

Analisis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Pada Penambangan Batubara Area Blok A PT. Minemex Indonesia Site Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi

Azmi Abdulah Binolombangan¹, Hendro Purnomo², Shilvyanora Aprilia Rande³

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : hendro.purnomo@itny.ac.id

ABSTRAK

PT. Minemex Indonesia adalah perusahaan pertambangan batubara yang menerapkan sistem tambang terbuka. Metode tambang terbuka sangat dipengaruhi faktor cuaca terutama musim hujan. Ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi akan meningkatkan volume air yang terakumulasi di dasar tambang. Sistem penyaliran tambang blok A adalah *mine drainage* dan *mine dewatering*. Metode dalam upaya analisis sistem penyaliran tambang ini dengan mengolah data primer dimensi komponen penyaliran dan data sekunder data curah hujan 11 tahun terakhir memakai distribusi *Gumbell* dan *Mononobe*. Analisis data curah hujan tahun 2011-2021, diperoleh curah hujan rencana periode ulang 5 tahun sebesar 100,90 mm/hari. Intensitas curah hujan berdasarkan durasi tertinggi sebesar 22,04 mm/jam. Luas DTH berdasarkan peta situasi tambang bulan Agustus 2022 yaitu 75,9363 Ha. Debit air hujan diperoleh sebesar 14,57 m³/jam, debit air limpasan sebesar 11.088 m³/jam, dan debit air tanah sebesar 0,399 m³/jam. Pompa yang digunakan berjumlah 2 unit (Ksb 150 dan 200), debit masing-masing sebesar 400 m³/jam dan 550 m³/jam. Dimensi saluran terbuka diketahui sudah memadai, mampu menampung debit air masuk pada saluran. Volume *sump* kemajuan tambang Agustus 2022 sebesar 17.348,25 m³, diketahui sudah memadai. Luas total *settling pond* sebesar 3.138,4 m² dan volume total 6.058,9 m³, belum cukup memadai sehingga diperlukan perbaikan dimensi.

Kata kunci : Debit, Saluran, *Sump*, Kolam Pengendapan.

ABSTRACT

PT. Minemex Indonesia is a coal mining company that implements an open-pit mining system. The open-pit mining method is strongly influenced by weather factors, especially the rainy season. When there is high-intensity rain, it will increase the volume of water accumulated at the bottom of the mine. Block A mine drainage systems are *mine drainage* and *mine dewatering*. The method in the mine drainage system analysis effort is by processing primary data of drainage component dimensions and secondary data of rainfall data for the last 11 years using *Gumbell* and *Mononobe* distributions. Analysis of rainfall data for 2011-2021, obtained rainfall for the 5-year anniversary period of 100.90 mm/day. The rainfall intensity based on the highest duration is 22.04 mm/hour. The area of DTH based on the mining situation map in August 2022 is 75.9363 Ha. Rainwater discharge was obtained at 14.57 m³/hour, runoff water discharge at 11,088 m³/hour, and groundwater discharge at 0.399 m³/hour. The pumps used are 2 units (Ksb 150 and 200), each discharge of 400 m³/hour and 550 m³/hour. The dimensions of the open channel are known to be adequate, and able to accommodate the incoming water discharge in the channel. The sump volume of mine progress in August 2022 amounted to 17,348.25 m³, known to be adequate. The total area of the settling pond is 3,138.4 m² and the total volume is 6,058.9 m³, not sufficient so dimensional improvements are needed.

Keywords: Discharge, Channel, *Sump*, *Settling Pond*

PENDAHULUAN

PT. Minemex Indonesia (*Thriveni Group*) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara, berlokasi di daerah Desa Talang Serdang, Kecamatan Mandiangin, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. Metode penambangan yang digunakan pada pit A yaitu dengan metode tambang terbuka (*surface mining*). Metode tambang terbuka yang dilakukan sangat dipengaruhi oleh udara luar dan kondisi iklim setempat seperti cuaca panas dan cuaca hujan. Dalam proses kegiatan tambang terbuka akan menghasilkan daerah bukaan tambang pada permukaan berupa cekungan yang cukup besar. Ketika musim penghujan, air akan terkonsentrasi di dalam cekungan tersebut yang kemudian menyebabkan genangan air. Secara tidak langsung permasalahan air tersebut dapat berpengaruh terhadap aktivitas penambangan, seperti mempengaruhi kondisi tempat kerja, material bahan galian, serta mobilitas alat yang selanjutnya dapat mempengaruhi produktivitas penambangan.

Sumber air tambang umumnya terdiri dari air hujan, air limpasan, dan air tanah. Untuk mengatasi permasalahan air tersebut dibutuhkan manajemen sistem penyaliran tambang yang dapat dibedakan dalam dua metode yaitu *mine drainage* dan *mine dewatering*. Beberapa parameter yang mempengaruhi sistem penyaliran tambang diantaranya tinggi curah hujan dan intensitasnya, topografi wilayah penambangan, dan kemajuan dari umur tambang. Selain pengaruh dari curah hujan harian yang mengakibatkan air limpasan permukaan meningkat dan menggenangi lantai dasar (*floor*) penambangan, masalah lainnya yaitu kurangnya *maintenance* terhadap saluran yang langsung mengalirkan air menuju kolam pengendapan serta kondisi kolam pengendapan yang sudah lama tidak dilakukan *maintenance*, mengakibatkan kompartemen meluap pada saat musim hujan. Berdasarkan permasalahan tersebut, sehingga diperlukan suatu bentuk upaya analisis untuk penanganan sumber air tambang. Volume per jam dari masing-masing sumber air tersebut harus diketahui dan penentuan debit, baik air hujan, air limpasan, ataupun air tanah yang masuk ke dalam *front* tambang. Analisis terhadap ukuran dimensi komponen penyaliran juga perlu dilakukan terdiri dari saluran terbuka, sumuran (*sump*), dan juga kolam pengendapan (*settling pond*), untuk mengetahui apakah setiap komponen tersebut sudah ideal dan sesuai dengan kondisi di lapangan. Selain itu juga perlu mempertimbangkan jumlah pompa terhadap kapasitas pompa yang digunakan di lapangan, apakah sudah sesuai kebutuhan dalam penanganan air tambang tersebut, sehingga pada proses operasi produksi tidak terjadi hambatan yang berarti dan dapat berjalan dengan baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian sangat diperlukan agar pengambilan dan pengolahan data dapat dilaksanakan secara terstruktur dan baik. Metode penelitian yang digunakan adalah:

Studi Literatur

Mencari bahan pustaka atau dasar teori yang menunjang topik penelitian, antara lain:

- a. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh perusahaan
- b. Jurnal ilmiah
- c. Peta-peta, grafik, serta tabel
- d. Instansi yang terkait dengan literatur pembahasan

Pengambilan Data

Yaitu pengumpulan data yang diperoleh secara langsung di PT. Minemex Indonesia. Data didapatkan berupa data primer dan data sekunder yang diperlukan dalam pengolahan. Data-data tersebut antara lain:

- a. Data primer
 - 1) Debit air tanah
 - 2) Dimensi saluran terbuka, sumuran (*sump*), dan kolam pengendapan (*settling pond*)
 - 3) Jenis, diameter, panjang, dan belokan pipa yang digunakan
 - 4) Jenis dan jumlah pompa yang digunakan
 - 5) Dokumentasi lapangan
- b. Data sekunder
 - 1) *Profil* perusahaan
 - 2) Peta kesampaian daerah penelitian
 - 3) Peta geologi regional daerah penelitian
 - 4) Peta topografi
 - 5) Data curah hujan daerah penelitian 11 tahun terakhir (2011-2021)
 - 6) Data *Total Suspended Solid* bulan Januari – Agustus 2022
 - 7) Spesifikasi pompa

Pengolahan dan Analisis Data

Data-data yang terkumpul akan dikelompokkan berdasarkan jenis dan kegunaannya kemudian dilakukan perhitungan dan analisis sehingga didapatkan suatu kesimpulan sementara. Tahap pertama pengolahan yaitu menentukan curah hujan rencana dari distribusi *Gumbell*. Kegiatan pengolahan dilakukan sebagai berikut:

- a. Perhitungan curah hujan maksimum dan curah hujan rencana pada periode tahun ditentukan
- b. Penentuan daerah tangkapan hujan beserta koefisien limpasan
- c. Perhitungan debit air hujan, air limpasan, dan air tanah
- d. Perhitungan *head* dan daya pompa
- e. Perhitungan dan analisis dimensi saluran terbuka di lapangan serta rekomendasi saluran terbuka
- f. Perhitungan dan analisis dimensi *sump*
- g. Perhitungan dan analisis dimensi kompartemen *settling pond* serta rekomendasi perbaikan

Pembahasan

Tahapan untuk mendapatkan hasil akhir berdasarkan hasil sementara yang didapatkan dari analisis dan perhitungan yang dilakukan, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan akhir dari analisis data tersebut.

Kesimpulan

Kesimpulan dapat diambil setelah dilakukannya perhitungan dan mendapatkan hasil dari perhitungan yang dilakukan. Kesimpulan menjadi hasil akhir dari rumusan masalah serta maksud dan tujuan penelitian

HASIL DAN ANALISIS

Perhitungan Curah Hujan

Metode yang digunakan dalam pengolahan data curah hujan yaitu dengan analisis distribusi *Gumbell*. Untuk mendapatkan curah hujan rencana (X_t), terlebih dahulu dicari nilai *Reduced Mean* (Y_n), *Reduced Variate* (Y_r), dan *Reduced Standart Deviation* (S_n).

Tabel 1. Perhitungan Data Curah Hujan 2011-2021

Tahun	CH Maks. (X)	X ²	\bar{X}	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	n	m	$\frac{(n+1)-m}{(n+1)}$	Y_n	\bar{Y}_n	Y_n^2	$Y_n - \bar{Y}_n$	$(Y_n - \bar{Y}_n)^2$	S	S_n
2011	64,0	4.096	83,25	-19,25	370,74	11	3	0,75	1,25	0,50	1,55	0,75	0,56	17,92	1,015
2012	82,7	6.839	83,25	-0,55	0,31	11	7	0,42	0,13	0,50	0,02	-0,37	0,13	17,92	1,015
2013	80,0	6.400	83,25	-3,25	10,59	11	5	0,58	0,62	0,50	0,38	0,12	0,01	17,92	1,015
2014	62,5	3.906	83,25	-20,75	430,75	11	2	0,83	1,70	0,50	2,90	1,20	1,44	17,92	1,015
2015	78,9	6.225	83,25	-4,35	18,96	11	4	0,67	0,90	0,50	0,81	0,40	0,16	17,92	1,015
2016	85,0	7.225	83,25	1,75	3,05	11	8	0,33	-0,09	0,50	0,01	-0,59	0,35	17,92	1,015
2017	60,5	3.660	83,25	-22,75	517,77	11	1	0,92	2,44	0,50	5,96	1,94	3,77	17,92	1,015
2018	81,7	6.675	83,25	-1,55	2,42	11	6	0,50	0,37	0,50	0,13	-0,13	0,02	17,92	1,015
2019	110,7	12.254	83,25	27,45	753,25	11	10	0,17	-0,58	0,50	0,34	-1,08	1,17	17,92	1,015
2020	114,0	12.996	83,25	30,75	945,28	11	11	0,08	-0,91	0,50	0,83	-1,41	1,99	17,92	1,015
2021	95,8	9.178	83,25	12,55	157,39	11	9	0,25	-0,33	0,50	0,11	-0,83	0,68	17,92	1,015
Jumlah	915,80	79.455			3.210,51				5,50		30,20		10,30		
Rata-Rata	83,25	7.223			291,86				0,50		0,25		0,94		

$$X_t = \bar{X} + S/S_n (Y_r - \bar{Y}_n) \tag{1}$$

Diketahui:

Curah hujan rata-rata (\bar{X}) = 83,25 mm/hari

Standar deviasi nilai curah hujan (S) = 17,92

Reduced Standart Deviation (S_n) = 1,015

Reduced Variate (Y_r) = 1,5

Reduced Mean rata-rata (\bar{Y}_n) = 0,50

$$X_t = 83,25 + (17,92/1,015) (1,5 - 0,50)$$

$$= 100,90 \text{ mm/hari}$$

Tabel 2. Curah Hujan Rencana Periode Ulang Tertentu

Periode Ulang (PU)	\bar{X}	S	Reduce Variant (Y_r)	\bar{Y}_n	S_n	CH Rencana (X _t)
1	83,25	17,92	0,000	0,50	1,015	74,422
2	83,25	17,92	0,367	0,50	1,015	80,902
3	83,25	17,92	0,903	0,50	1,015	90,365
4	83,25	17,92	1,246	0,50	1,015	96,421
5	83,25	17,92	1,500	0,50	1,015	100,905
6	83,25	17,92	1,702	0,50	1,015	104,472
7	83,25	17,92	1,870	0,50	1,015	107,438
8	83,25	17,92	2,013	0,50	1,015	109,962
9	83,25	17,92	2,139	0,50	1,015	112,187
10	83,25	17,92	2,250	0,50	1,015	114,147

Metode Gumbell

Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah untuk mengkonversi curah hujan rencana dan lamanya waktu hujan yang diambil dari jam hujan. Jam hujan yang digunakan adalah jam hujan bulan Agustus selama 5 tahun terakhir.

Tabel 3. Durasi Hujan Penelitian

Periode	Agustus 2017	Agustus 2018	Agustus 2019	Agustus 2020	Agustus 2021
Durasi Hujan	36,83	32,00	4,00	62,10	17,90
Jumlah Hari	31	31	31	31	31

$$I = (R_{24}/24) \times (24/t)^m \tag{2}$$

Diketahui:

Curah hujan maksimum rencana (R_{24}) = 100,90 mm/hari

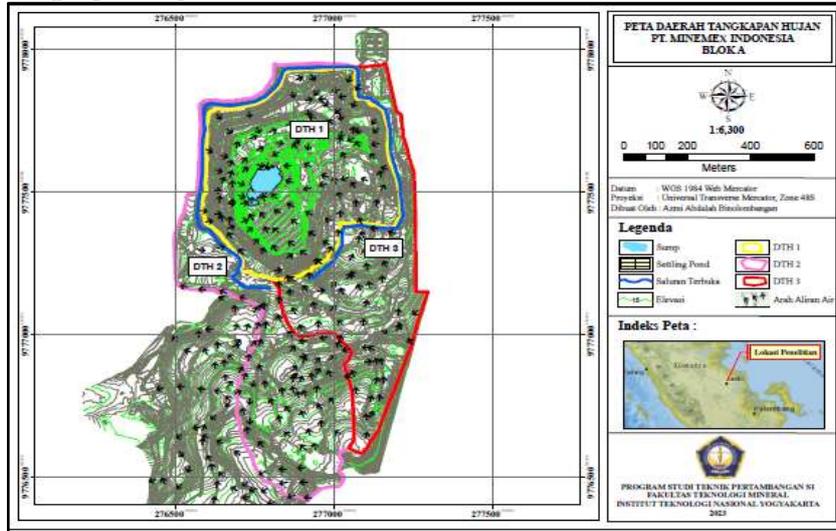
Durasi hujan penelitian (t) = 2 jam/hari

Konstanta wilayah Indonesia (m) = 2/3

$$I = (100,90/24) \times (24/2)^{2/3}$$

= 22,03 mm/jam

3.1 Daerah Tangkapan Hujan



Gambar 1. Daerah Tangkapan Hujan

Penentuan luasan daerah tangkapan hujan (DTH) berdasarkan peta topografi blok A *End Of Month (EOM)* bulan Agustus 2022. Daerah tangkapan hujan dibuat dengan bantuan program *software Surpac*. Cara menentukan luasan daerah tangkapan hujan yaitu terlebih dahulu menentukan batas luasan keseluruhan dari daerah tangkapan dan membentuk polygon tertutup dengan melihat perbedaan elevasi yang mengindikasikan arah mengalirnya air. Berdasarkan pembagiannya daerah tangkapan hujan yang terbentuk ada tiga (3 DTH). Daerah tangkapan hujan satu (DTH 1) adalah area pit dengan luas 31,4542 Ha. Daerah tangkapan hujan dua (DTH 2) yaitu pada bagian Barat pit dengan luas 23,5162 Ha. Daerah tangkapan hujan ketiga (DTH 3) yaitu pada bagian Timur pit dengan luas 20,9659 Ha. Luas daerah tangkapan hujan keseluruhan sebesar 75,9363 Ha atau 0,759363 km². Luas pada DTH1 digunakan untuk menentukan besaran debit air limpasan di sekitaran pit tambang. Luas DTH2 digunakan untuk menentukan debit limpasan yang mengalir pada saluran terbuka di lapangan yang menuju langsung ke kolam pengendapan (*settling pond*). Luas DTH3 digunakan untuk menentukan debit air limpasan untuk membuat saluran terbuka tambahan sebagai saran agar limpasan tidak masuk ke dalam area pit tambang dan dialirkan juga langsung ke kolam pengendapan (*settling pond*).

