

Analisis dan Perencanaan Sistem *Mine Dewatering* untuk Mendukung Penambangan Kembali pada *Void* Pit A1B Timur dan Barat di PT Astaka Dodol Site Macang Sakti, Sumatera Selatan

Rati Kumala Sari, Yosa Megasukma, Muhammad El Hakim*, Muhammad Ikrar Lagowa, Jarot Wiratama, Ericson

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 13 September 2026
Revisi Akhir: 29 September 2026
Diterbitkan Online: 12 Oktober 2026

KATA KUNCI

Kolam Pengendapan Lumpur
Mine Dewatering
Paritan
Pompa
Sump

KORESPONDENSI (*)

E-mail: elhakim@unja.ac.id

A B S T R A K

PT Astaka Dodol merencanakan penambangan kembali pada *void* Pit A1B Timur dan Barat di Site Macang Sakti, Sumatera Selatan, namun terkendala genangan air sehingga memerlukan perencanaan dalam proses pengeluaran air tersebut (*mine dewatering*). Penelitian ini termasuk dalam penelitian kuantitatif dengan tujuan melakukan analisis debit air masuk, mengevaluasi kinerja pompa yang ada, menentukan waktu pengurasan, serta merencanakan dimensi *sump* dan kolam pengendapan lumpur (KPL). Analisis hidrologi menggunakan distribusi Gumbel, metode Mononobe, dan metode Rasional, sedangkan evaluasi pemompaan menggunakan persamaan Bernoulli dan Darcy-Weisbach. Hasil penelitian menunjukkan total debit air masuk sebesar 3.405,73 m³/hari pada Pit A1B Timur (volume genangan 639.112,8 m³) dan 4.290,45 m³/hari pada Pit A1B Barat (volume genangan 831.552,90 m³). Untuk menguras genangan tersebut, direkomendasikan penggunaan kombinasi dua unit pompa: WP-05 (head 68 m, debit 290 m³/jam) dan WP-04 (head 83 m, debit 393 m³/jam) untuk Pit Timur dengan estimasi waktu pengurasan 63 hari, serta WP-05 (head 58 m, debit 330 m³/jam) dan WP-02 (head 64 m, debit 376 m³/jam) untuk Pit Barat dengan estimasi pengurasan 79 hari. Penambangan kuartal pertama didukung rancangan *sump* trapesium berkapasitas 18.771 m³ untuk menampung genangan air yang masuk. Total biaya pengurasan *void* berbasis konsumsi bahan bakar solar dan sewa pompa adalah 1.471.130.641,26 untuk Pit A1B Timur dan Rp. 1.896.376.705,18 untuk Pit A1B Barat.

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan batubara dengan metode tambang terbuka sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi tambang, terutama keberadaan air permukaan dan air hujan yang masuk kedalam *pit*. Air tambang merupakan salah satu faktor utama yang dapat menghambat kegiatan produksi karena menyebabkan area kerja tergenang, serta menghambat mobilitas alat berat [1]. Oleh sebab itu pengelolaan air tambang menjadi bagian penting dalam perencanaan teknis operasi penambangan.

Penanganan air pada tambang terbuka secara umum dibedakan menjadi dua metode yaitu penyaliran (*mine drainage*) dan penirisan (*mine dewatering*). penyaliran (*Mine drainage*) merupakan upaya pencegahan masuknya air ke area penambangan, sedangkan penirisan (*mine dewatering*) merupakan upaya mengeluarkan air yang telah masuk dan tergenang didalam *pit* [2].

PT Astaka Dodol merencanakan penambangan kembali di Pit A1B Timur dan pit A1B Barat, Site Macang Sakti. Area tersebut berupa *void* bekas tambang yang terisi air akibat akumulasi curah hujan dan limpasan selama ± 3 tahun sehingga

memerlukan proses *dewatering* sebelum produksi dimulai. Area tersebut harus dikeringkan terlebih dahulu karena genangan air dapat menghambat kegiatan operasional serta menyebabkan keterlambatan jadwal penambangan. Perusahaan menargetkan pengurasan Pit A1B Barat selama dua bulan menggunakan pompa *eksisting* tanpa penambahan alat, sedangkan Pit A1B Timur ditambang pada kuartal 3 sehingga pengurasan Pit A1B Timur mengikuti setelah aktivitas penambangan dimulai pada pit A1B Barat.

Kinerja pompa dipengaruhi panjang pipa, beda elevasi, kehilangan *head*, dan efisiensi alat sehingga perlu dilakukan analisis debit aktual [3]. Apabila debit aktual tidak sesuai dengan kebutuhan, maka proses pengurasan berpotensi tidak mencapai target waktu yang telah ditetapkan, sehingga dapat berdampak pada keterlambatan kegiatan penambangan serta peningkatan biaya operasional.

Perencanaan teknis yang meliputi perhitungan volume genangan, debit limpasan, kapasitas *sump*, waktu pengurasan, saluran terbuka serta desain kolam pengendapan, secara langsung menentukan beban kerja pompa yang digunakan. Ketepatan desain ini menjadi sangat penting karena durasi pengoperasian pompa berbanding lurus dengan besarnya biaya operasional, terutama pada konsumsi bahan bakar dan perawatan alat [4]. Oleh karena itu diperlukan evaluasi teknis untuk menentukan kombinasi operasi pompa yang paling efisien namun tetap memenuhi target pengeringan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi aktual *void*, menghitung debit limpasan rencana pada pit A1B Barat dan Timur, mengestimasi waktu pengurasan seluruh volume air pada *void* pit A1B, menentukan strategi operasional pemompaan untuk memenuhi target pengeringan, merencanakan dimensi *sump* dan kolam pengendapan lumpur berdasarkan volume genangan air debit limpasan yang masuk agar mampu menampung air secara optimal dan menghitung biaya operasional pemompaan pada proses pengurasan air di pit A1B.

TINJAUAN PUSTAKA

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi, yang sering pula dikenal sebagai siklus air, merupakan suatu proses alamiah yang bersifat tertutup dan berlangsung secara kontinu selama keberlangsungan kehidupan di bumi. Proses ini tidak memiliki titik awal maupun titik akhir yang tetap, melainkan berlangsung secara berkesinambungan melalui berbagai tahapan perpindahan air antara permukaan bumi, atmosfer, dan lingkungan sekitarnya. Ketika radiasi matahari mencapai permukaan air, seperti laut, danau, sungai, maupun genangan, energi panas yang diterima akan meningkatkan suhu air. Energi tersebut menyebabkan molekul-molekul air memperoleh energi yang cukup untuk berubah dari fase cair menjadi fase gas melalui proses penguapan (evaporasi). Uap air akan bergerak dan memasuki atmosfer, yang kemudian mengalami proses kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan yang sampai ke permukaan tanah. Sebagai air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap kedalam (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir diatas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface runoff*) mengisi cekungan tanah, danau dan masuk kesungai dan akhirnya mengalir kelaut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir kedalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian ke luar sebagai mata air atau mengalir kesungai disebut dengan siklus hidrologi [5].

Sistem Penyaliran

Penyaliran merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk mencegah, mengeringkan dan mengeluarkan air yang menggenangi suatu daerah tertentu [6]. Penyaliran dilakukan untuk mempermudah kegiatan operasional tambang. Air yang masuk ke area tambang dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air hujan, aliran air permukaan, atau air tanah. Jika tidak dikelola dengan baik, air yang terkumpul dalam tambang bisa mengganggu kestabilan tambang menambah biaya operasional tambang dan mengurangi efisiensi produksi.

Penanganan masalah air dalam suatu area tambang dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. *Penyaliran (Mine Drainage)*

Mine drainage merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mencegah masuk atau mengalirnya air ke area *front* kerja. Hal ini umumnya dilakukan untuk penanganan air tanah dan air yang berasal dari sumber air permukaan.

