

KAJIAN DAN RANCANGAN SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA TAMBANG TERBUKA DENGAN STUDI KASUS EXTREME RAINFALL

Rafif Mahrus Khalik¹, Tedy Agung Cahyadia², Nur Ali Amri³, Agris Setiawan⁴

^{1/2/3/4}UPN “Veteran” Yogyakarta

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta,

Jl. Padjajaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283 Indonesia

email: tedyagung@upnyk.ac.id; nuraliamri@upnyk.ac.id

SUMMARY

Research on coal mining that uses an open mining system shows that during the rainy season with high rainfall intensity it causes stagnant water in the mining area that cannot be flowed out of the area. The purpose of this study is to analyze rainfall and to assess and design a mine drainage system per mine progress. The method used to calculate the planned rainfall, the discharge of runoff water that enters the open channel, sump, and settling pond, namely using the Modified Gumbell, Mononobe, Empirical and Rational methods. Based on the research, founded that the planned rainfall was 285.03 mm with a return period of rain of 8 years and a hydrological risk of 86.51%. The rain catchment area and runoff discharge are getting bigger every year because the mine openings are getting wider. Water that enters the mining area is collected using a well then flowed using a pump through an open channel to a settling pond. The pump planning used is Multiflo 420EX with a maximum discharge capacity of 440 l/ second. The need for the number of pumps and wells per mining progress continues to increase because the flow of incoming runoff is getting bigger.

RINGKASAN

Penelitian pada pertambangan batubara yang menggunakan sistem penambangan terbuka menunjukkan saat musim hujan dengan intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan genangan air pada area penambangan yang tidak dapat dialirkan keluar dari area tersebut. Tujuan penelitian ini menganalisis curah hujan serta mengkaji dan merancang sistem penyaliran tambang per kemajuan tambang. Metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rencana, debit air limpasan yang masuk ke saluran terbuka, sumuran (sump), dan kolam pengendapan, yaitu menggunakan metode Modifikasi Gumbell, Mononobe, Empiris dan Rasional. Berdasarkan penelitian didapatkan curah hujan rencana 285,03 mm dengan periode ulang hujan 8 tahun dan risiko hidrologi 86,51%. Daerah tangkapan hujan dan debit air limpasan setiap tahunnya semakin besar karena luas bukaan tambang semakin luas. Air yang masuk ke area penambangan ditampung menggunakan sumuran kemudian dialirkan menggunakan pompa melalui saluran terbuka menuju kolam pengendapan. Perencanaan pompa yang digunakan yaitu Multiflo 420EX dengan kapasitas debit maksimal 440 l/detik. Kebutuhan jumlah pompa dan sumuran per kemajuan tambang terus bertambah karena debit air limpasan yang masuk semakin besar.

I. PENGANTAR

Perusahaan pertambangan yang menggunakan sistem tambang terbuka akan berhubungan langsung dengan udara luar sehingga pada saat hujan air akan masuk ke area penambangan [1]. Air permukaan dan air tanah merupakan sumber utama air yang memasuki wilayah pertambangan [2]. Tingginya curah hujan yang masuk kedalam area tambang dapat mempengaruhi kegiatan penambangan, sehingga diperlukannya kajian sistem penyaliran untuk penanganan air yang masuk pada area tambang [3]. Sistem yang digunakan untuk mengeluarkan air dari area pertambangan disebut sistem penyaliran tambang [4, 5].

Masalah yang terjadi pada perusahaan pertambangan yang menggunakan sistem tambang terbuka yaitu pada saat musim hujan

dengan intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan timbulnya genangan air pada *front* penambangan yang tidak dapat dialirkan keluar dari area tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan kajian mengenai sistem penyaliran tambang terhadap debit air limpasan, dimensi saluran terbuka, sumuran, dan kolam pengendapan, serta sistem pemompaan dan pemipaan. Dengan adanya kajian sistem penyaliran tambang ini diharapkan dapat membuat kegiatan penambangan dapat berjalan dengan baik dan lancar serta target produksi dapat terpenuhi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis curah hujan serta mengkaji dan merancang sistem penyaliran tambang yang meliputi saluran terbuka, sumuran, pompa, pipa, dan kolam pengendapan.

II. TINJAUAN LITERATUR

Penangan masalah air dalam suatu tambang terbuka dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. *Mine Drainage*

Mine drainage merupakan upaya yang diterapkan pada suatu wilayah penambangan untuk mencegah air masuk ke dalam wilayah penambangan. Upaya ini dimaksudkan untuk mencegah terganggunya kegiatan penambangan akibat jumlah air yang berlebihan, terutama pada musim hujan. Sistem drainase tambang ini juga ditujukan untuk memperlambat kerusakan peralatan dan peralatan mesin yang digunakan di daerah tersebut memiliki umur yang panjang [6].

2. *Mine Dewatering*

Mine dewatering merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang masuk ke area penambangan sehingga proses penambangan dapat dilakukan dengan aman. Tujuan utama dari upaya ini adalah mengolah air yang bersumber dari air hujan, air tanah, dan air yang dihasilkan dari kegiatan penambangan[7].

A. Curah Hujan

Penentuan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapat nilai curah hujan rencana. Curah hujan rencana tersebut dapat menjadi dasar dalam merancang sistem penyaliran tambang. Data curah hujan yang akan dianalisa adalah curah hujan maksimum dalam satu tahun dalam beberapa tahun terakhir [8]

Pengolahan data curah hujan menggunakan metode Modifikasi *Gumbell*, metode *Gumbell* adalah suatu metode yang didasarkan atas distribusi normal (distribusi harga ekstrim). *Gumbell* beranggapan bahwa distribusi variabel-variabel hidrologis tidak terbatas, sehingga harus digunakan distribusi harga – harga yang terbesar [9]. Dalam menghitung curah hujan rencana menggunakan metode *Gumbell* umumnya menggunakan curah hujan harian rata-rata sedangkan dalam metode Modifikasi *Gumbell* menggunakan curah hujan harian maksimal. Persamaan Modifikasi *Gumbell* adalah sebagai berikut :

$$X_t = X_{maks} + \frac{SD}{Sn} (Y_t - Y_n) \quad (1)$$

Keterangan :

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

X_{maks} = curah hujan harian maksimal (mm/hari)

SD = Standart deviation

Sn = Reduce standart deviation

Y_t = Reduce variate

Y_n = Reduce mean

Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satuan waktu dan disebut intensitas hujan. jadi intensitas hujan yaitu jumlah hujan per satuan waktu yang relatif singkat, biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Penentuan intensitas curah hujan menggunakan rumus mononobe, karena menggunakan data curah hujan harian [10].

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

Keterangan :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

T = waktu (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum (mm)

B. Air Limpasan

Air limpasan adalah air yang mengalir akibat hujan dan bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah sebelum mencapai saluran terbuka. Debit limpasan yang akan masuk ke *pit* dihitung dengan menggunakan parameter waktu konsentrasi, intensitas curah hujan, koefisien air limpasan dan *catchment area*. Perhitungan debit air limpasan menggunakan persamaan rasional untuk mengetahui besarnya debit air limpasan [4].

