalam, Kota ...’, *Bina Tambang*, 2(1).

- Prima, R., Amin, M. and Abro, M.A. (2016) *Kajian Teknis Pengeringan Sump Situ Patenggang Untuk Menambang Batubara Lapisan C Di Pit Tambang Air Laya Pt . Pamapersada Nusantara Job Site Tanjung Enim Sumatera Selatan Technical Study of Sump Situ Patenggang Drying To Mining Seam Coal C in Pit Tambang*. Universitas Sriwijaya.
- Putra, A.Y.U. and Ariyanto (2016) ‘Kajian Teknis Optimalisasi Pompa Pada Sistem Penyaliran Tambang Bawah Tanah Di PT. Cibaliung Sumber Daya, Provinsi Banten’, in *Prosiding seminar nasional ReTII ke-10*. Yogyakarta, pp. 215–225.
- Putri, K.S., Saismana, U. and Triantoro, A. (2017) ‘Kajian Teknis Sistem Penirisan Tambang Terbuka Batubara’, *Jurnal GEOSAPTA*, 2(1), pp. 33–38. Available at: <https://doi.org/10.20527/jg.v2i1.4204>.
- Qurniawan, R., Yuliadi and Muchsin, A.M. (2017) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Tahun 2016 untuk Menentukan Kebutuhan Pompa Pada Pit Timur (Kasus, Studi Kuansing, P T Makmur, Inti Jujuhan, Kecamatan Bungo, Kabupaten Muara Jambi, Provinsi Jambi)’, *Prosing Teknik Pertambangan*, 3(2), pp. 482–489. Available at: <http://dx.doi.org/10.29313/pertambangan.v0i0.7286>.
- Rajagukguk, david rezky pilanter, Rande, shilvyanora aprilia and adnyono, A.A.I.A. (2021) ‘KAJIAN TEKNIK SISTEM PENYALIRAN TAMBANG BATUBARA DI PT . ARTAMULIA TATAPRATAMA’, *mining insight*, 02(02), pp. 99–106.
- Rauf, R. and M, S.N. (2019) ‘Analisis Perubahan Dasar Saluran Terbuka Akibat Variasi Debit Pada Tingkat Aliran Kritis dan Super Kritis’, *Jurnal Teknik Hidro*, 12(1), pp. 25–33.
- Ruzardi, R. (1993) ‘Tahanan pada Aliran Air’, *Unisia*, 13(16), pp. 79–86. Available at: <https://doi.org/10.20885/unisia.vol13.iss16.art10>.
- Sepniko, R., Murad, M. and 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’, *Bina Tambang*, 3(4), pp. 1456–1470.
- Siahaan, R., Alam, P.N. and Mutia, F. (2017) ‘Evaluasi Teknis Sistem Penyaliran Tambang Studi Kasus: PT. Bara Energi Lestari Kabupaten Nagan Raya, Aceh’, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Kebumihan*, 1(1), pp. 30–37.
- Sihombing, F. and Siburian, R.M. (2021) ‘Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Di Pt. Adimitra Baratama Nusantara Desa Kampung Jawa Dan Desa Muara Kembang, Kec. Sangasanga, Kab. Kutai Kartanegara Kalimantan Timur’, *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 16(1), pp. 47–51.
- Syarifuddin, S., Widodo, S. and Nurwaskito, A. (2017) ‘Kajian Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan’, *Jurnal Geomine*, 5(2), pp. 84–89. Available at: <https://doi.org/10.33536/jg.v5i2.132>.
- Triatmodjo, B. (2008) *Hidrologi Terapan, Beta Offset*. Yogyakarta.
- Wahid, M.A., Sutarto, Y. and Meilasari, F. (2019) ‘Perhitungan Kemajuan Penambangan Batu Granit Dengan Menggunakan Metode Penampang Melintang (Cross Section) Di PT. Hansindo Mineral Persada Kecamatan Sungai Pinyuh Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat’, *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 6(2).
- Wirmanto, Kasim, T. and MS Murad (2019) ‘Perencanaan Teknis Dan Anggaran Biaya Sistem Penyaliran Tambang Pada Tambang Terbuka Batu Andesit PT. Anshar Terang Crushindo Pangkalan Kabupaten 50 Kota Provinsi Sumatera Barat’, *Jurnal Bina Tambang*, 4(1), pp. 414–423.