2. Penirisan (*Mine dewatering*)

Mine dewatering merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengeluarkan air yang telah masuk kedalam areal penambangan. Upaya ini umumnya dilakukan untuk menangani air yang berasal dari air hujan, *Minedewatering* secara umum terbagi menjadi tiga yaitu:

- Sump dewatering* adalah teknik dengan membuat sebuah kolam yang berada pada elevasi paling terendah di tambang dimana air tersebut akan dikeluarkan dari tambang menggunakan pompa.
- Adit dewatering* adalah dengan membuat saluran horizontal keluar tambang menuju lembah sisi bukit.
- External dewatering* adalah dengan membuat lubang bor atau *shaft* menembus lapisan *aquifer* atau permukaan kerja tambang lama yang dulu dipasang pompa, kegiatan ini mencegah air masuk ketambang akibat aliran gravitasi atau membuat muka air lebih rendah dari permukaan kerja tambang.

Lubang Bekas Tambang (Void)

Void merupakan suatu lubang atau cekungan berukuran besar yang terbentuk di permukaan bumi akibat aktivitas penambangan batubara yang dilakukan dengan metode tambang terbuka. Pada saat seluruh cadangan batubara di suatu *pit* telah habis dieksploitasi dan kegiatan penggalian dihentikan, maka area *pit* tersebut tidak lagi difungsikan sebagai tempat pengambilan batubara, melainkan ditinggalkan begitu saja. Seiring berjalannya waktu, bekas galian ini mengalami perubahan bentuk menjadi sebuah ruang terbuka yang luas, yang dalam terminologi pertambangan *modern* disebut sebagai *void*.

Debit Air Limpasan

Air limpasan permukaan merupakan air hujan yang mengalir di atas permukaan bumi. Proses limpasan ini dipengaruhi oleh faktor meteorologi yang tercermin dalam data curah hujan serta elemen-elemen daerah pengaliran yang menggambarkan karakteristik fisik dari area tersebut. Dalam memperhitungkan debit air limpasan memerlukan angka yang mutlak, metode yang dianggap baik untuk menghitung debit limpasan adalah metode rasional. Rumus ini dapat digunakan hanya untuk daerah tangkapan hujan yang cakupannya kecil atau ± 300 Ha dan kondisi permukaan yang relatif homogen [7]. Dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

Keterangan:

- Q : Debit limpasan
C : Koefisien limpasan
I : Intensitas curah hujan
A : Luas *catchmen area*

Dalam menghitung debit air limpasan, ada beberapa parameter yang harus diperhitungkan, antara lain:

1. Koefisien Limpasan

Koefisien air limpasan adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara volume air hujan yang mengalir di permukaan tanah dengan total curah hujan yang turun. Data yang diperoleh kemudian disesuaikan dengan tabel koefisien limpasan untuk menentukan nilai yang tepat koefisien limpasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [8].

Tabel 1. Koefisien Limpasan

KOEFSIEN LIMPASAN (C)		
Kemiringan Lahan	Tutupan Jenis Lahan	C
<3% (datar)	Sawah, Rawa	0,2
	Hutan, Perkebunan	0,3
	Perumahan	0,4
	Hutan, Perkebunan	0,4
3% - 15% (sedang)	Perumahan	0,5
	Semak-Semak Agak Jarang	0,6

	Lahan Terbuka	0,7
	Hutan	0,6
>15% (curam)	Perumahan	0,7
	Semak-Semak Agak Jarang	0,8
	Lahan Terbuka Daerah Tambang	0,9

2. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan merupakan banyaknya curah hujan persatuan waktu dinyatakan dengan satuan mm/jam. Nilai dari intensitas curah hujan tergantung dari lama curah hujan serta frekuensi hujan dan waktu konsentrasi [9]. Untuk menentukan intensitas curah hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe berikut :

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

Keterangan:

R_{24} : Curah hujan maksimum harian (mm/hari)

T : Durasi hujan rencana (jam)

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

3. Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

Catchment area atau daerah tangkapan hujan merupakan suatu wilayah alami yang berfungsi sebagai tempat penampungan dan pengumpulan air hujan yang jatuh ke permukaan bumi, di mana batas-batas wilayah tangkapannya ditentukan berdasarkan titik-titik elevasi tertinggi yang mengelilinginya. Secara geomorfologis, batas tersebut membentuk suatu poligon tertutup yang pola dan bentuknya disesuaikan dengan kondisi topografi setempat, mengikuti arah lereng dan kecenderungan aliran air menuju ke titik terendah. Dalam proses hidrologinya, air hujan yang jatuh ke permukaan lahan akan mengalami berbagai mekanisme alami, seperti infiltrasi, yaitu proses meresapnya air ke dalam pori-pori tanah; intersepsi, yakni tertahannya sebagian air oleh vegetasi dan kanopi tumbuhan, serta limpasan permukaan (*surface runoff*), yaitu aliran air yang bergerak mengikuti kontur permukaan menuju tempat yang lebih rendah seperti parit, sungai, atau waduk [10].

Statistik Dasar Pemilihan Jenis Sebaran Hujan

Menurut [11], nilai setiap variat dari suatu variabel hidrologi tidak selalu sama dengan nilai rata-ratanya. Beberapa variat dapat memiliki nilai yang lebih besar maupun lebih kecil dari pada rata-ratanya. Tingkat penyebaran variat terhadap nilai rata-rata tersebut dikenal sebagai varians (*variance*) atau dispersi (*dispersion*). Derajat penyebaran data ini umumnya diukur melalui simpangan baku (*standard deviation*) dan nilai varians itu sendiri, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai seberapa besar fluktuasi data terhadap nilai rata-ratanya. Nilai rata-ratanya dapat dihitung dengan persamaan berikut [12].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

Dengan:

$\bar{X}$: Rata-rata

X_i : Variabel random

n : Jumlah data

Deviasi standar dapat digunakan untuk mengetahui variabilitas dari distribusi. Semakin besar deviasi standar maka akan semakin besar penyebaran dari distribusi. Deviasi standar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

Koefisien varian (C_v) merupakan nilai perbandingan antara deviasi standar dan nilai rata-rata, dengan persamaan berikut [12].

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

Kemencengan (*skewness*) dipahami sebagai ukuran statistik yang mendeskripsikan derajat ketidaksimetrisan distribusi data terhadap pusatnya. Pemahaman dan pengukuran kemencengan menjadi penting untuk menentukan apakah asumsi-asumsi statistik (misalnya normalitas) terpenuhi atau perlu dilakukan transformasi data. Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan koefisien kemencengan [12].

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (6)$$

Koefisien *kurtosis* merupakan suatu ukuran statistik yang menunjukkan derajat ketinggian puncak atau tingkat keruncingan dari suatu distribusi data untuk menggambarkan bentuk sebaran data terutama pada bagian puncaknya dibandingkan dengan distribusi normal. Tingkat keruncingan suatu distribusi secara kuantitatif dapat dihitung menggunakan koefisien kurtosis yang dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut [12].

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (7)$$

Tabel 2 berikut merupakan tabel yang digunakan untuk menentukan jenis distribusi (sebaran) data curah hujan maksimum yang nantinya dapat menentukan metode distribusi yang paling sesuai dengan karakteristik data yang dimiliki [13].