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A \quad (3)$$

Keterangan :

Q = debit limpasan (m³/det)

C = koefisien limpasan

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah limpasan (km²)

Koefisien air limpasan adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah dan curah hujan. Koefisien limpasan dapat ditentukan berdasarkan pengamatan di lapangan yang tergantung pada keadaan tanah, jenis tanaman dan vegetasi [11]. Dari hasil pengamatan kemudian di sesuaikan dengan Tabel koefisien limpasan menurut [8] dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa Harga Koefisien Limpasan [8]

Kemiringan Lahan	Kegunaan Lahan	Koefisien Limpasan
Datar	Persawahan rawa-rawa	0,2
Kemiringan < 3%	Hutan, perkebunan	0,3
	Pemukiman	0,4
Agak miring (3-15%)	Hutan, perkebunan	0,4
	Pemukiman	0,5
	Vegetasi ringan	0,6
	Tanah gundul	0,7
Curam	Hutan	0,6
	Pemukiman	0,7
Kemiringan > 15%	Vegetasi ringan	0,8
	Tanah gundul, penambangan	0,9

C. Sistem Penyaliran Tambang

1. Saluran Terbuka

Saluran terbuka yaitu saluran yang dibuat untuk menampung air limpasan permukaan dari air hujan suatu daerah [1] dan mengalirkannya ke tempat pengumpulan air seperti sumuran, badan sungai, atau tempat lainnya. Dalam merancang bentuk dan dimensi saluran terbuka hal yang harus diperhatikan yaitu, saluran tersebut harus dapat mengaliri air yang direncanakan, mudah dalam pembuatannya, sesuai dengan arah aliran air limpasan (*run off*) dan sesuai topografi dari daerah tersebut seta ekonomis dan efektif pada bentuk dan dimensinya. Perhitungan kapasitas pengaliran atau besar debit limpasan suatu saluran terbuka dapat dihitung menggunakan rumus *Manning*, yaitu :

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times S^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

Keterangan :

Q = debit pengaliran maksimum (m³/det)

A = luas penampang (m²)

S = kemiringan dasar saluran (%)

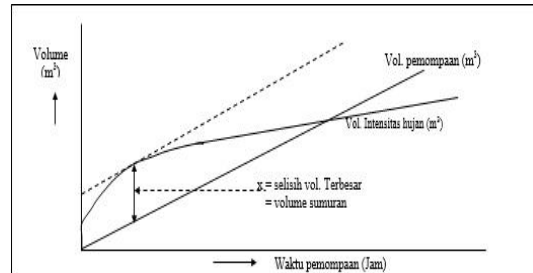
R = jari-jari hidrolis (m)

n = koefisien kekasaran dinding saluran menurut *Manning*

2. Sumuran

Sumuran berfungsi sebagai penampung air sebelum dipompa ke luar area tambang. Dengan demikian, dimensi sumuran sangat tergantung dari jumlah air yang masuk serta keluar dari sumuran. Jumlah air yang masuk ke dalam sumuran berasal dari air limpasan yang langsung masuk ke dalam *pit* yang kemudian dialirkan

melalui saluran terbuka menuju sumuran. Air yang telah tertampung di sumuran kemudian dikeluarkan menggunakan pompa menuju ke luar area *pit*. Volume sumuran dapat dihitung dengan menggabungkan grafik intensitas hujan yang dihitung dengan teori *Mononobe* versus waktu dan grafik debit pemompaan versus waktu tercantum pada GAMBAR 1 [8].



Gambar 1. Grafik Penentuan Volume Sumuran

3. Kolam Pengendapan

Kolam pengendapan adalah suatu daerah yang dibuat khusus untuk menampung air limpasan sebelum dibuang langsung menuju daerah pengaliran umum. Sedangkan kolam pengendapan untuk daerah penambangan atau biasa disebut WMP (*Water Monitoring Point*) adalah kolam yang dibuat untuk menampung dan mengendapkan air limpasan yang berasal dari area tambang maupun daerah sekitar tambang. Nantinya, air tersebut akan dialirkan kembali ke sungai atau danau [10].

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

$$V_t = \frac{g \times D^2 \times (\rho_v - \rho_a)}{18 \times \mu} \quad (5)$$

Keterangan :

V_t = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)

G = Percepatan gravitasi (m/detik²)

ρ_v = Berat jenis partikel padatan (kg/m³)

ρ_a = Berat jenis air (kg/m³)

μ = Kekentalan dinamik air (kg/m.detik)

D = Diameter partikel padatan (m)

Perhitungan persentase pengendapan ini bertujuan untuk mengetahui apakah kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan tambang.

$$P_v = \frac{\text{waktu yang dibutuhkan air keluar}}{(\text{waktu yang dibutuhkan air keluar} + \text{waktu pengendapan})} \times 100\% \quad (6)$$

Luas kolam pengendapan dapat dihitung menggunakan rumus :

$$A = \frac{Q_{total}}{V_t} \quad (7)$$

Keterangan :

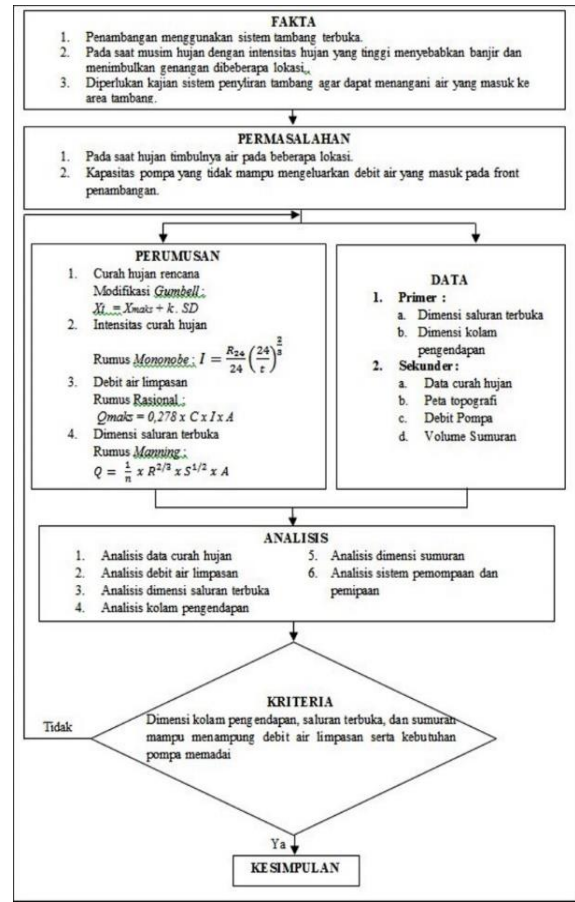
- A = Luas kolam pengendapan (m²)
- Q_{total} = Debit air yang masuk kolam pengendapan (m³/detik)
- V_t = Kecepatan pengendapan (m/dtk)

Waktu pengerukan kolam pengendapan sangat penting dalam hasil pengendapan material padatan dari tambang sebelum dibuang ke sungai. Apabila dilakukan pengerukan yang rutin, maka presentase pengendapan material padatan dari tambang dapat terjaga. Perhitungan waktu pengerukan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$T = \frac{\text{volume kolam pengendapan}}{\text{volume padatan}} \quad (8)$$

III. METODOLOGI

Metode penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa tahapan. Tahap yang pertama adalah menentukan fakta-fakta yang ditemukan di lokasi penelitian, selanjutnya mencari permasalahan yang dihadapi di lokasi penelitian, selanjutnya menentukan perumusan masalah dan pengambilan data primer dan sekunder yang dibutuhkan, kemudian dilakukan analisis penelitian serta penentuan kriteria, dan tahap yang terakhir jika hasil analisis sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan maka perlu dibuat kesimpulan terhadap hasil analisis yang sudah dilakukan. Metode penelitian dapat dilihat secara detail pada gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Penelitian