Koefisien Limpasan

Nilai koefisien limpasan berdasarkan penentuan *Manning* dipengaruhi oleh jenis tutupan permukaan dan persentase kemiringan lereng bukaan.

Tabel 4. Penentuan Nilai Koefisien Limpasan

Kemiringan	Tutupan / Jenis Lahan	Koefisien Limpasan (C)
<3% (datar)	Sawah, rawa	0,2
	Hutan, perkebunan	0,3
	Perumahan	0,4
>3% - 15% (sedang)	Hutan, perkebunan	0,4
	Perumahan	0,5
	Semak-semak agak jarang	0,6
>15% (curam)	Hutan	0,6
	Lahan Terbuka	0,7
	Perumahan	0,7
	Semak-semak agak jarang	0,8
	Lahan terbuka, daerah tambang	0,9

Koefisien masing-masing daerah tangkapan hujan berdasarkan kemiringan dan jenis lahan sebagai berikut:

Persentase kemiringan lereng = (Elevasi tinggi – Elevasi rendah) / Jarak elevasi x 100% (3)

Persentase kemiringan DTH 1 = (40m – (-27,5m)) / 247,15m x 100% = 27,31 % (Curam)

Persentase kemiringan DTH 2 = (80m – 32,5m) / 1579,67m x 100% = 3 % (Datar)

Persentase kemiringan DTH 3 = (72,5m – 32m) / 1054,34m x 100% = 5,13 % (Sedang)

Nilai koefisien limpasan yang digunakan adalah koefisien tertinggi di masing-masing klasifikasi. Berdasarkan persentase diatas, maka nilai koefisien didapatkan yaitu DTH1 = 0,9, DTH2 = 0,4, dan DTH3 = 0,6

Analisis Debit Air Hujan

Besaran debit air hujan yang diperoleh adalah air hujan yang turun langsung ke dalam sumuran (*sump*). Dapat dihitung dengan menggunakan rumus rasional berikut:

$$Q_{\text{Air Hujan}} = X_t \times A \quad (4)$$

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Curah hujan rencana maksimum (Xt)} &= 100,90 \text{ mm/hari} && (:24) \\ &= 4,20 \text{ mm/jam} && (:1000) \\ &= 0,0042 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Luas bukaan sumuran (sump)} = 3.469,65 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Air Hujan}} &= 0,0042 \text{ m/jam} \times 3.469,65 \text{ m}^2 \\ &= 14,57 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,0040 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Analisis Debit Air Limpasan

Debit limpasan adalah debit air hujan rencana berupa intensitas dalam suatu daerah tangkapan hujan yang diperkirakan masuk ke dalam area tambang. Penentuan debit limpasan berdasarkan luas masing-masing daerah tangkapan hujan, dapat dihitung menggunakan rumus rasional sebagai berikut:

$$Q_{\text{Air Limpasan}} = 0,278 \times C \times I \times A \quad (5)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} C &= \text{Nilai koefisien limpasan} \\ I &= \text{Intensitas curah hujan} \\ A &= \text{Luas daerah tangkapan hujan} \\ \text{m}^3/\text{s} &= \text{mm/jam} \times \text{km}^2 \\ \text{m}^3/\text{s} &= \frac{0,001}{3600} \times 1.000.000 = 0,278 \end{aligned}$$

Besaran debit air limpasan setiap daerah tangkapan hujan yang terbentuk dengan nilai koefisien masing-masing sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Limpasan DTH 1}} &= 0,278 \times C \times I \times A \\ &= 0,278 \times 0,9 \times 22,04 \text{ mm/jam} \times 0,314542 \text{ km}^2 \\ &= 1,73 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 6.228 \text{ m}^3/\text{jam} \\ Q_{\text{Limpasan DTH 2}} &= 0,278 \times C \times I \times A \\ &= 0,278 \times 0,4 \times 22,04 \text{ mm/jam} \times 0,235162 \text{ km}^2 \\ &= 0,58 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 2.088 \text{ m}^3/\text{jam} \\ Q_{\text{Limpasan DTH 3}} &= 0,278 \times C \times I \times A \\ &= 0,278 \times 0,6 \times 22,04 \text{ mm/jam} \times 0,209659 \text{ km}^2 \\ &= 0,77 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 2.772 \text{ m}^3/\text{jam} \\ Q_{\text{Limpasan Total}} &= Q_{\text{Limpasan DTH 1}} + Q_{\text{Limpasan DTH 2}} + Q_{\text{Limpasan DTH 3}} \\ &= 6.228 \text{ m}^3/\text{jam} + 2.088 \text{ m}^3/\text{jam} + 2.772 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 11.088 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 3,08 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Analisis Debit Air Tanah

Penentuan debit air tanah dilakukan dengan mengambil sampel dilapangan pada beberapa titik air tanah yang ada disekitaran bukaan tambang, menggunakan peralatan sederhana botol ukuran 1,5 liter, corong, dan *stopwatch*. Untuk mengetahui waktu yang diperlukan air tanah masuk ke dalam botol 1,5 liter hingga penuh, dapat dilihat dalam tabel percobaan sebagai berikut:

Tabel 5. Waktu Percobaan Air Tanah

Nomor Sampel	Titik Percobaan Ke-	
	1	2
1	27,76	27,76
2	28,77	30,12
3	29,24	27,16
4	28,98	28,69
5	27,08	30,47
6	26,75	29,52
7	27,48	30,89
8	25,58	25,81
9	26,05	29,79
10	25,93	29,13
11	25,26	28,94
12	26,71	26,37
13	27,69	28,62
14	25,77	29,88
15	25,58	29,39
16	25,79	30,14
17	25,06	30,47
18	25,33	29,69
19	24,99	27,19
20	24,99	29,61
21	25,64	28,01
22	25,27	28,71
23	25,49	25,67
24	25,26	28,41
25	25,57	28,52

$$Q_{\text{Air Tanah}} = \text{Volume wadah} \times \text{Banyak pengisian ulang} \quad (6)$$