Tabel 2. Pemilihan Jenis Sebaran Berdasarkan Parameter Statistik

No	Metode	Syarat
1	Normal	$Cs \approx 0$ $Ck \sim 3$
2	Log Normal	$Cv \sim 0,06$ $Cs \sim 3Cv + Cv^2 = 0,204$
3	E.J. Gumbel	$Cs \leq 1,14$ $Ck \leq 5,40$
4	Log Pearson Type III	$Cs \neq 0$ $Cv \sim 0,3$

Distribusi Probabilitas

Untuk memperkirakan besarnya debit banjir ataupun limpasan pada periode ulang tertentu, data curah hujan terlebih dahulu disesuaikan dengan jenis probabilitas yang sesuai. Penyesuaian ini dilakukan agar hasil perhitungan debit limpasan mendekati kondisi sebenarnya di lapangan dan tidak jauh berbeda dari kejadian sesungguhnya. Adapun jenis distribusi yang digunakan antara lain:

1. Distribusi Normal

Perhitungan dengan distribusi normal secara praktis dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$X_t = \bar{X} + z \cdot s \quad (8)$$

Dengan:

X_t : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang (T) tahunan

$\bar{X}$: nilai rata-rata hitung variat

s : deviasi standar nilai variat

z : faktor frekuensi dari distribusi normal (tabel z untuk distribusi normal)

merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang tipe model matematik.

2. Distribusi Log Normal

Jika $Y = \log X$, maka perhitungan dengan distribusi normal secara praktis dapat dihitung melalui pendekatan dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$Y_t = \bar{Y} + z \cdot s \quad (9)$$

Dengan:

- Y_T : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang (T) tahunan
- $\bar{Y}$: nilai rata-rata hitung variat
- s : deviasi standar nilai variat
- z : faktor frekuensi

merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

3. Distribusi Log-Pearson III

Distribusi Log Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan menggantikan data menjadi nilai logaritma berbasis 10 dari X ($\ln$ atau $\log_{10}(X)$). Persamaan Log Pearson Tipe III dapat ditulis sebagai berikut [14].

$$\log X_t = \log X + (G \cdot S) \quad (10)$$

Dimana:

- X_t : Besarnya curah hujan dengan periode t (mm)
- $\log X$: Rata-rata nilai logaritma data X hasil pengamatan (mm)
- S : Standar Deviasi nilai logaritma data X hasil pengamatan

Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut [15].

Nilai rata-rata

$$\log X = \frac{\sum \log X}{n} \quad (11)$$

Standar Deviasi dari Log X

$$S \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X - \log X)^2}{n-1}} \quad (12)$$

Koefisien Kemencengan

$$Cs = \frac{n \sum (\log X - \log X)^3}{(n-1)(n-2)(S \log X)^3} \quad (13)$$

Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum (\log X - \log X)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S \log X)^4} \quad (14)$$

Dimana:

- X : Curah hujan (mm)
- $\log X$: Rata-rata Log X
- G : Faktor koreksi

4. Distribusi Gumbel

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut [12] :

$$X_t = \bar{X} + (K \cdot S) \quad (15)$$

Keterangan:

- X_t : Curah hujan rencana
 $\bar{X}$: Curah hujan rata-rata
 K : Faktor Frekuensi
 S : Standar Deviasi

Untuk nilai standar deviasi didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut [12].

$$S = \sqrt{\frac{(Xi - \bar{X})}{n-1}} \quad (16)$$

Keterangan:

- S : Standa deviasi
 X_i : Nilai curah hujan tahunan
 $\bar{X}$: Curah hujan rata-rata
 N : Jumlah data

Nilai k faktor frekuensi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (17)$$

Keterangan:

- K : Faktor frekuensi
 Y_t : *Reduce variate*
 Y_n : *Reduce mean*
 S_n : Standa deviasi variat gumbel

Pehitungan *Reduce mean* (Y_n) didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$Y_n = -\ln\left(\ln\left(\frac{n+1-m}{n+1}\right)\right) \quad (18)$$

$$Y_n = \frac{\sum \text{reduksi variat}}{n} \quad (19)$$

Keterangan:

- n : Jumlah data
 m : Peringkat curah hujan yang terbesar

untuk perhitungan *Reduce variate* (Y_t) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$Y_t = -\ln\left(\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) \quad (20)$$

Keterangan:

- T : Waktu periode ulang hujan

Curah Hujan

Air hujan merupakan sumber utama yang masuk ke area penambangan, sehingga intensitas curah hujan di sekitar lokasi penambangan sangat mempengaruhi volume air yang perlu dikelola. Sistem drainase tambang diterapkan untuk mencegah, mengeringkan, atau mengalirkan air keluar dari area tambang. Data curah hujan diperoleh dari alat pengukur hujan yang sesuai dengan standar dimensi Organisasi Meteorologi Dunia (WMO), dengan hasil pengukuran dalam satuan milimeter (mm), yang menunjukkan ketinggian air hujan yang jatuh di area seluas 1 meter persegi apabila air hujan tidak meresap, mengalir, atau menguap. Pengukuran curah hujan dapat dilakukan menggunakan tabung pengukur hujan.

Periode Ulang Hujan

Curah hujan umumnya mengikuti pola tertentu, di mana intensitas hujan tertentu cenderung terulang dalam periode tertentu, yang dikenal sebagai periode ulang hujan. Periode ulang hujan diartikan sebagai jangka waktu di mana curah hujan dengan intensitas tertentu akan tercapai atau terlampaui setidaknya sekali dalam periode waktu tertentu. Sebagai contoh, periode ulang hujan 5 tahun berarti bahwa peristiwa hujan tersebut akan terjadi rata-rata sekali dalam periode 5 tahun. Namun, kejadian hujan tersebut tidak harus tepat 5 tahun sekali, melainkan bisa terjadi rata-rata sekali dalam periode 5 tahun, seperti 5 kali dalam 100 tahun atau 25 kali dalam 250 tahun, dan seterusnya. Semakin besar periode ulang, semakin tinggi pula intensitas curah hujan yang terjadi. Penetapan periode ulang hujan ini lebih menekankan pada pertimbangan kebijakan yang diambil sesuai dengan perencanaan. Faktor yang dipertimbangkan dalam menentukan periode ulang hujan adalah risiko yang mungkin timbul jika curah hujan melebihi yang direncanakan.

Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana adalah hujan maksimum yang diperkirakan terjadi selama masa pakai sistem drainase tersebut. Hujan rencana ini diperoleh melalui analisis frekuensi data curah hujan. Analisis frekuensi adalah analisis yang memperkirakan kejadian yang diharapkan terjadi rata-rata sekali dalam periode tertentu, dengan asumsi periode ulang yang telah ditentukan. Metode analisis frekuensi yang digunakan dalam perencanaan sistem drainase adalah metode "*extreme value*" dari E.J. Gumbel, yaitu metode distribusi frekuensi yang didasarkan pada karakteristik penyebaran data dengan koreksi variabel serta menggunakan distribusi nilai ekstrim (maksimum) [1]. Perhitungan curah hujan menggunakan distribusi Gumbel dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$X_t = X + \frac{S}{S_n}(Y_t - Y_n) \quad (21)$$

Keterangan:

- X_t : Perkiraan nilai curah hujan rencana (mm)
- X : Curah hujan rata – rata (mm)
- S : Simpangan baku (*Standar deviation*)
- S_n : Standar deviasi dari reduksi *variate*, nilai nya tergantung, jumlah data
- Y_t : Nilai reduksi *variate* dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu
- Y_n : Koreksi rata- rata (*reduced mean*)

Simpangan baku dihitung dengan rumus [2] :

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (22)$$

Keterangan :

- S : Standar deviasi
- x : Nilai *variant*
- $\bar{x}$: Nilai rata – rata hitung *variant*
- n : Jumlah data

Nilai reduksi *variate* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Y_t = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{r-1}{r} \right\} \right] \quad (23)$$

Keterangan

- Y : Nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode tertentu
- T : Periode ulang

Koreksi rata – rata (*Reduced mean*) dihitung menggunakan rumus:

$$Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{n+1-m}{n+1} \right\} \right] \quad (24)$$

Keterangan:

- Y_n : Koreksi rata –rata (*reduced mean*)
 N : Jumlah data
 M : Urutan data (1,2,3,.....)