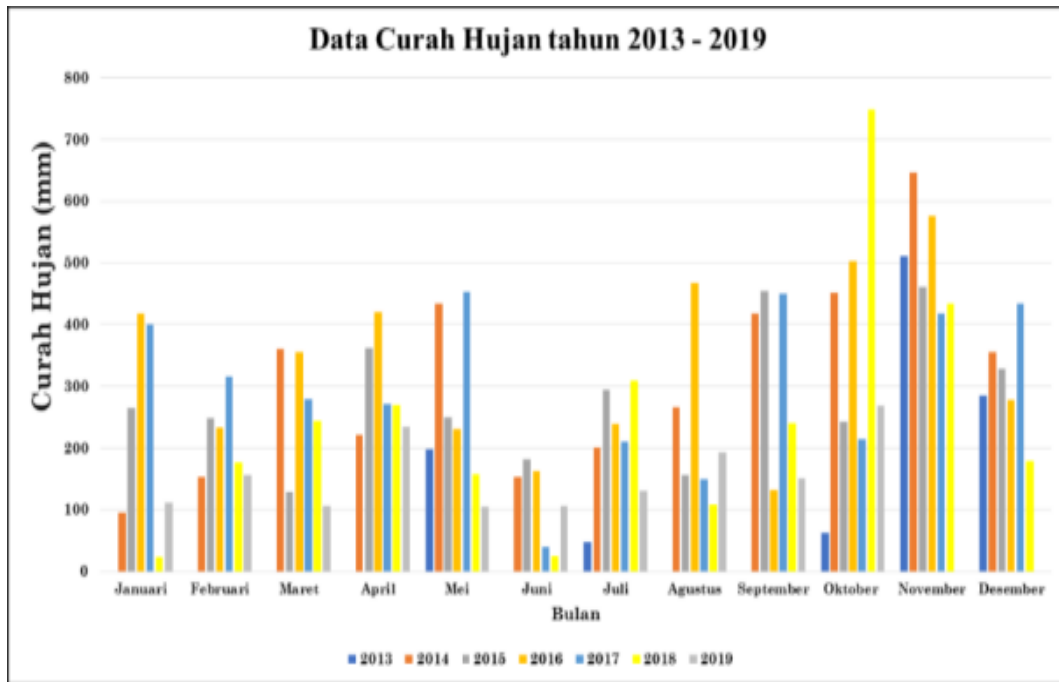
IV. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian di lapangan dilakukan berdasarkan beberapa tahapan, diawali dengan observasi lapangan dimana pada tahap ini dilakukan pengamatan langsung di lapangan terhadap lokasi-lokasi yang mengalami banjir pada saat musim hujan dan juga dilakukan pengamatan terkait kondisi teknis sistem penyaliran yang meliputi saluran terbuka, sumuran, kolam pengendapan, sistem pemompaan dan pemipaan. Tahap selanjutnya yaitu pengambilan data lapangan, untuk data primer dilakukan pengukuran dimensi saluran terbuka dan kolam pengendapan. Untuk data sekunder yaitu, data curah hujan, peta topografi, volume sumuran dan debit pompa didapatkan melalui data yang dimiliki oleh perusahaan. Dari data primer dan sekunder yang ada, tahapan selanjutnya yaitu dilakukan pengolahan dan analisis data menggunakan metode-metode yang sudah ditentukan berdasarkan studi literatur atau penelitian sejenis. Sehingga didapatkan hasil pengolahan dan analisis data sebagai berikut:

A. Analisis Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan berasal dari lokasi penelitian, selama 7 tahun (2013-2019). Curah hujan tiap tahunnya memiliki intensitas yang berbeda. Intensitas curah hujan

tertinggi terdapat pada tahun 2018 pada bulan oktober yaitu sebesar 748 mm, dan untuk curah hujan dengan intensitas terendah terdapat pada tahun 2018 pada bulan januari dan juni yaitu sebesar 24 mm. Lebih jelas mengenai grafik curah hujan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan Tahunan

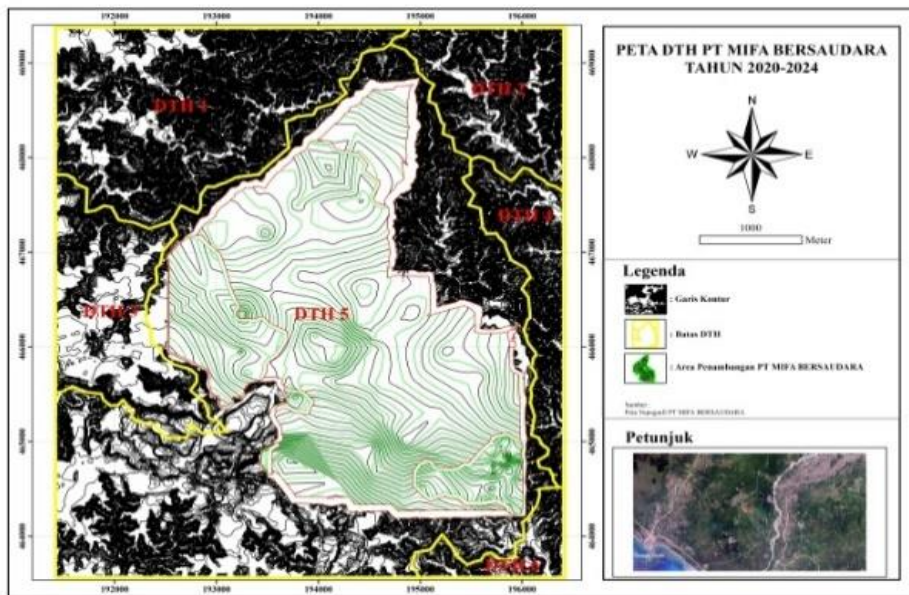
Dari data tersebut didapatkan curah hujan harian maksimum sebesar 193 mm/hari. Curah hujan harian maksimum digunakan untuk menghitung data curah hujan rencana. Curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan rumus dari persamaan Modifikasi *Gumbell*, sebelumnya dilakukan terlebih dahulu penentuan resiko hidrologi untuk mendapatkan periode ulang hujan. Dari data yang sudah ada diperoleh curah hujan rencana yaitu sebesar 285,03 mm/hari dengan resiko hidrologi sebesar 86,51 % dan periode ulang hujan 8 tahun. Setelah mendapatkan besaran curah hujan rencana maka dilakukan perhitungan intensitas curah hujan menggunakan rumus *Mononobe*. Pada lokasi penelitian rata-rata durasi hujan adalah 3,19 jam sehingga nilai intensitas curah hujan rencana yang didapatkan adalah 45,54 mm/jam.

B. Prediksi Empiris Kuantitas Air Permukaan

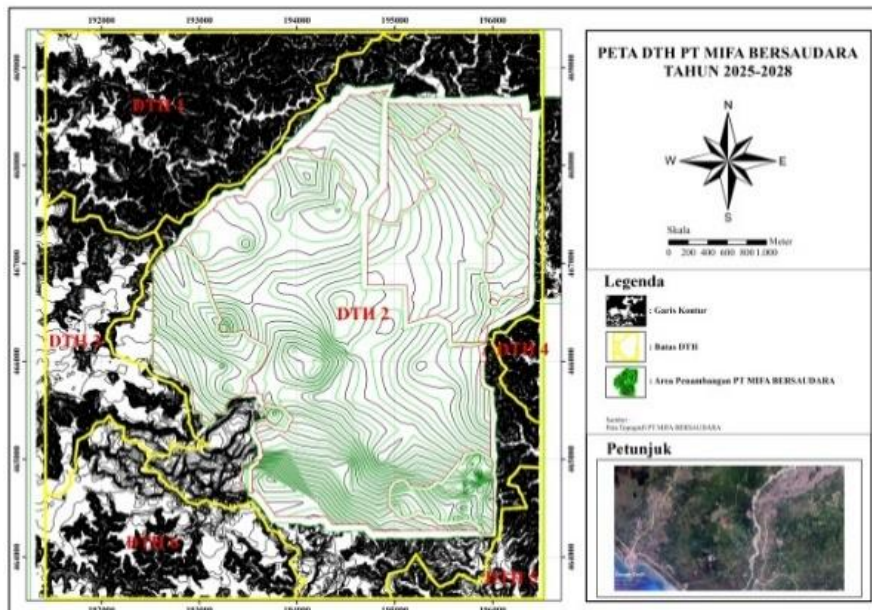
Daerah tangkapan hujan (DTH) adalah luas permukaan apabila terjadi hujan, maka air hujan tersebut akan mengalir dari daerah yang lebih tinggi menuju ke titik terendah. Penentuan daerah tangkapan hujan dilakukan dengan cara menghubungkan titik-titik kontur tertinggi disekeliling bukaan tambang membentuk poligon tertutup dengan melihat kemungkinan arah aliran air. daerah tangkapan hujan berbeda-beda setiap tahunnya karena mengikuti kemajuan penambangan. Luas masing-masing daerah tangkapan hujan per kemajuan tambang dapat dilihat pada Tabel 2 dan penentuan daerah tangkapan hujan per kemajuan tambang dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Luas Daerah Tangkapan Hujan per Kemajuan Tambang
 Luas Daerah Tangkapan Hujan per Kemajuan Tambang