Keterangan:

Volume wadah = Media wadah yang digunakan dalam percobaan (1,5 liter)

Bayak pengisian ulang = Banyaknya isian ulang terhadap waktu percobaan dalam 1 jam (3600 detik)

$$\begin{aligned} Q_{\text{Air Tanah Titik 1}} &= 1,5 \text{ liter} \times 137,63 \\ &= 206,45 \text{ liter/jam} \\ &= 0,20645 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Air Tanah Titik 2}} &= 1,5 \text{ liter} \times 128,45 \\ &= 192,67 \text{ liter/jam} \\ &= 0,19267 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Pemompaan

Pada sumuran (*sump*) blok A digunakan 2 unit pompa dengan jenis KSB Dnd 200 dan Dnd 150. Debit dari pompa Dnd 200 sebesar 550 m³/jam dan debit pompa Dnd 150 sebesar 400 m³/jam.



Gambar 2. Pompa KSB Dnd 150 dan Dnd 200

1. Perhitungan *Total Head* Pompa

Head diartikan sebagai jumlah energi yang dapat disuplai oleh pompa dalam suatu elevasi, yaitu sebuah satuan linear vertikal untuk menunjukkan ketinggian maksimum sebuah pompa spesifik saat memompa *fluida*.

$$\text{Total Head} = H_s + H_v + H_f + H_{fs} + H_k \quad (7)$$

Keterangan :

- H_s = *Head* statis (meter)
 H_v = *Head* terhadap kecepatan aliran dalam pipa (meter)
 H_f = *Head* kerugian gesekan dalam pipa (meter)
 H_{fs} = *Head* belokan (meter)
 H_k = *Head* kerugian katup isap (meter)

a. KSB Dnd 150

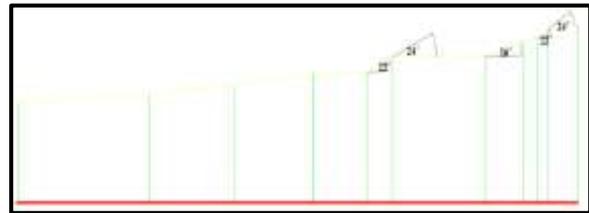
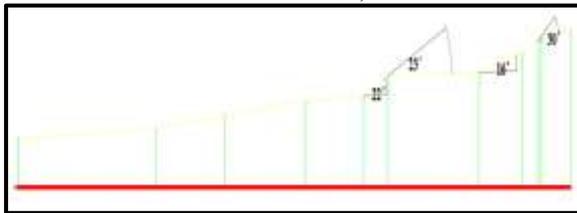
Total head yang diperoleh pada pompa Dnd 150 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Head statis (H}_s) &= 57,5 \text{ m} \\
 \text{Head kecepatan aliran dalam pipa (H}_v) &= 0,60 \text{ m} \\
 \text{Head kerugian gesekan dalam pipa (H}_f) &= 24,01 \text{ m} \\
 \text{Head belokan (H}_{fs}) &= 0,1572 \text{ m} \\
 \text{Head kerugian katup isap (H}_k) &= 1,06 \text{ m} \\
 \text{Head total} &= H_s + H_v + H_f + H_{fs} + H_k \\
 &= 57,5 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 24,01 \text{ m} + 0,1572 \text{ m} + 1,06 \text{ m} \\
 &= 83,32 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. KSB Dnd 200

Total head yang diperoleh pada pompa Dnd 200 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Head statis (H}_s) &= 57,5 \text{ m} \\
 \text{Head kecepatan aliran dalam pipa (H}_v) &= 1,14 \text{ m} \\
 \text{Head kerugian gesekan dalam pipa (H}_f) &= 45,09 \text{ m} \\
 \text{Head belokan (H}_{fs}) &= 0,3653 \text{ m} \\
 \text{Head kerugian katup isap (H}_k) &= 2,02 \text{ m} \\
 \text{Head total} &= H_s + H_v + H_f + H_{fs} + H_k \\
 &= 57,5 \text{ m} + 1,14 \text{ m} + 45,09 \text{ m} + 0,3653 \text{ m} + 2,02 \text{ m} \\
 &= 106,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 3. Sudut Belokan Pipa Pada Pompa Dnd 150 **Gambar 4.** Sudut Belokan Pipa Pada Pompa Dnd 200

2. Perhitungan Daya Pompa

$$P_h = \gamma_w \times H \times Q \quad (8)$$

Keterangan:

- P_h = Daya hidrolis (kW)
 γ_w = Berat volume air (kN/m^3) = 9,81
 H = *Head* total (m)
 Q = Debit pompa (m^3/s)

$$P_s = \frac{P_h}{\eta_p} \quad (9)$$

Keterangan:

- P_s = Daya Poros (kW)
 P_h = Daya hidrolis (kW)
 η_p = Efisiensi pompa (%)
 $P = \left(\frac{\gamma \times H \times Q}{102 \times \eta_p \times 100} \right) \times 1.000$

(10)

Keterangan:

- P = Daya pompa (kW)