Nilai koreksi simpangan (*reduced standard deviation*) ditentukan dengan rumus :

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum(Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \quad (25)$$

Keterangan:

- S_n : Standar deviasi reduksi *variate*, nilainya tergantung jumlah data
 Y_n : Koreksi rata- rata (*reduced man*)
 $\bar{Y}_n$: Nilai rata – rata Y_n
 n : Jumlah data

Air Tanah

Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat lubang pori di antara butiran tanah atau celah-celah batuan, terutama pada lapisan yang jenuh air. Untuk mengetahui debit air tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut [6] :

$$Q = \frac{h(L_1 + L_2)}{\Delta t} \quad (26)$$

Keterangan:

- Q : Debit Air Tanah (m³/jam)
 Δt : Waktu Pengamatan Perubahan Air *Sump* (jam)
 h : Kenaikan Permukaan
 L₁ : Luas Permukaan Air Diawal(m²)
 L₂ : Luas Permukaan Air Diakhir(m²)

Sumuran (Sump)

Sump berfungsi sebagai tempat penampungan air sementara sebelum dipompa keluar dari area tambang. Oleh karena itu, ukuran *sump* sangat dipengaruhi oleh besarnya debit air yang masuk dan keluar dari *sump* tersebut. Air yang masuk ke dalam *sump* berasal dari aliran saluran air, limpasan permukaan yang langsung mengalir ke *sump*, dan air hujan yang jatuh langsung ke dalamnya. Sementara itu, jumlah air yang keluar ditentukan oleh kapasitas pompa yang digunakan.

Berdasarkan penempatannya, *sump* dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

1. *Travelling Sump*
Sump ini dibangun di area *front* tambang dengan tujuan untuk mengatasi air permukaan. Penggunaan *sump* ini bersifat sementara dan selalu dipindahkan sesuai dengan perkembangan kemajuan tambang.
2. *Sump Jenjang*
Sump ini dibangun secara terencana, baik dalam pemilihan lokasi maupun penentuan volumenya. *Sump* ini ditempatkan pada jenjang tambang, biasanya di bagian lereng tepi tambang. *Sump* jenis ini disebut *sump* permanen karena dirancang untuk digunakan dalam jangka panjang dan biasanya dibuat dari bahan kedap air untuk mencegah meresapnya air yang dapat mengakibatkan longsornya jenjang.
3. *Main Sump*
Sump ini berfungsi sebagai tempat penampungan air akhir. Umumnya, *sump* ini dibangun atau dibuat pada elevasi terendah di dasar tambang.

$$V = (\text{Luas alas} + \text{luas bawah}) \times \frac{1}{2} \times t \quad (27)$$

Keterangan:

- V : Volume *sump* (m³)
 t : kedalaman *sump* (m)

Pompa

Pompa adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari satu tempat ke tempat lain. Dalam sistem penirisan tambang, pompa digunakan untuk mengeluarkan air dari area tambang.

1. Debit Pompa

Debit pompa adalah besaran yang menunjukkan jumlah atau volume fluida (biasanya air) yang mampu dipindahkan atau dialirkan oleh suatu pompa dalam satuan waktu tertentu.

Debit pompa dapat dihitung dari luas penampang aliran dan kecepatan fluida dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = A \times V \quad (28)$$

Keterangan:

Q : debit pompa (m³/s)

A : luas penampang pipa atau saluran (m²)

V : Kecepatan aliran fluida (m/s)

Dengan demikian banyaknya kebutuhan pompa dapat digunakan rumus berikut:

$$\text{jumlah} = \frac{\text{debit air yang masuk}}{\text{debit dipompakan} \times \text{jam kerja pompa}} \quad (29)$$

2. Julang Pompa (*Head Pump*)

Dalam pemompaan, istilah julang (*head of water*) merujuk pada besarnya energi yang diperlukan untuk mengeluarkan sejumlah air dalam kondisi tertentu. Semakin besar aliran pemompaan, maka semakin tinggi pula *head* yang dibutuhkan [18].

Total *head* pompa yang diperlukan untuk mengeluarkan air dalam jumlah tertentu disesuaikan dengan rencana yang ditentukan pada kondisi instalasi pompa, sehingga total *head* pompa dapat digambarkan sebagai berikut:

$$H = H_s + H_v + H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \quad (30)$$

Keterangan:

H : *Head* total pompa (m)

H_s : *Head* statis pompa (m)

H_v : *Head* kecepatan (m)

H_{f1} : *Head* gesekan (m)

H_{f2} : *Head* belokan (m)

H_{f3} : *Head* sambungan (m)

Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan sarana dari sistem penyaliran tambang yang berfungsi untuk menampung sementara serta mengalirkan air ketempat lain seperti kolam pengendapam lumpur. bentuk saluran terbuka penampang yang umum digunakan adalah bentuk trapesium, hal ini dikarenakan mudah dalam pembuatannya, murah dan mudah dalam perawatannya serta stabilitas kemiringan dapat disesuaikan berdasarkan topografi [1].

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times S^{1/2} \times R^{2/3} \quad (31)$$

Keterangan:

Q : Debit saluran penyaliran (m³/s)

A : Luas penampang basah (m²)

R : Jari-jari hidrolik = A/P (m)

S : Kemiringan dasar saluran (%)

n : Koefisien kekerasan manning

P : Keliling penampang basah (m)

Tabel 3. Koefisien Kekerasan Manning

Tipe Dinding Saluran	n
Besi tulang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortal	0,015
Pasangan batu sedimen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu	0,040

1. Kemiringan saluran

$$z = \frac{1}{\tan \alpha} \quad (32)$$

2. Lebar dasar saluran (m)

$$b = 2(\sqrt{z^2 + 1} - z)h \quad (33)$$

3. Luas penampang saluran (m²)

$$A = (b + zh)h \quad (34)$$

4. Kedalaman saluran

$$z = \frac{1}{2}h \longrightarrow h = 2R \quad (35)$$

5. Tinggi jagaan

$$W = 15\% \times h \quad (36)$$

6. Panjang sisi saluran

$$z = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (37)$$

7. Lebar permukaan

$$B = b + 2zh \quad (38)$$

Kolam Pengendapan Lumpur (Settling Pond)

Kolam pengendapan berfungsi untuk mengendapkan lumpur-lumpur atau material padatan yang bercampur dengan air limpasan yang disebabkan adanya aktivitas penambangan maupun karena erosi serta sebagai tempat pengontrol kualitas dari air yang akan dialirkan ke perairan umum, baik itu kandungan materialnya, tingkat keasaman ataupun kandungan material lain yang dapat membahayakan lingkungan [1].

1. Kecepatan Pengendapan Partikel

Kecepatan pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan hukum Stokes dan hukum Newton. Hukum Stokes berlaku bila padatannya kurang dari 40%.

Hukum Stokes

$$Vt = \frac{g \times D^2 \times (\rho_p - \rho_a)}{18\mu} \quad (38)$$

Keterangan :

- Vt : Kecepatan pengendapan partikel
 g : Percepatan gravitasi
 ρ_p : Berat jenis partikel padatan

- ρ_a : Berat jenis air
 μ : Kekentalan dinamik air
 D : Diameter partikel padatan

2. Persentase Pengendapan

Perhitungan persentase pengendapan ini bertujuan untuk mengetahui kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan tambang. Waktu yang dibutuhkan oleh partikel untuk mengendap dengan kecepatan ($v = m/s$) sejauh (h) adalah:

Menghitung Q_{solid} berikut:

$$Q_{solid} = Q_{air} \times \% \text{ TSS} \quad (39)$$

Keterangan:

- Q_{solid} : Debit padatan ($m^3/detik$)
 Q_{air} : Debit air ($m^3/detik$)
 $\% \text{ TSS}$: Nilai total *suspended solid* (%)

Waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap:

$$z = \frac{h}{vt}(\text{detik}) \quad (40)$$

Keterangan:

- t_v : Waktu pengendapan partikel
 v_t : Kecepatan pengendapan partikel
 h : Kedalaman kolam