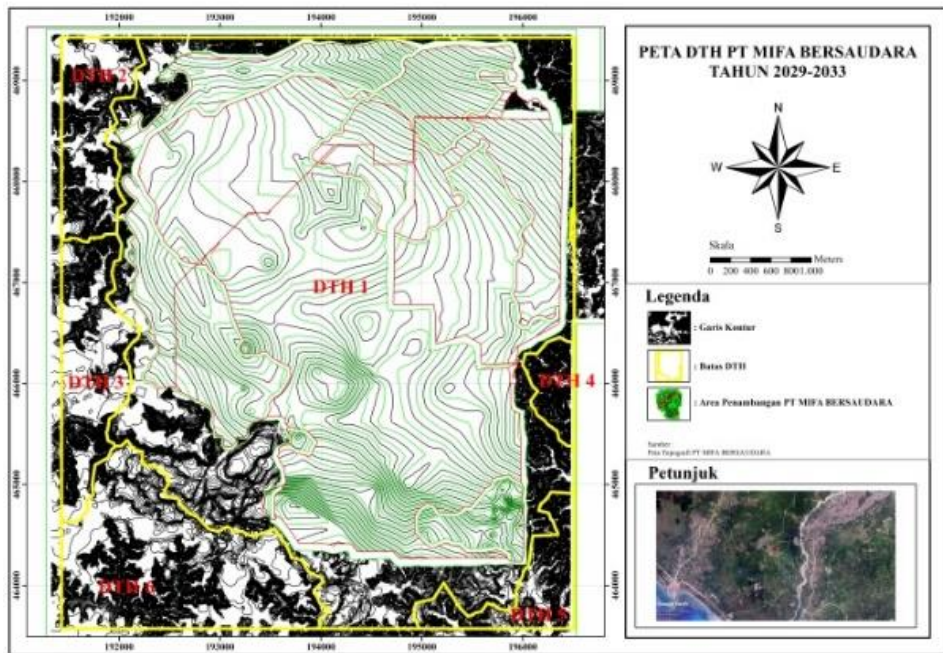
No	Lokasi	Luas Daerah Tangkapan Hujan per Kemajuan Tambang (km ²)				LOM
		2020-2024	2025-2028	2029-2033	2034-2035	
1	DTH 1	4,70	4,78	22,85	25,94	27,25
2	DTH 2	1,99	17,84	1,21	1,07	0,99
3	DTH 3	2,40	2,59	1,46	0,90	1,15
4	DTH 4	1,47	0,37	0,37	0,25	0,26
5	DTH 5	17,87	0,82	0,83	1,56	0,31
6	DTH 6	0,63	3,02	3,02	0,74	0,75
Total		29,07	29,43	29,74	30,46	30,70



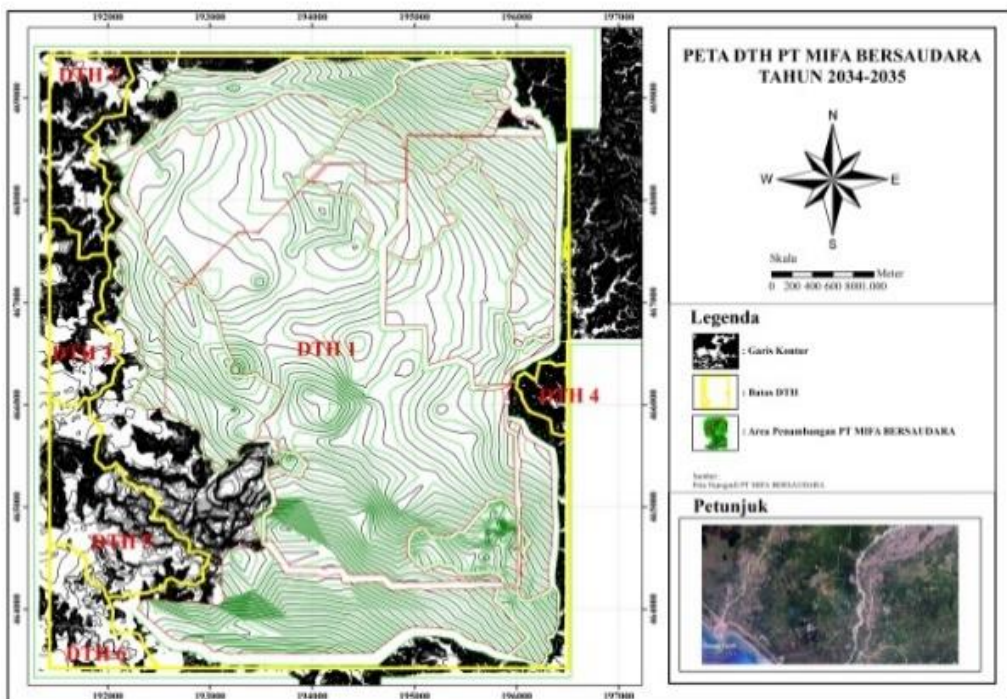
(a)



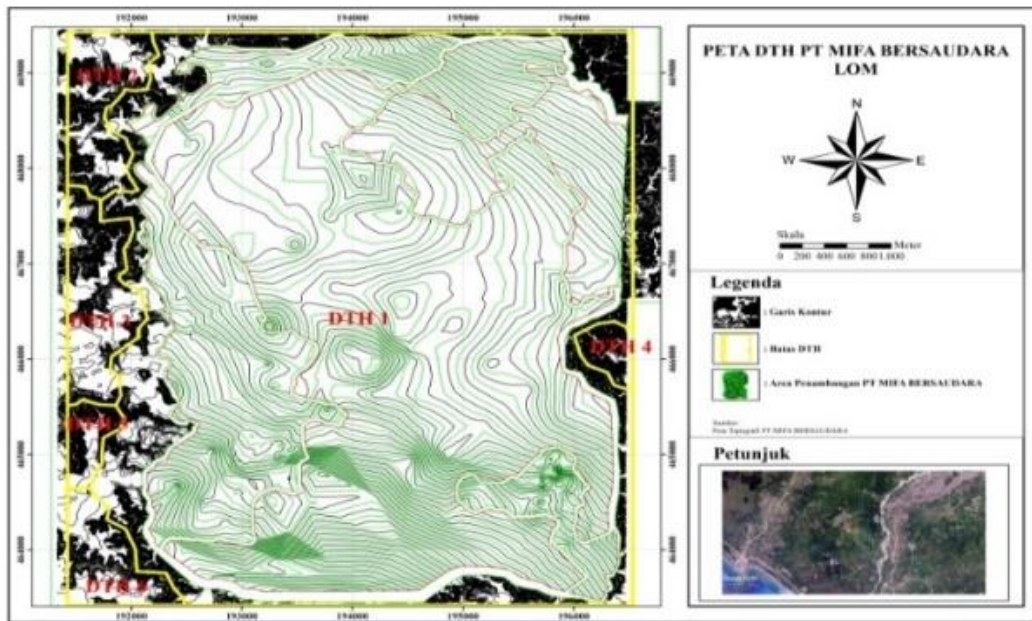
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. Daerah Tangkapan Hujan Tahun 2020-2024 (a) 2025-2028 (b) 2029-2033 (c) 2034-2035(d) LOM (e)

Debit air limpasan dihitung dengan menggunakan rumus rasional, parameter untuk mendapatkan debit air limpasan yaitu intensitas curah hujan, luas daerah tangkapan hujan dan nilai koefisien limpasan. Besarnya debit air limpasan pada masing-masing daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 3 sampai Tabel 7.