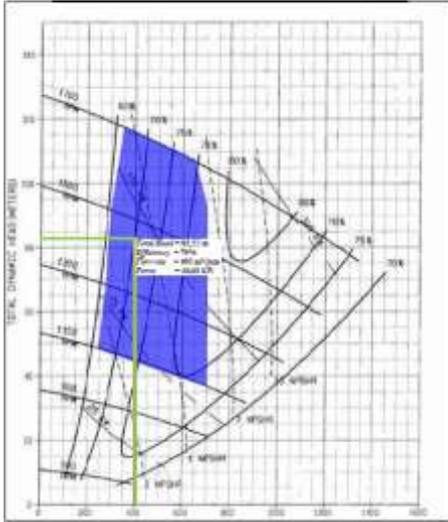
- γ = Specific gravity cairan = 1
- H = Head total (m)
- Q = Debit pompa (m³/s)
- η_p = Efisiensi pompa (%)

a. KSB Dnd 150

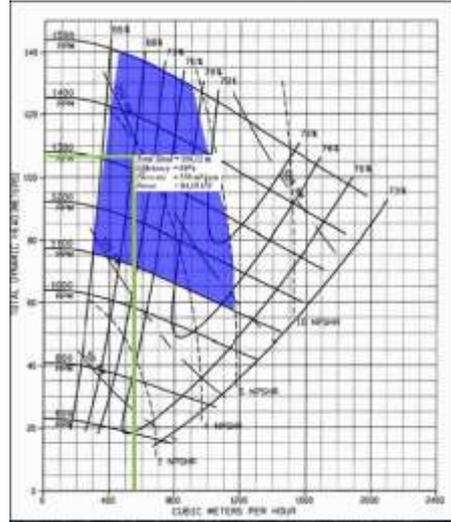
Daya Hidrolis (Ph)	= 90,73 kW	
Efisiensi Pompa (η_p)	= 70%.	
Daya Poros (Ps)	= 129,61 kW	
Daya Pompa (P)	= $\left(\frac{1 \times 83,32 \times 400}{102 \times 70 \times 100}\right) \times 1.000$	
	= 84,15 kW	

b. KSB Dnd 200

Daya Hidrolis (Ph)	= 159,28 kW	
Efisiensi Pompa (η_p)	= 68%.	
Daya Poros (Ps)	= 234,23 kW	
Daya Pompa (P)	= $\left(\frac{1 \times 106,12 \times 550}{102 \times 68 \times 100}\right) \times 1.000$	
	= 46,68 kW	



Gambar 5. Kurva Pompa Dnd 150



Gambar 6. Kurva Pompa Dnd 200

Analisis Dimensi Saluran Terbuka

Perhitungan kapasitas debit aliran saluran terbuka dapat menggunakan rumus *Robert Manning* berikut:

$$Q = \frac{1}{2} \times A \times S^{1/2} \times R^{2/3} \tag{11}$$

Keterangan:

- Q = Debit Aliran Saluran (m³/detik)
- S = Kemiringan Dasar Saluran (%)
- A = Luas Penampang Saluran (m²)
- R = Jari-Jari Hidrolik (m)

Saluran terbuka di lapangan digunakan untuk mengalirkan air limpasan langsung menuju ke kolam pengendapan (*settling pond*). Panjang saluran terbuka blok A diketahui ±1,8 km berbentuk penampang saluran trapesium. Dimensi yang diukur sepanjang saluran terbuka per titik ukur berjarak 35 m, dalam tabel berikut:

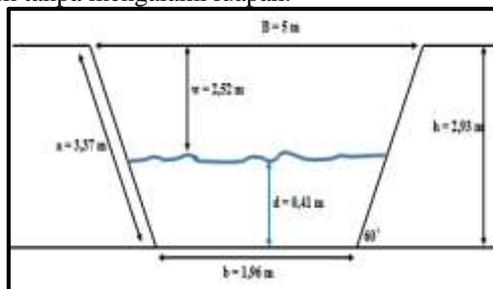
Tabel 6. Dimensi Saluran Terbuka Blok A

Titik Ukur	L. Permukaan Saluran (m) (B)	T. Jagaan Air (m) (w)	T. Muka Air (m) (d)	T. Total Saluran (m) (h)	L. Dasar Saluran (m) (b)	Sudut Kemiringan (°) (α)
1	4,00	2	0,41	2,41	1,17	63
2	4,23	1,17	0,38	1,55	0,92	60
3	4,76	1,96	0,30	2,26	1	57
4	4,45	0,90	0,18	1,08	0,83	51
5	5,15	1,55	0,44	1,99	1,52	50
6	2,10	0,67	0,17	0,84	1,14	60
7	3,00	0,32	0,20	0,52	2,08	67
8	3,90	0,26	0,89	1,15	1,27	59
9	2,75	0,30	0,15	0,45	1,32	57
10	4,13	1,12	0,16	1,28	1,36	64
11	4,56	1,21	0,20	1,41	2,10	71
12	5,10	5,75	0,25	6	1,40	59
13	5,16	3,98	0,17	4,15	2,70	64
14	5,10	4,18	0,35	4,53	3,08	57
15	4,57	4,06	0,21	4,27	2,11	68
16	5,10	2,57	0,21	2,78	1,65	51
17	5,20	2,73	0,27	3	1,93	66
18	4,80	2,07	0,23	2,30	2,28	51
19	4,81	3,13	0,25	3,38	2,14	57
20	6,14	2,87	0,23	3,10	2	58
21	5,32	3,59	0,41	4	2,10	54
22	6,19	1,77	0,23	2	1,60	69
23	6,05	1,85	0,25	2,10	1,80	51
24	6,32	2,07	0,23	2,30	1,90	60
25	4,30	2,25	0,25	2,50	1,50	68
26	3,81	2	0,30	2,30	1,65	59
27	4,11	1,89	0,38	2,27	1,81	72
28	4,10	1,53	0,30	1,83	2	67
29	3,70	1,45	0,35	1,80	2	62
30	3,60	1,68	0,42	2,10	2	61
31	4,00	1,80	0,50	2,30	2,30	58
32	5,56	1,74	0,76	2,50	2,10	63
33	5,20	2,30	0,70	3	2,10	62
34	6,30	2,97	0,73	3,70	2,50	68
35	6,17	3,10	0,78	3,88	2,69	67
36	5,46	3,51	0,86	4,37	2,34	50
37	6,40	3,20	0,80	4	2	63
38	5,40	3,00	1,00	4	2	52
39	5,57	5,30	0,90	6,20	1,80	70
40	6,24	3,60	0,70	6,30	2,10	54
41	6,10	3,80	0,90	4,70	1,60	58
42	6,14	3,80	0,50	4,30	1,30	57
43	6,19	4,27	0,23	4,50	6,90	55
44	6,53	4,13	0,37	4,50	0,90	57
45	5,17	4,35	0,15	4,50	1,20	69
46	5,07	4,30	0,20	4,50	0,80	65
47	5,71	2,66	0,34	3	1,70	50
48	5,50	1,86	0,34	2,20	1,80	55
49	6,10	1,34	0,46	1,80	3,40	50
50	5,06	1,50	0,42	1,92	2,78	67
51	5,11	1,14	0,45	1,59	3,12	58
Rata-Rata	5,00	2,52	0,41	2,93	1,96	60