Kecepatan aliran partikel horizontal:

$$v_h = \frac{Q_{total}}{A} \quad (41)$$

Keterangan:

- v_h : Kecepatan aliran partikel horizontal ($m^3/detik$)
 Q_{total} : Debit aliran yang masuk kekolam pengendapan ($m^3/detik$)
 A : Kedalaman kolam (m^2)

$$t_h = \frac{1}{v_h} \quad (42)$$

Keterangan:

- t_h : Waktu partikel keluar dari kolam pengendapan (menit)
 v_h : Kecepatan aliran partikel partikel keluar dari kolam pengendapan ($m^3/detik$)
 l : Panjang kolam pengendapan (m)

Untuk mengetahui efektivitas proses pengendapan partikel, kondisi pengendapan dikatakan optimal apabila waktu pengendapan (t_v) tidak melebihi waktu aliran horizontal (t_h). Hal ini dikarenakan partikel akan dapat mengendap secara sempurna apabila waktu yang diperlukan untuk mengendap lebih kecil dibandingkan waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir keluar dari kolam. Besarnya persentase pengendapan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ pengendapan} = \frac{\text{waktu yang dibutuhkan air keluar}}{\text{waktu yang dibutuhkan air keluar} + \text{waktu pengendapan}} \times 100\% \quad (43)$$

METODOLOGI

Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada area void Pit A1B Timur dan Pit A1B Barat, PT Astaka Dodol Site Macang Sakti, Desa Macang Sakti, Kecamatan Sanga Desa, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi penelitian merupakan bekas area penambangan terbuka yang telah terisi air dan direncanakan untuk dilakukan kegiatan penambangan kembali. Secara administratif, lokasi penelitian berada pada wilayah kerja PT Astaka Dodol dengan jarak sekitar 162 km dari Universitas Jambi.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan dan pengukuran kondisi aktual di lapangan, meliputi elevasi muka air, posisi unit pompa, elevasi titik keluaran pompa, debit aktual pompa, serta data biaya operasional pemompaan. Data sekunder diperoleh dari PT Astaka Dodol, meliputi data curah hujan lima tahun terakhir, peta topografi, desain Pit A1B, jenis dan spesifikasi pompa, serta dokumentasi foto kegiatan penambangan yang berhubungan dengan topik penelitian.

Tahapan Penelitian

Analisis dilakukan secara bertahap untuk memperoleh rancangan sistem mine dewatering yang dapat digunakan dalam mendukung rencana penambangan kembali pada Pit A1B Timur dan Pit A1B Barat (gambar 1). Tahapan penelitian meliputi:

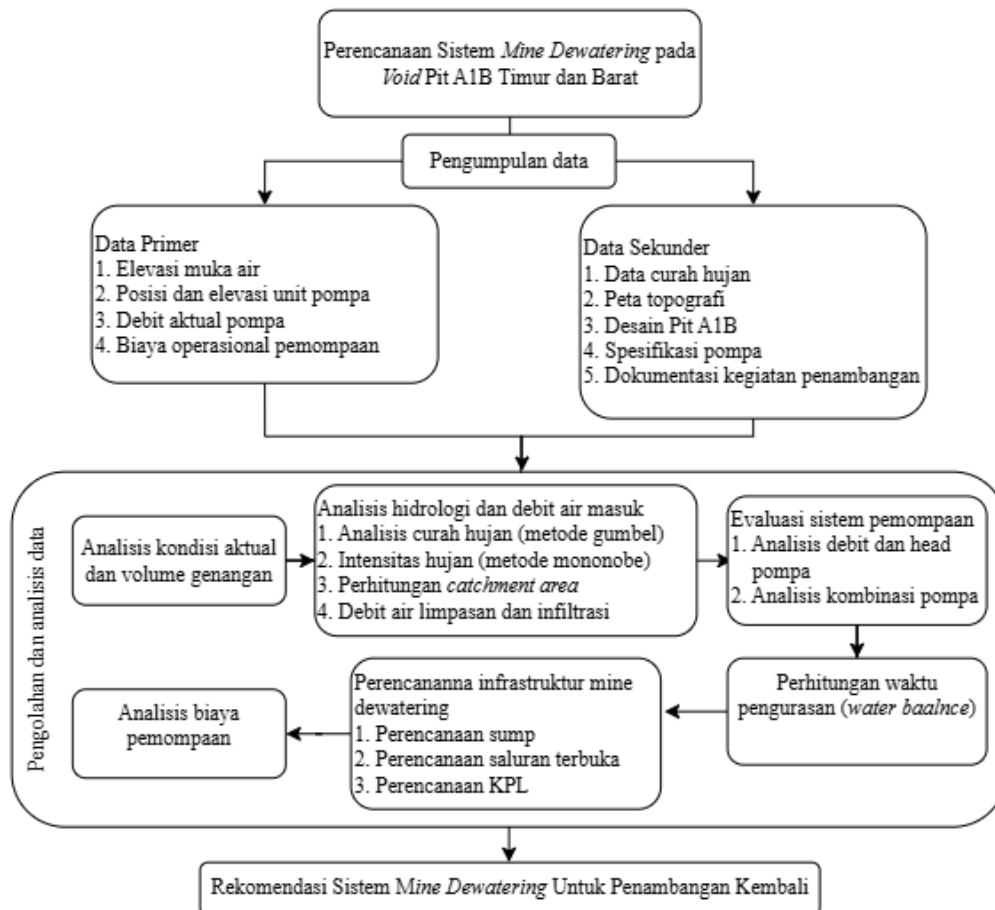
1. Identifikasi kondisi aktual *void* dan volume genangan
Kondisi aktual Pit A1B Timur dan Pit A1B Barat dianalisis berdasarkan data topografi, elevasi muka air, elevasi dasar pit, serta luas genangan. Volume genangan ditentukan berdasarkan data spasial dan analisis volumetri menggunakan perangkat lunak (*software*)
2. Analisis hidrologi dan debit air yang masuk ke *void*
Analisis hidrologi dilakukan untuk menentukan besarnya air yang berpotensi masuk ke dalam *void* selama proses pengurasan. Sumber air yang diperhitungkan terdiri atas limpasan permukaan dan infiltrasi atau rembesan air tanah. Proses analisis ini dimulai dengan mengolah data curah hujan menggunakan metode gumbel untuk menentukan curah hujan rencana karena memberikan kesesuaian terhadap karakteristik data curah hujan. Selanjutnya intensitas hujan rencana ditentukan menggunakan metode Mononobe dengan mempertimbangkan curah hujan harian maksimum dan durasi hujan. Daerah tangkapan hujan (*catchment area*) ditentukan berdasarkan kondisi topografi dan arah aliran permukaan menuju masing-masing *void*. Luas daerah tangkapan kemudian digunakan untuk menentukan volume air hujan yang berpotensi menjadi limpasan menuju Pit A1B Timur dan Pit A1B Barat. Debit limpasan permukaan dihitung menggunakan metode Rasional ($Q = 0,278 \times C \times I \times A$), dengan Q merupakan debit limpasan (m^3/s), C merupakan koefisien limpasan, I merupakan intensitas hujan (mm/jam), dan A merupakan luas daerah tangkapan hujan (km^2).
3. Evaluasi kinerja sistem pemompaan
Debit pemompaan ditentukan berdasarkan hubungan antara luas penampang aliran dan kecepatan aliran. Selanjutnya, kemampuan pompa dievaluasi terhadap total *head* sistem. Total *head* pompa mempertimbangkan komponen *head* statis, *head* kecepatan, kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa, serta kehilangan energi pada belokan dan sambungan pipa.
4. Perhitungan waktu pengurasan *void*
Waktu pengurasan ditentukan menggunakan pendekatan neraca air (*water balance*), yaitu dengan membandingkan kapasitas pemompaan terhadap debit air yang terus masuk ke *void*. Dalam perhitungan, debit limpasan dan infiltrasi diasumsikan tetap masuk selama proses pengurasan sebagai faktorantisipasi terhadap kondisi hujan selama kegiatan *dewatering*.
5. Perencanaan *sump*
Perencanaan dimensi *sump* mempertimbangkan debit air masuk, kapasitas pompa, volume tampungan yang dibutuhkan, serta kondisi operasional tambang pada kuartal pertama setelah proses pengurasan.
6. Perencanaan saluran terbuka
Saluran terbuka direncanakan untuk mengalirkan air dari outlet pompa menuju KPL secara gravitasi. Kapasitas hidraulik saluran dievaluasi menggunakan persamaan Manning untuk memastikan kapasitas saluran lebih besar atau sekurang-kurangnya mampu mengalirkan debit rencana.