Tabel 3. Perhitungan Debit Air Limpasan Tahun 2020-2024

Debit Air Limpasan Tahun 2020-2024						
No	Lokasi	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (I) (mm/jam)	Luas Bukaannya (A) (km ²)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /jam)
1	DTH 1	0,6	45,54	4,70	35,74	128.647,55
2	DTH 2	0,6	45,54	1,99	15,13	54.478,33
3	DTH 3	0,6	45,54	2,40	18,27	65.764,31
4	DTH 4	0,6	45,54	1,47	11,15	40.130,63
5	DTH 5	0,9	45,54	17,87	203,66	733.166,02
6	DTH 6	0,4	45,54	0,63	3,20	11.535,89

Tabel 4. Perhitungan Debit Air Limpasan Tahun 2025-2028

Debit Air Limpasan Tahun 2025-2028						
No	Lokasi	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (I) (mm/jam)	Luas Bukaannya (A) (km ²)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /jam)
1	DTH 1	0,6	45,54	4,78	36,31	130.731,40
2	DTH 2	0,9	45,54	17,84	203,32	731.968,50
3	DTH 3	0,6	45,54	2,59	19,67	70.822,49
4	DTH 4	0,6	45,54	0,37	2,83	10.193,21
5	DTH 5	0,4	45,54	0,82	4,18	15.039,85
6	DTH 6	0,4	45,54	3,02	15,30	55.097,89

Tabel 5. Perhitungan Debit Air Limpasan Tahun 2029-2033

Debit Air Limpasan Tahun 2029-2033						
No	Lokasi	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (I) (mm/jam)	Luas Bukaannya (A) (km ²)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /jam)
1	DTH 1	0,9	45,54	22,85	260,40	937.443,04
2	DTH 2	0,6	45,54	1,21	9,20	33.103,61
3	DTH 3	0,6	45,54	1,46	11,06	39.829,13
4	DTH 4	0,6	45,54	0,37	2,83	10.204,61
5	DTH 5	0,4	45,54	0,83	4,19	15.082,24
6	DTH 6	0,4	45,54	3,02	15,31	55.102,21

Tabel 6. Perhitungan Debit Air Limpasan Tahun 2034-2035

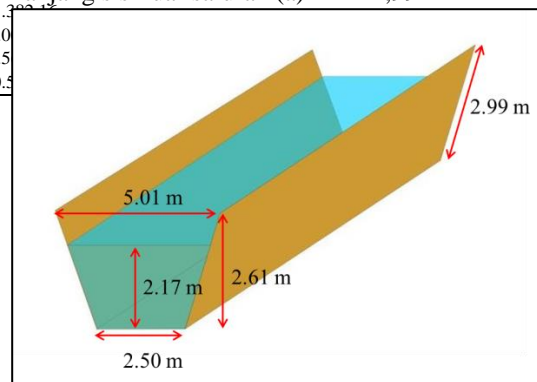
Debit Air Limpasan Tahun 2034-2035						
No	Lokasi	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (I) (mm/jam)	Luas Bukaannya (A) (km ²)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /jam)
1	DTH 1	0,9	45,54	25,94	295,56	1.064.005,00
2	DTH 2	0,6	45,54	1,07	8,16	29.374,83
3	DTH 3	0,6	45,54	0,90	6,86	24.704,28
4	DTH 4	0,6	45,54	0,25	1,87	6.715,65
5	DTH 5	0,6	45,54	1,56	11,85	42.672,68
6	DTH 6	0,6	45,54	0,74	5,63	20.273,11

Tabel 7. Perhitungan Debit Air Limpasan Tahun LOM

Debit Air Limpasan Tahun LOM						
No	Lokasi	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (I) (mm/jam)	Luas Bukaannya (A) (km ²)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /jam)
1	DTH 1	0,9	45,54	27,25	310,47	1.117.705,24
2	DTH 2	0,6	45,54	0,99	7,51	27.066,85
3	DTH 3	0,6	45,54	1,15	8,72	31.302,12
4	DTH 4	0,6	45,54	0,26	1,95	7.013,22
5	DTH 5	0,6	45,54	0,31	2,38	8.534,22
6	DTH 6	0,6	45,54	0,75	5,70	20.523,11

Gambar 5 dan hasil perhitungan dimensi saluran terbuka timur dan *coal getting* timur sebagai berikut:

- Kedalaman air (d) = 2,17 m
- Kedalaman saluran (h) = 2,61 m
- Jarak dasar saluran (b) = 2,50 m
- Lebar permukaan (B) = 5,01 m
- Panjang sisi luar saluran (a) = 2,99 m



Gambar 5. Dimensi Saluran Terbuka Timur dan *Coal Getting* Timur

C. Kajian Infrastruktur Sarana

Penirisan Tambang

1. Saluran Terbuka

Saluran terbuka yang direncanakan adalah berbentuk trapesium, kemiringan dinding saluran 60°, dan tinggi jagaan adalah 20% dari kedalaman aliran. Berikut hasil rancangan dimensi masing-masing saluran terbuka:

a. Saluran Terbuka Timur dan *Coal Getting* Timur

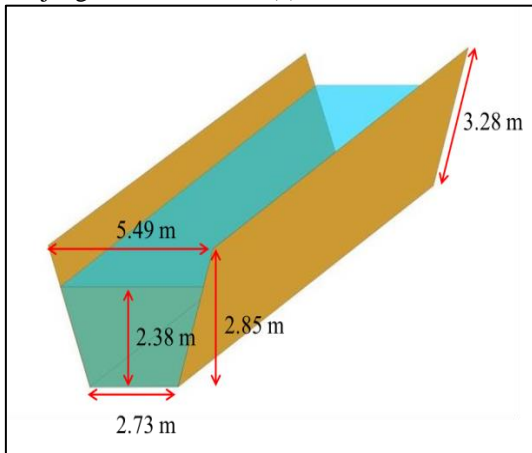
Debit yang masuk ke saluran terbuka berasal dari DTH 4 dan 6 dengan debit 14,35 m³/detik. Dinding saluran terbuat dari tanah tanpa ada penyemenan, sehingga koefisien kekasaran manning yang digunakan adalah 0,03. Rancangan saluran terbuka dapat dilihat pada

b. Saluran Terbuka Barat

Debit yang masuk ke saluran terbuka berasal dari DTH 3 dengan debit 18,27 m³/detik. Dinding saluran terbuat dari tanah tanpa ada

penyemenan, sehingga koefisien kekasaran manning yang digunakan adalah 0,03. Rancangan saluran terbuka dapat dilihat pada Gambar 6 dan hasil perhitungan dimensi saluran terbuka barat sebagai berikut:

- Kedalaman air (d) = 2,38 m
- Kedalaman saluran (h) = 2,85 m
- Lebar dasar saluran (b) = 2,73 m
- Lebar permukaan (B) = 5,49 m
- Panjang sisi luar saluran (a) = 3,28 m