Debit air masuk dan mengalir di saluran terbuka berasal dari air limpasan DTH2 sebesar 2.088 m³/jam atau 0,58 m³/detik. Kapasitas maksimal saluran terbuka berdasarkan dimensi rata-rata didapatkan yaitu:

Koefisien Manning (n) = 0,030
 Kemiringan Dasar Saluran (S) = 0,0042
 Luas Saluran (A) = 10,72 m²
 Keliling Saluran (P) = 13,76 m
 Jari-jari Hidrolis (R) = 0,78 m
 $Q = \frac{1}{2} \times 10,72 \text{ m}^2 \times 0,0042^{1/2} \times 0,78^{2/3}$
 = 19,74 m³/detik

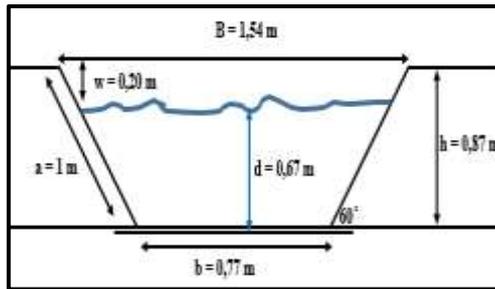
Berdasarkan hasil tersebut, diketahui debit kapasitas saluran terbuka jauh lebih besar jika dibandingkan dengan debit air yang masuk. Maka bisa dikatakan saluran terbuka blok A sudah memadai, mampu menampung dan mengalirkan air yang masuk tanpa mengalami luapan.



Gambar 7. Dimensi Saluran Terbuka Blok A

Area DTH 3 di rekomendasikan untuk membuat saluran terbuka agar air limpasan tidak menerus masuk ke dalam pit tambang. Air limpasan DTH 3 direncanakan langsung dialirkan menuju ke kolam pengendapan (*settling pond*). Berdasarkan pembagian segmen DTH 3, didapatkan besaran debit limpasan total penjumlahan sebesar 0,77 m³/detik. Sehingga, dimensi saluran terbuka yang direkomendasikan untuk dibuat pada daerah DTH 3 berdasarkan dari kapasitas maksimal debit air limpasan adalah sebagai berikut:

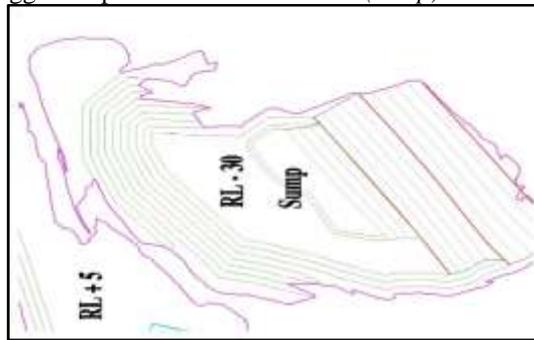
Koefisien Manning (n) = 0,030
 Kemiringan dinding = 60°
 Tinggi muka air (d) = 0,67 m
 Tinggi jagaan air (w) = 0,20 m
 Tinggi saluran (h) = 0,87 m
 Lebar dasar saluran (b) = 0,77 m
 Lebar permukaan (B) = 1,54 m
 P. Kemiringan dinding (a) = 1 m



Gambar 8. Rekomendasi Saluran Terbuka DTH3

Analisis Dimensi Sumuran (Sump)

Sump blok A PT. Minemex Indonesia merupakan jenis *sedimentary sump*, dibuat dengan memanfaatkan elevasi terendah sehingga diletakkan di lantai dasar (*floor*) tambang. Berdasarkan pengamatan dan pengukuran di lapangan, diketahui dimensi *sump* blok A periode bulan Agustus 2022, luas kemajuan *sump* 3.469,65 m² dengan kedalaman 5 m. Sehingga didapatkan volume sumuran (*sump*) adalah 17.348,25 m³.