7. Perencanaan kolam pengendapan lumpur (KPL)

Kolam Pengendapan Lumpur (KPL) direncanakan untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi sebelum air hasil pemompaan dialirkan ke badan air penerima. Kecepatan pengendapan partikel dihitung menggunakan pendekatan hukum Stokes untuk karakteristik material yang memenuhi kondisi penggunaannya. Debit padatan ditentukan berdasarkan debit air dan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS).

8. Analisis biaya operasional pemompaan

Analisis biaya dilakukan untuk mengetahui kebutuhan biaya selama proses pengurasan *void*. Komponen biaya yang diperhitungkan meliputi konsumsi bahan bakar solar dan biaya pemeliharaan/sewa unit pompa sesuai dengan skema operasional yang digunakan perusahaan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Aktual Void dan Debit Air Masuk

Penanganan air tambang pada area *pit void* diawali dengan pemetaan topografi dan analisis volumetri untuk mengetahui besarnya genangan air aktual yang tertampung pada bekas galian penambangan. Terdapat 2 area void yang akan ditambang Kembali seperti terlihat pada gambar 1 dan 2, namun perlu dilakukan pengeringan area void terlebih dahulu agar aktivitas penambangan dapat dilakukan.



Gambar 2. Keadaan aktual *Void Pit A1B Timur* (kiri) dan keadaan aktual *Void Pit A1B Barat* (kanan)
(Sumber: PT Astaka Dodol, 2025)

Besarnya sumber air yang masuk ke dalam *void* dipengaruhi oleh dua komponen utama, yaitu limpasan air permukaan (*surface runoff*) akibat curah hujan dan debit infiltrasi air tanah. Evaluasi data curah hujan harian maksimum selama periode 2020–2024 menunjukkan bahwa dari empat metode distribusi hujan tidak ada nilai yang memenuhi syarat (tabel 4). Namun pemilihan metode distribusi hujan yang paling mendekati syarat adalah metode gumbel dengan C_s telah memenuhi syarat, dan nilai C_k sedikit diatas ambang batas dengan nilai 5,48.

Tabel 4. Analisis Metode Distribusi Hujan

No	Metode	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Normal	$C_s \approx 0$	C_s 0,07	Tidak Memenuhi
		$C_k \sim 3$	C_k 5,48	
2	Log Normal	$C_v \sim 0,06$	C_v 0,44	Tidak Memenuhi
		$C_s \sim 3C_v + C_v^2 = 0,204$	C_s 0,07	
3	E.J. Gumbel	$C_s \leq 1,14$	C_s 0,07	Tidak Memenuhi
		$C_k \leq 5,40$	C_k 5,48	
4	Log Pearson III	$C_s \neq 0$	C_s 0,07	Tidak Memenuhi
		$C_v \sim 0,3$	C_v 0,44	

Untuk memastikan metode dsitribusi yang tepat selanjutnya dilakukan uji Smirnov-Kolmogorov untuk menentukan apakah distribusi data sampel sesuai dengan distribusi probabilitas teoritis yang dipilih (tabel 5). Uji ini digunakan sebagai uji kecocokan (*goodness-of-fit test*) untuk menguji seberapa selaras sebaran data sampel di lapangan dengan distribusi teoretis yang direncanakan. Uji Kolmogorov-Smirnov dihitung berdasarkan peluang empiris $P(X_i)$ dan teoritis $P'(X_i)$, selisih antara kedua peluang tersebut harus lebih kecil dari selisih peluang kritis (ΔP_{kritis}). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa untuk Distribusi Gumbel nilai ΔP maks (0,0767) < ΔP kritis (0,565) sehingga Distribusi Gumbel dapat diterima berdasarkan uji Smirnov–Kolmogorov pada taraf signifikansi 5%.

Tabel 5. Uji Smirnov-Kolmogorov untuk Distribusi E.J. Gumbel

m	Tahun	X_i (mm)	$P(X_i)$	Y_i	$P'(X_i)$	$\Delta P = P(X_i) - P'(X_i) $
1	2024	191,19	0,1667	-0,4245	0,2168	0,0501
2	2023	259,7	0,3333	-0,1365	0,3178	0,0155
3	2022	434,2	0,5	0,5971	0,5767	0,0767
4	2020	490	0,6667	0,8317	0,6471	0,0196
5	2021	632,5	0,8333	1,4307	0,7873	0,0460
Jumlah		2007,6				
$\bar{X}$		401,52				
ΔP maks						0,0767
ΔP kritis						0,565

Menggunakan periode ulang hujan (PUH) 5 tahun, diperoleh intensitas curah hujan rencana sebesar 6,59 mm/jam dengan durasi hujan efektif (t) selama 3,02 jam/hari. Hasil analisis curah hujan rencana dengan Metode Gumbel menjadi dasar dalam perhitungan pada sistem penyaliran, sehingga membantu meminimalkan risiko akibat hujan ekstrem. Dengan demikian, Metode Gumbel memberikan pendekatan sederhana namun cukup akurat sehingga banyak digunakan dalam bidang pertambangan. Tabel berikut merupakan tabel yang memperhitungkan nilai curah hujan rencana sebaran distribusi metode Gumbel.

Tabel 6. Analisis distribusi curah hujan metode Gumbel

Tahun	<i>Standard Deviation</i>				Yn	Sn	Yt
	$\bar{x}$ (mm)	xi (mm)	xi-x	(xi-x) ²			
2020	401,518	490	88,482	7829,1	0,5	0,89	1,5
2021	401,518	632,5	230,982	53.352,7	0,5	0,89	1,5
2022	401,518	434,2	32,682	1.068,1	0,5	0,89	1,5
2023	401,518	259,7	-141,818	20.112,3	0,5	0,89	1,5
2024	401,518	191,19	-210,328	44.237,9	0,5	0,89	1,5
Total		2007,59		126.600,1			
n-1				4			
Total/n				31.650,1			
Sn				177,9			

Dari analisis diatas ditentukan besarnya curah hujan untuk beberapa periode ulang, yang menjadi acuan dalam merancang sistem penyaliran di wilayah tambang. Nilai curah hujan yang ditampilkan menggambarkan perkiraan curah hujan maksimum.