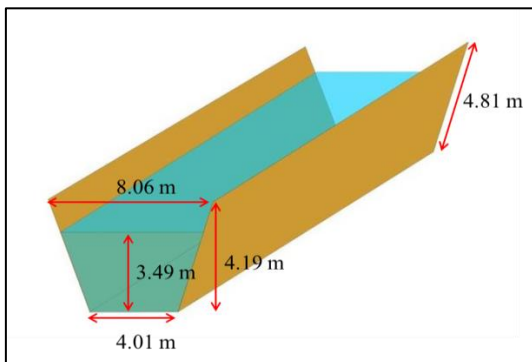


Gambar 6. Dimensi Saluran Terbuka Barat

c. Saluran Terbuka Utara

Debit yang masuk ke saluran terbuka berasal dari DTH 1 dan 2 dengan debit 50,87 m³/detik. Dinding saluran terbuat dari tanah tanpa ada penyemenan, sehingga koefisien kekasaran manning yang digunakan adalah 0,03. Rancangan saluran terbuka dapat dilihat pada Gambar 7 dan hasil perhitungan dimensi saluran terbuka utara sebagai berikut:

- Kedalaman air (d) = 3,49 m
- Kedalaman saluran (h) = 4,19 m
- Lebar dasar saluran (b) = 4,01 m
- Lebar permukaan (B) = 8,06 m
- Panjang sisi luar saluran (a) = 4,81 m



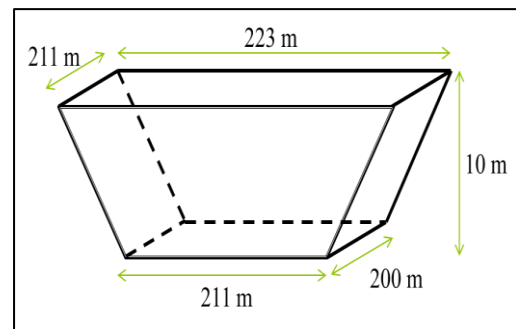
Gambar 7. Dimensi Saluran Terbuka Utara

Penentuan volume *sump* dilakukan dengan cara menggabungkan grafik antara intensitas hujan dalam kurun waktu tertentu dengan volume pompa dalam kurun waktu tertentu, sehingga akan didapatkan selisih tertinggi antara volume air limpasan dengan volume pemompaan. Selisih terbesar tersebut merupakan rekomendasi volume *sump* yang akan dibuat. Berikut hasil rancangan sumuran per kemajuan tambang:

a. Sump 2020-2024

Luasan bukaan tambang tahun 2020-2024 sebesar 10,03 km didapatkan debit air limpasan sebesar 114,26 m³/detik. Jumlah *sump* yang direncanakan sebanyak 5 *sump*, rancangan *sump* dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil perhitungan dimensi *sump* sebagai berikut:

- Panjang permukaan *sump* = 223 m
- Lebar permukaan *sump* = 211 m
- Panjang dasar *sump* = 211 m
- Lebar dasar *sump* = 200 m
- Kedalaman = 10 m
- Volume = 421.303,84 m³



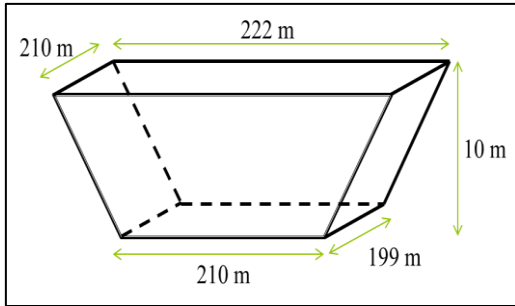
Gambar 8. Dimensi Sump Tahun 2020-2024

b. Sump 2025-2028

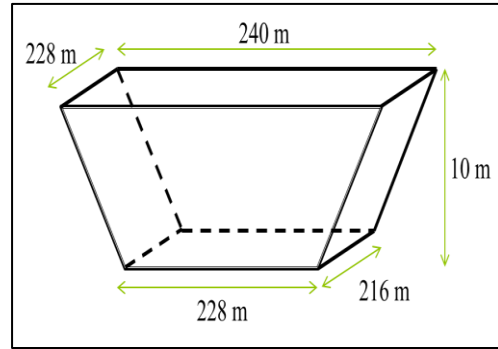
Luasan bukaan tambang tahun 2025-2028 sebesar 13,91km didapatkan debit air limpasan sebesar 158,52 m³/detik. Jumlah *sump* yang direncanakan sebanyak 7 *sump*, rancangan *sump* dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil perhitungan dimensi *sump* sebagai berikut:

- Panjang permukaan *sump* = 222 m
- Lebar permukaan *sump* = 210 m
- Panjang dasar *sump* = 210 m
- Lebar dasar *sump* = 199 m
- Kedalaman = 10 m
- Volume = 415.621,59 m³

2. Sumuran



Gambar 9. Dimensi Sump Tahun 2025-2028

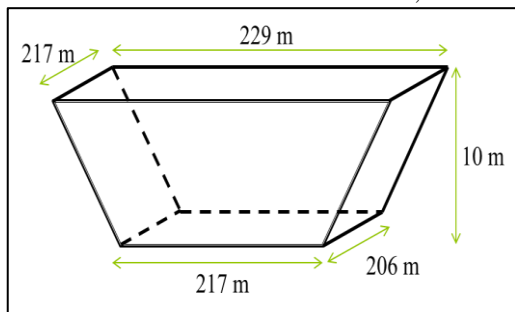


Gambar 11. Dimensi Sump Tahun 2034-2035

c. Sump 2029-2033

Luasan bukaan tambang tahun 2029-2033 sebesar 18,73 km didapatkan debit air limpasan sebesar 213,44 m³/detik. Jumlah sump yang direncanakan sebanyak 9 sump, rancangan sump dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil perhitungan dimensi sump sebagai berikut:

Panjang permukaan sump	= 229 m
Lebar permukaan sump	= 217 m
Panjang dasar sump	= 217 m
Lebar dasar sump	= 206 m
Kedalaman	= 10 m
Volume	= 445.155,92 m ³



Gambar 10. Dimensi Sump Tahun 2029-2033

d. Sump 2034-2035

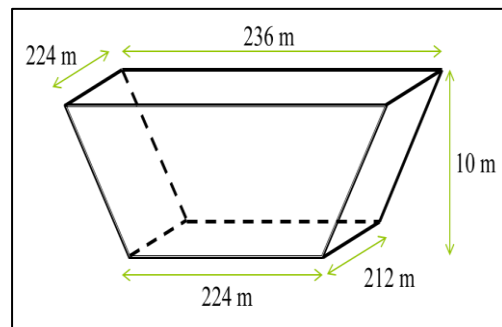
Luasan bukaan tambang tahun 2034-2035 sebesar 22,19 km didapatkan debit air limpasan sebesar 252,85 m³/detik. Jumlah sump yang direncanakan sebanyak 10 sump, rancangan sump dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil perhitungan dimensi sump sebagai berikut:

Panjang permukaan sump	= 240 m
Lebar permukaan sump	= 228 m
Panjang dasar sump	= 228 m
Lebar dasar sump	= 216 m
Kedalaman	= 10 m
Volume	= 490.066,10 m ³

e. Sump LOM

Luasan bukaan tambang LOM sebesar 23,84 km didapatkan debit air limpasan sebesar 271,67 m³/detik. Jumlah sump yang direncanakan sebanyak 11 sump, rancangan sump dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil perhitungan dimensi sump sebagai berikut:

Panjang permukaan sump	= 236 m
Lebar permukaan sump	= 224 m
Panjang dasar sump	= 224 m
Lebar dasar sump	= 212 m
Kedalaman	= 10 m
Volume	= 473.088,76 m ³



Gambar 12. Dimensi Sump LOM

3. Pompa dan Pipa

Sistem pemompaan dan pipa yang di rencanakan pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut, jenis pompa yang direncanakan menggunakan *Multiflo 420EX* (flow maksimal 440 l/s). Air pemompaan akan dialirkan menggunakan pipa hisap (*Rubber Horse*) dengan panjang 6 m kemudian keluar melalui pipa buangan *HDPE* (diameter dalam 12 inci) dengan panjang pipa terpanjang yang dibutuhkan adalah 690 m pada sump ke saluran terbuka dan beda elevasi tertinggi antara elevasi *inlet* dan elevasi *outlet* adalah 41 m. Pada pompa tersebut terdapat katup hisap yang berfungsi sebagai pelindung pompa dari kerusakan apabila terjadi arus balik, selain katup hisap diujung sambungan pipa

terdapat *reducer*. Head pompa *Multiflo 420 EX* sebagai berikut:

- Head Statis : 41 m
- Head gesekan di pipa hisap : 0,47 m
- Head gesekan di pipa keluar : 39,83 m
- Head gesekan Asesoris
- Head Katup Isap : 3,27 m
- Head Kecepatan keluar : 1,86 m
- Head Belokan : 0 m

Efisiensi pompa *Multiflo 420EX* yang dioperasikan ditentukan berdasarkan Kurva Kinerja Pompa berdasarkan efisiensi pompa. Head total pompa sebesar 86,43 meter dan debit maksimal 440,0 liter/detik, maka didapat efisiensi pompa sebesar 65 % dengan rpm 1400. Kapasitas pompa *Multiflo 420 EX* adalah sebesar 1.584 m³/jam dan waktu pemompaan 20 jam/hari, maka jumlah pompa yang dibutuhkan per kemajuan tambang sebagai berikut:

a. Jumlah Pompa Tahun 2020-2024

Tahun 2020-2024 dengan rekomendasi jumlah 5 sump, rata-rata debit air limpasan yang masuk ke masing-masing sump adalah 22,85 m³/detik, sehingga jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air limpasan pada masing-masing sump adalah 3 pompa sehingga total 15 pompa yang dibutuhkan.

b. Jumlah Pompa Tahun 2025-2028

Tahun 2025-2028 dengan rekomendasi jumlah 7 sump, rata-rata debit air limpasan yang masuk ke masing-masing sump adalah 22,65 m³/detik, sehingga jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air limpasan pada masing-masing sump adalah 3 pompa sehingga total 21 pompa yang dibutuhkan.

c. Jumlah Pompa Tahun 2029-2033

Tahun 2029-2033 dengan rekomendasi jumlah 9 sump, rata-rata debit air limpasan yang masuk ke masing-masing sump adalah 23,72 m³/detik, sehingga jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air limpasan pada masing-masing sump adalah 3 pompa sehingga total 27 pompa yang dibutuhkan.

d. Jumlah Pompa Tahun 2034-2035

Tahun 2034-2035 dengan rekomendasi jumlah 10 sump, rata-rata debit air limpasan yang masuk ke masing-masing sump adalah 25,29 m³/detik, sehingga jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air limpasan pada masing-masing sump adalah 3 pompa sehingga total 30 pompa yang dibutuhkan.

e. Jumlah Pompa pada LOM

Pada LOM penambangan dengan rekomendasi jumlah 11 sump, rata-rata debit air limpasan yang masuk ke masing-masing sump adalah 24,70 m³/detik, sehingga jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air limpasan pada masing-masing sump adalah 3 pompa sehingga total 33 pompa yang dibutuhkan.

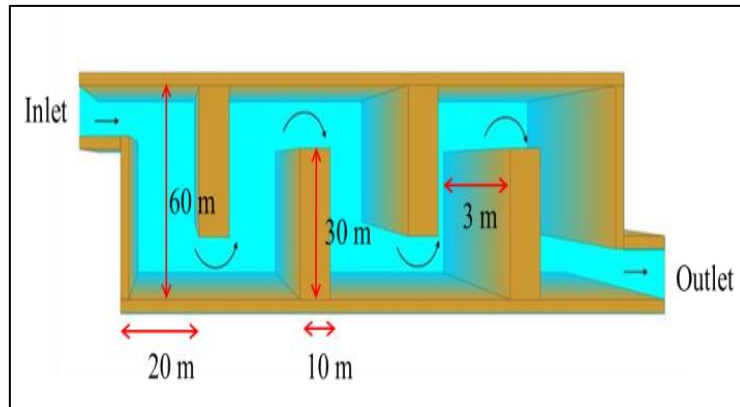
4. Kolam Pengendapan

Material tanah tersuspensi (*Total Suspended Soil*) berkisar 106 mg/l. Perhitungan kecepatan pengendapan menggunakan hukum *Stokes* karena % padatan kurang dari 40%. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai kecepatan pengendapan sebesar 0,00283 m/detik. Berikut merupakan hasil perhitungan rekomendasi dimensi dan volume masing-masing kolam pengendapan pada lokasi penelitian.

a. Kolam Pengendapan WMP 11

Debit air limpasan yang masuk kedalam WMP 11 sebesar 3,20 m³/s, didapatkan luas kolam yang dibutuhkan sebesar 1.132,30 m². Rancangan kolam pengendapan dapat dilihat pada Gambar 13 dan hasil perhitungan dimensi kolam pengendapan yang direncanakan sebagai berikut:

Lebar kolam (L)	= 20 m
Panjang kolam (p)	= 60 m
Jumlah kompartemen	= 6
Kedalaman kolam (h)	= 3 m
Lebar penyekat	= 10 m
Panjang penyekat	= 30 m
Volume kolam	= 21.600 m ³
Waktu pengerukan	= 173 hari

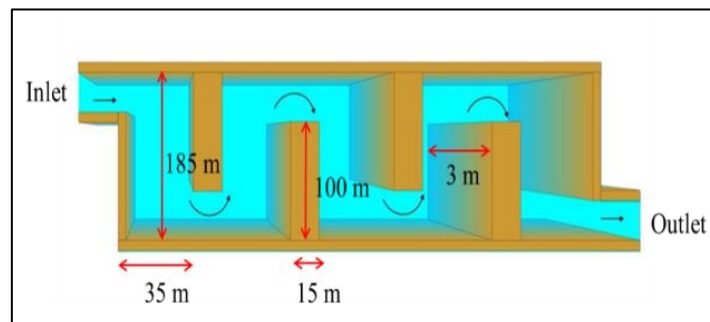


Gambar 13. Dimensi Kolam Pengendapan WMP 11

b. Kolam Pengendapan WMP 13

Debit air limpasan yang masuk kedalam WMP 13 sebesar $18,27 \text{ m}^3/\text{s}$, didapatkan luas kolam yang dibutuhkan sebesar $6.455,07 \text{ m}^2$. Rancangan kolam pengendapan dapat dilihat pada GAMBAR 14 dan hasil perhitungan dimensi kolam pengendapan yang direncanakan sebagai berikut:

Lebar kolam (L)	= 35 m
Panjang kolam (p)	= 185 m
Jumlah kompartemen	= 10
Kedalaman kolam (h)	= 3 m
Lebar penyekat	= 15 m
Panjang penyekat	= 100 m
Volume kolam	= 194.250 m^3
Waktu pengerukan	= 259 hari