Tabel 7. Nilai curah hujan rencana berdasarkan metode Gumbel

Curah Hujan Rencana		
Periode Ulang	CHR (mm/bulan)	CHR (mm/hari)
2	377,46	24,58
5	610,49	39,76
10	730,34	47,57
20	811,18	52,83
25	836,44	54,48
50	915,57	59,63

Intensitas curah hujan merupakan parameter yang menyatakan jumlah air hujan yang jatuh dalam rentang waktu tertentu, yang umumnya dinyatakan dalam satuan milimeter per jam (mm/jam). Nilai intensitas ini mencerminkan laju atau kecepatan turunnya hujan selama periode waktu tertentu, yang digunakan untuk penentuan kapasitas saluran dan peralatan pemompaan air. Berikut merupakan tabel intensitas curah hujan yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan persamaan Mononobe pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Nilai intensitas hujan berdasarkan rumus Mononobe

Periode Ulang (tahun)	R24 (mm/hari)	T (jam)	I (mm/jam)
2	24,58	3,02	4,08
5	39,76	3,02	6,59
10	47,57	3,02	7,89
20	52,83	3,02	8,76
25	54,48	3,02	9,03
50	59,63	3,02	9,89

Berdasarkan hasil pengukuran spasial, Pit A1B Timur memiliki luas genangan air sebesar 143.500 m² dengan elevasi muka air aktual berada pada 51 mdpl dan elevasi dasar pit pada 24 mdpl. Kondisi ini menghasilkan total akumulasi volume air terapung sebesar 639.112,8 m³. Sementara itu, Pit A1B Barat memiliki luas genangan air yang lebih besar, yaitu 157.000 m², dengan elevasi muka air pada 57 mdpl dan dasar pit pada 27 mdpl, sehingga membentuk volume genangan aktual sebesar 831.552,9 m³. Hasil perhitungan debit limpasan yang mengalir ke pit A1B Timur dan pit A1B Barat disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Debit Air Limpasan Pit A1B Timur

Koefisien	Q (m ³ /detik)	Q (m ³ /jam)	Q (m ³ /hari)
0.9	0,24	867,18	2.618,87
0.4	0,07	260,55	786,86
Total	0,31	1.127,73	3.405,73

Tabel 10. Debit Air Limpasan Pit A1B Barat

Koefisien	Q (m ³ /detik)	Q (m ³ /jam)	Q (m ³ /hari)
0.9	0,34	1.222,96	3.693,33
0.4	0,05	197,72	597,12
Total	0,39	1.420,68	4.290,45

Evaluasi Kinerja Pompa, Waktu Pengurasan (Dewatering) dan Sekuens Operasional

Sistem pengurasan air tambang (*dewatering*) memanfaatkan unit pompa sentrifugal yang ada saat ini (eksisting). Namun, perhitungan evaluasi di lapangan menunjukkan terjadinya penurunan debit pemompaan aktual (Q_{aktual}) dibandingkan kapasitas teoritisnya. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh hambatan *head total* sistem, yang mencakup *head* statis (perbedaan elevasi dasar pit ke titik curah luar), *head* gesekan sepanjang jalur pipa High-Density Polyethylene (HDPE PN-6.3), serta *head loss* sekunder pada belokan pipa (*fittings*).

Diasumsikan debit limpasan yang masuk setiap harinya ditambahkan dalam perhitungan setiap proses pengeluaran air dalam *void* dikarenakan tidak bisa memprediksi waktu turunnya hujan, dengan tujuanantisipasi penambahan waktu pengurasan *void*. Rekomendasi teknis pengeluaran air pada *void* dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 11. Rekomendasi Rencana Pompa Pada Pit A1B

Rekomendasi Pompa Pit A1B Timur				
Pit A1B	Kode Pompa	Panjang Pipa (m)	Head (m)	Debit Pompa (m ³ /Jam)
Timur	WP-04	241,7	83	393
	WP-05	241,7	68	290
Barat	WP-02	187,3	64	412
	WP-05	187,3	59	330

Perhitungan estimasi waktu pengurasan (*dewatering time*) dilakukan dengan memperhitungkan neraca air (*water balance*), yaitu mengoperasikan selisih antara total debit pemompaan harian kumulatif terhadap debit air baru yang masuk dari limpasan dan infiltrasi. Dari hasil perhitungan didapatkan volume air genangan pada Pit A1B Barat saat ini sebesar 831.552 m³ dengan debit air yang masuk ke dalam pit sebesar 4.290,45 m³/hari. Kombinasi pompa yang digunakan pada area ini mampu mengeluarkan air dengan debit 742 m³/jam, dengan durasi pemompaan selama 20 jam/hari, sehingga total debit air yang dikeluarkan pompa keseluruhan sebesar 14.840 m³/hari. Dengan menggunakan persamaan *water balance* maka diperoleh waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air pada pit A1B Barat adalah sebagai berikut:

$$t : \frac{v \text{ genangan}}{Q \text{ pompa} - Q \text{ masuk}}$$

$$t : \frac{831.552}{14.840 - 4.290,45}$$

$$t : 78,82 \text{ hari atau } 79 \text{ hari}$$

Maka lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air agar proses penambangan dapat Kembali berjalan pada pit A1B Barat adalah selama 79 hari atau 2,6 bulan. Sedangkan untuk area Pit A1B Timur memiliki volume genangan air sebesar 639.112 m³ dengan debit air yang masuk sebanyak 3.405,73 m³/hari. Kombinasi pompa yang digunakan pada area ini mampu mengeluarkan air sebesar 683 m³/jam. Waktu pemompaan yang direkomendasikan selama 20 jam/ hari, sehingga debit pompa yang diperoleh adalah sebesar 13.660 m³/hari. Maka diperoleh waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air pada pit A1B Timur adalah sebagai berikut:

$$t : \frac{v \text{ genangan}}{Q \text{ pompa} - Q \text{ masuk}}$$

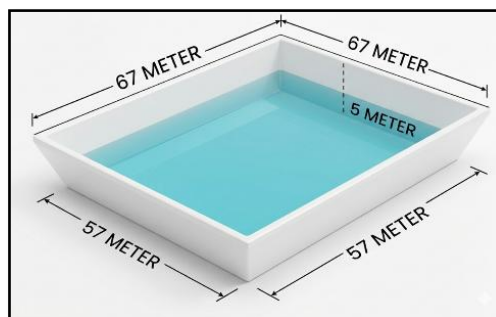
$$t : \frac{639.112}{13.660 - 3.405,73}$$

$$t : 62,36 \text{ hari atau } 63 \text{ hari}$$

Berdasarkan kalkulasi neraca air tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk menguras habis genangan *void* pada pit A1B Timur membutuhkan waktu operasional selama 63 hari atau 2 bulan.

Perencanaan Perancangan Sump, Saluran Terbuka

Untuk menampung air tambang selama kegiatan operasional penambangan berlangsung di kuartal pertama pasca-pengurasan, dirancang penampungan sementara (*sump*) di dasar pit galian. *Sump* didesain berbentuk trapesium terpotong untuk mempermudah pengerukan sedimen dan perawatan teknis. Volume kapasitas tampung *sump* dirancang sebesar 18.771 m³. Kapasitas ini dinilai ideal karena sanggup menampung akumulasi curah hujan ekstrem harian serta memberikan tenggat waktu aman (*buffer time*) minimum 24 jam apabila terjadi kendala operasional (*breakdown*) pada unit pompa utama.



Gambar 3. Dimensi *Sump*

Saluran terbuka berfungsi untuk mengalirkan air dari *outlet* pipa menuju kolam pengendapan lumpur secara gravitasi, sehingga dilakukan rencana desai pada saluran terbuka untuk menjaga kontinuitas aliran, mencegah terjadinya erosi pada dinding saluran, serta memastikan air yang mengandung partikel sedimen dan dialirkan secara efektif menuju kolam pengendapan untuk proses sedimentasi lebih lanjut. Adapun rekomendasi desain saluran terbuka pada pit A1B Timur dan Barat pada Tabel 12.

Pengolahan kualitas air tambang sebelum dialirkan ke badan air penerima dilakukan melalui Kolam Pengendapan Lumpur (KPL). Berdasarkan perhitungan debit dan volume padatan tersuspensi (*total suspended solids*), diperoleh spesifikasi desain KPL di pit A1B Barat berukuran 78 m × 42 m × 5 m, sedangkan di pit A1B Timur 75 m × 40 m × 5 m. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa persentase padatan dalam air pada kedua pit sebesar 0,0002%, dengan persentase air sebesar 99,98%. Waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap adalah 2.579,98 detik atau sekitar 86 menit. Pada Pit A1B Timur, persentase pengendapan mencapai 99,29% dengan estimasi waktu penggerukan selama 787 hari atau sekitar 26 bulan. Sementara itu, pada Pit A1B Barat, persentase pengendapan sebesar 99,09% dengan estimasi waktu penggerukan selama 690 hari atau sekitar 23 bulan.