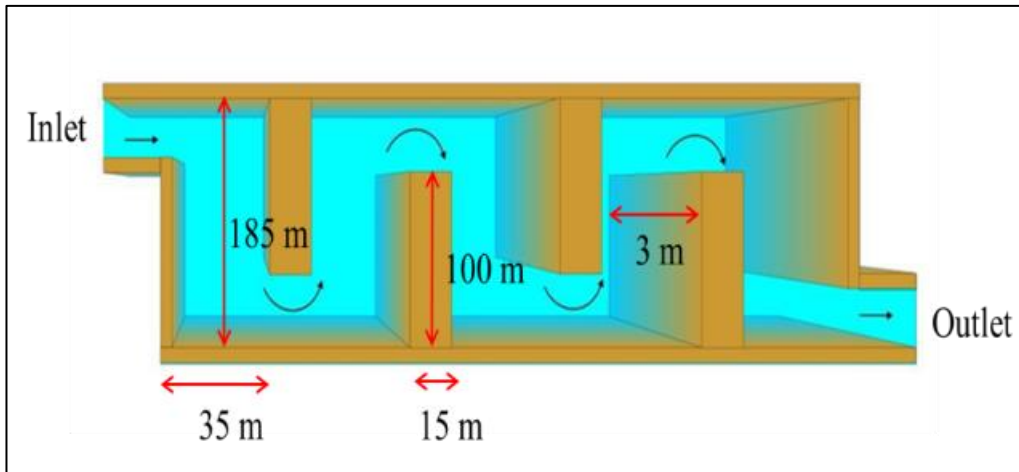


Gambar 14. Dimensi Kolam Pengendapan WMP 13

c. Kolam Pengendapan WMP 14

Debit air limpasan yang masuk kedalam WMP 14 sebesar $18,27 \text{ m}^3/\text{s}$, didapatkan luas kolam yang dibutuhkan sebesar $6.455,07 \text{ m}^2$. Rancangan kolam pengendapan dapat dilihat pada GAMBAR 15 dan hasil perhitungan dimensi kolam pengendapan yang direncanakan sebagai berikut:

Lebar kolam (L)	= 35 m
Panjang kolam (p)	= 185 m
Jumlah kompartemen	= 5
Kedalaman kolam (h)	= 3 m
Lebar penyekat	= 15 m
Panjang penyekat	= 100 m
Volume kolam	= 97.125 m^3
Waktu pengerukan	= 142 hari

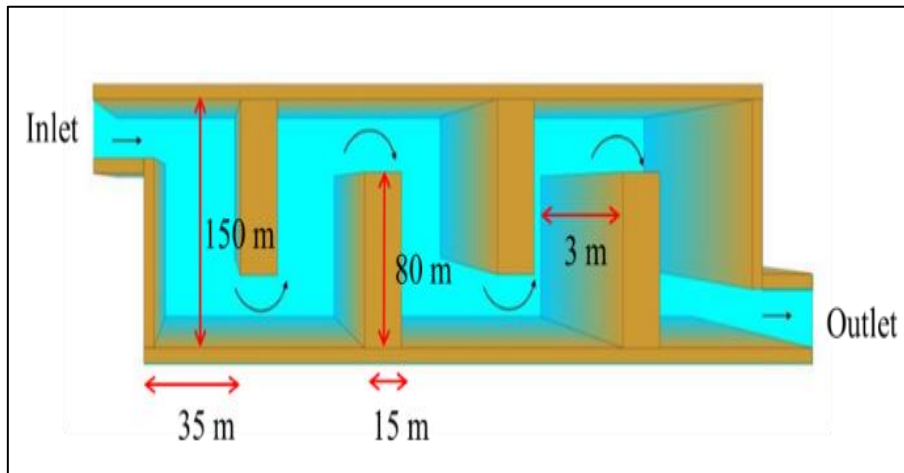


Gambar 15. Dimensi Kolam Pengendapan WMP 14

d. Kolam Pengendapan WMP 15

Debit air limpasan yang masuk kedalam WMP 15 sebesar $14,35 \text{ m}^3/\text{s}$, didapatkan luas kolam yang dibutuhkan sebesar $5.071,31 \text{ m}^2$. Rancangan kolam pengendapan dapat dilihat pada GAMBAR 16 dan hasil perhitungan dimensi kolam pengendapan yang direncanakan sebagai berikut:

Lebar kolam (L)	= 35 m
Panjang kolam (p)	= 150 m
Jumlah kompartemen	= 7
Kedalaman kolam (h)	= 3 m
Lebar penyekat	= 15 m
Panjang penyekat	= 80 m
Volume kolam	= 110.250 m^3
Waktu pengerukan	= 194 hari



Gambar 16. Dimensi Kolam Pengendapan WMP 15

V. KESIMPULAN

Curah hujan yang sangat tinggi pada lokasi penelitian menyebabkan banjir, oleh karena itu dalam penelitian ini untuk pengolahan data curah hujan digunakan persamaan Modifikasi *Gumbell*. Tujuannya untuk mendapatkan nilai curah hujan rencana, intensitas hujan, dan debit air limpasan yang maksimum. Hasil pengolahan data tersebut membuat rancangan saluran terbuka, sumuran, dan kolam pengendapan menjadi lebih besar serta jumlah pompa yang digunakan semakin banyak dibandingkan dengan

kondisi aktual dilapangan. Infrastruktur sarana penirisan tambang yang telah dirancangan tersebut akan mencegah terjadinya banjir pada area penambangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Pengabdian Masyarakat (LPPM) UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah mendukung secara finansial melalui pendanaan publikasi, dan kesempatan yang diberikan untuk menerbitkan naskah ini.

REFRENSI

- [1] Suyono, S. A. M. Dewa, T. A. Cahyadi, I. Setyowati, Nurkhamim, A. M. Ridho, and A. M. Arilia, "Effect of differences in runoff coefficient value on channel dimensions at open pit mines", *2Nd International Conference On Earth Science, Mineral, And Energy*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0010529>.
- [2] L. K. Sahoo, S. Bandyopadhyay, and R. Banerjee, "Water and energy assessment for dewatering in opencast mines", *Journal of Cleaner Production*, vol. 84, pp. 736–745, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.072>.
- [3] K. Yusran, Djamaluddin, and A. A. Budiman, "Sistem Penyaliran Tambang pada Pit AB Eks pada PT. Andalan Mining Jobsite Kaltim Prima Coal Sangatta Kalimantan Timur", *Jurnal Geomine*, 3(1), pp. 170-176, 2015. DOI: <https://doi.org/10.33536/jg.v3i1.20>. (In Indonesia Language)
- [4] T. A. Cahyadi, I. R. Saragih, D. P. W. Aji, S. Suyono, W. Winda, and M. Rachmat, "Optimization of Sump drying with alternatives concept at coal open mine PT Bukit Asam South Sumatra", *2Nd International Conference On Earth Science, Mineral, And Energy*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0007077>.
- [5] A. Romero, D. Millar, M. Carvalho, J. M. Maestre, and E. F. Camacho, "A comparison of the economic benefits of centralized and distributed model predictive control strategies for optimal and sub-optimal mine dewatering system designs," *Applied Thermal Engineering*, vol. 90, pp. 1172–1183, 2015. DOI: [10.1016/j.applthermaleng.2015.01.031](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.031).
- [6] Haeruddin, Anshariah, A. Nurwaskito, and A. S. Munir, "Kajian Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bengalon Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur", *Jurnal Geomine*, 7(1), pp. 1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33536/jg.v7i1.334>. (In Indonesia Language)
- [7] J. D. la Vergne, "Hard rock miners handbook", North Bay, Ont: McIntosh Engineering, 2003.
- [8] R. S. Gautama, "Sistem Penyaliran Tambang", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1999. (In Indonesia Language)
- [9] W. S. Bargawa, A. P. A. Sucahyo, and H. F. Andiani, "Design of coal mine drainage system", *E3S Web of Conferences*, vol. 76, p. 04006, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197604006>.
- [10] R. Ernawati, H. Bubala, T. A. Cahyadi, W. S. Bargawa, and Nurkhamim, "The management and control of water overflows from the settling ponds to coastal waters in PT. X," *2Nd International Conference On Earth Science, Mineral, And Energy*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0007250>.
- [11] T. A. Cahyadi, S. Magdalena, D. Haryanto, W. D. Ratminah, P. E. Rosadi, and P. E. Asmara, "Planning of mining water management costs", *2Nd International Conference On Earth Science, Mineral, And Energy*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0007076>.