Tabel 12. Rekomendasi Dimensi Saluran Terbuka Pit A1B Timur

Komponen Saluran	Nilai		Satuan
	Pit A1B Timur	Pit A1B Barat	
Lebar dasar saluran (b)	0,4	0,32	m
Luas penampang dasar saluran (A)	0,09	0,07	m ²
Lebar permukaan saluran (B)	0,6	0,55	m
Kedalaman saluran (h)	0,2	0,23	m
Kemiringan dinding saluran (Θ)	60	60	°
Panjang sisi miring saluran (a)	0,2	0,24	m
Tinggi jagaan saluran (f)	0,034	0,031	m
Kedalaman penampang aliran (d)	0,22	0,204	m

Biaya Operasional Pemompaan

Analisis biaya operasional pemompaan (*operational cost*) difokuskan pada konsumsi bahan bakar minyak (solar) selama proses pengurasan berlangsung. Hal ini disebabkan komponen biaya sewa unit pompa (Rp. 33.300.000/ unit/ bulan), biaya perawatan (*maintenance*), penyediaan *sparepart*, serta jasa teknisi pemeliharaan telah ditanggung penuh dalam kontrak skema sewa alat.

Tabel 13. Jumlah dan Biaya Penggunaan Solar dalam Proses Pemompaan Void Tambang

Lokasi	Kode Pompa	Konsumsi Solar (L/jam)	Harga Solar/ L	Jam kerja/ Hari	Biaya/Hari (Rp)	Hari kerja	Biaya Pengeringan (Rp)
Pit	WP-04	25,3	16.337,21	20	8.266.628,26		520.797.580,38
A1B	WP-05	42,8	16.337,21	20	13.984.651,76	63	881.033.060,88
Timur	Total biaya pemompaan				22.251.280,02		1.401.830.641,26
Pit	WP-02	27,8	16.337,21	20	9.083.488,76		717.595.612,04
A1B	WP-05	42,3	16.337,21	20	13.821.279,66	79	1.091.881.093,14
Barat	Total biaya pemompaan				22.904.768,42		1.809.476.705,18

Biaya keseluruhan bahan bakar selama proses pemompaan pit A1B Timur adalah sebesar Rp 1.401.830.641,26 dan ditambahkan dengan biaya *maintenance* selama 63 hari sebesar Rp 69.300.000,00 maka biaya keseluruhan pemompaan pit A1B Timur sebesar Rp 1.471.130.641,26. Sedangkan untuk pit A1B Barat biaya keseluruhan bahan bakar yaitu sebesar Rp 1.809.476.705,18 ditambahkan dengan biaya *maintenance* selama 79 hari sebesar Rp 86.900.000,00 maka biaya keseluruhan untuk pemompaan pada pit A1B Barat sebesar Rp 1.896.376.705,18.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kondisi *void* pit A1B Timur memiliki volume genangan air sebesar 639.112,8 m³ (elevasi dasar 24 mdpl dan muka air 51 mdpl) dengan debit air 3.405,73 m³/ hari, sedangkan pit A1B Barat memiliki volume genangan sebesar 831.552,9 m³ (elevasi dasar 27 mdpl dan muka air 57 mdpl) dengan debit air masuk sebesar 4.290,45 m³/ hari. Untuk menguras genangan air secara efektif, strategi operasional pemompaan direkomendasikan menggunakan kombinasi dua unit pompa pada masing-masing pit, yaitu unit WP-05 (H = 68 m, Q = 290 m³/ jam) dan WP-04 (H = 83 m, Q = 393 m³/ jam) pada pit A1B Timur dengan estimasi waktu pengurasan 63 hari ($\pm$ 2 bulan), serta unit WP-05 (H = 58 m, Q = 330 m³/ jam) dan WP-02 (H = 64 m, Q = 376 m³/ jam) pada pit A1B Barat dengan waktu pengurasan 79 hari ($\pm$ 2,6 bulan). Penanganan air tambang pasca-pengurasan ditunjang oleh perancangan *sump* trapesium berkapasitas 18.771 m³ (67 m x 67 m bagian atas, 57 m x 57 m bagian dasar dan kedalaman 5 m). Pengoperasian dua kombinasi pompa ini terbukti menjadi pilihan paling efisien dalam mempercepat durasi pengeringan dan mengoptimalkan konsumsi bahan bakar, dengan total biaya operasional pemompaan sebesar Rp 1.471.130.641,26 untuk pit A1B Timur dan Rp 1.896.376.705,18 untuk pit A1B Barat.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Memaksimalkan kinerja kemampuan pompa dengan cara menaikkan rpm sesuai dengan kemampuan berdasarkan spesifikasi.
2. Melakukan *maintanance* berkala baik untuk peralatan pompa, pipa, *sump* saluran terbuka, dan kolam pengendapan lumpur.
3. Buat grafik *drawdown* muka air dan waktu untuk mengevaluasi apakah kinerja sesuai dengan perencanaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Astaka Dodol yang telah memfasilitasi dan mendukung penuh keberlangsungan kegiatan penelitian ini. Saya juga menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Jambi serta dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan ilmu dan membimbing saya dari tahap awal hingga penyusunan publikasi ilmiah ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Binolombangan, A. A., Purnomo, H., & Rande, S. A. (2023). Analisis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Pada Penambangan Batubara Area Block A PT Minemex Indonesia Site Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII*, 303-316.
- [2] Gautama, R. S. (1999). *Sitem Penyaliran Tambang*. Bandung: ITB PRESS.
- [3] Ikrimah, L. (2024). Menyelami Proses Siklus Hidrologi Dalam Pengelolaan Sumber Daya Air : Pentingnya Bagi Kehidupan. *Maliki Interdisciplinary Journal (MU)*, Vol.2, 1012-1018.
- [4] Islamiaty, A., Saismana, U., & Riswan. (2021). Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang Pada PT Akbar Mitra Jaya Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal HIMASAPTA*, Vol.6, No.3, 127-132.
- [5] Brutsaert, W. (2023). *Hydrology An Introduction* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316471562>.
- [6] Pratama, S. P., & Kasim, T. (2018). Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bawah Tanah Seam C1 Block Timur Site Sapan Dalam PT Nusa Alam Lestari Desa Salak, Sapan Dalam, Kota Sawahluntu, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*.
- [7] Putri, F. A. (2020). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara pada Tambang Terbuka di PT X. *Jurnal IPTEK*, Vol.24, No.1, 59-66.
- [8] Rosadi, P. E., & Irawan, A. B. (2026). Perbandingan dan Pemilihan Metode Distribusi Probabilitas Dalam Perhitungan Nilai Curah Hujan Rencana Di Tambang Batubara PT Madhani Talatah Nusantara. *Jurnal Teknologi Pertambangan Vol.11, No.2*, 73-80.
- [9] Saidah, H., Nur, N. K., Rangan, P. R., Mukrim, M. I., Tamrin, Tumpu, M., et al. (2021). *Drainase Perkotaan*. Medan: Penerbit Yayasan Kita Menulis.
- [10] Sepniko, R., MS, M., & Anapetra, Y. M. (2017). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Pada Penambanngan Batubara Block B PT Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.3, No.4, 1456-1470.
- [11] Soemarto, C. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- [12] Sularso, & Tahara, H. (1983). *Pompa & Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [13] Suripin. (2004). *Teknik Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Bravopress .
- [14] Syaifullah, A., & Kasim, T. (2019). Evaluasi Sistem Penyaliran Batubara Pada Pit Block B di PT Minemex Indonesia Kabupaten Sarolangun, Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.4, No.1.
- [15] Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Gadjah Mada University Press.