Gambar 9. Dimensi Sump Blok A

Dalam penentuan volume *sump* yang dapat menampung sejumlah air tambang yaitu menggabungkan grafik intensitas hujan yang dihitung dengan teori *Mononobe* versus waktu dengan grafik debit pemompaan versus waktu. Perhitungan volume sumuran (*sump*) dapat dicari dengan rumus rasional berikut:

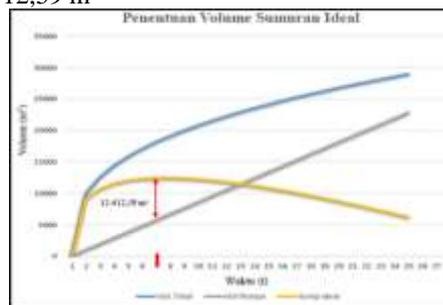
$$\text{Volume Sump Optimal} = \text{Volume total inflow} - \text{Volume Pemompaan} \tag{12}$$

$$\text{Volume Total Inflow} = \text{Vol}_{\text{Air Hujan}} + \text{Vol}_{\text{Air Limpasan}} + \text{Vol}_{\text{Air Tanah}} \tag{13}$$

$$\text{Volume Pemompaan} = \text{Debit pemompaan} \times \text{Waktu operasi pompa} \tag{14}$$

Volume total *inflow* adalah volume total air tambang yang masuk ke dalam sumuran (*sump*), disesuaikan dengan besaran intensitas (debit limpasan) dan jam pompa berdasarkan durasi (t) pada volume *sump* tertinggi.

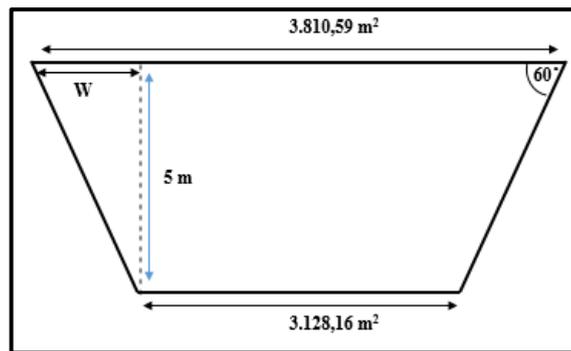
- Volume Pemompaan = 950 m³/jam x 7 jam = 6.650 m³
- Volume Air Hujan = 14,57 m³/jam x 7 jam = 101,99 m³
- Volume Air Tanah = 0,399 m³/jam x 7 jam = 2,77 m³
- Volume Limpasan = 2.708,26 m³/jam x 7 jam = 18.957,83 m³
- Volume Sump Ideal = 19.062,59 m³ - 6.650 m³ = 12.412,59 m³



Gambar 10. Grafik Volume Sump Ideal

Berdasarkan hasil tersebut, maka bisa dikatakan bahwa *sump* pada kemajuan tambang bulan Agustus 2022 sudah memadai. Untuk dimensi *sump* berdasarkan volume total belum diketahui sehingga diperlukan perhitungan lanjutan. Bentuk *sump* dianggap trapesium, dengan penampang alas dan penampang permukaan berbentuk persegi. Untuk luas permukaannya lebih besar dari luas alas, membentuk sudut 60° dan kedalaman 5 m. Sehingga, dimensi sumuran (*sump*) dan visualisasinya dapat diketahui sebagai berikut:

- Kemiringan = 60°
- Kedalaman = 5 m
- Luas Permukaan = $3.810,59 \text{ m}^2$
- Luas Alas = $3.128,16 \text{ m}^2$
- Volume = $17.348,88 \text{ m}^3$



Gambar 11. Dimensi Sump Blok A

Analisis Dimensi Kolam Pengendapan (Settling Pond)

Kolam pengendapan pada lokasi penelitian blok A PT. Minemex Indonesia terdapat 6 kompartemen. Total debit air masuk ke dalam *settling pond* adalah debit air dari saluran terbuka dan debit total pemompaan sebesar $1,894 \text{ m}^3/\text{detik}$. Nilai *Total Suspended Solid* yang diperoleh sebesar 224 mg/L . Diameter partikel padatan (*skala wenworth*) adalah $0,061 \text{ mm}$, kecepatan partikel berdasarkan persen padatan $< 40\%$ (persamaan *Stokes*) adalah $0,0030 \text{ m/detik}$ Luasan minimal kompartemen dapat dilakukan dengan perhitungan berikut:

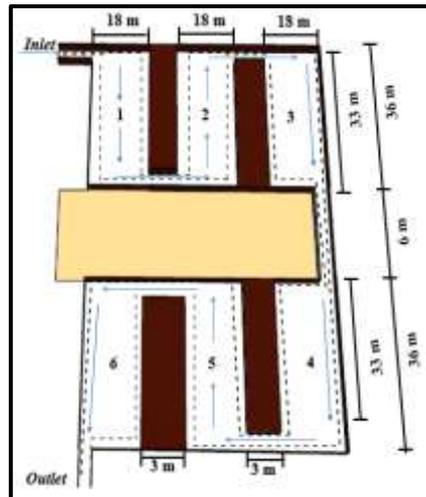
$$\begin{aligned} \text{Luas kompartemen minimal} &= \text{Kecepatan partikel (Vt) / Total debit masuk (Q)} & (15) \\ &= 1,894 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,0030 \text{ m/detik} \\ &= 631,34 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dimensi yang diperoleh, maka luas minimum pada masing-masing kompartemen kolam pengendapan yaitu $631,34 \text{ m}^2$. Luas terbesar kompartemen yang ada dilapangan hanya sebesar $586,5 \text{ m}^2$, sehingga kompartemen pada kolam pengendapan seharusnya dilakukan penambahan dimensi.

Penambahan dimensi kompartemen yang dilakukan yaitu dengan perbandingan panjang dan lebar kolam 2:1. Alat yang digunakan di perbaikan dimensi adalah *excavator PC-200-8LC*. Dimensi kompartemen yang di rekomendasikan setelah perbaikan adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Dimensi Perbaikan *Settling Pond*

Komponen <i>Settling Pond</i>	Keterangan
Kedalaman kompartemen	4 meter
Panjang Kompartemen	36 meter
Lebar Kompartemen	18 meter
Panjang Sekat	33 meter
Lebar Sekat	3 meter
Kedalaman Sekat	1,5 meter
Banyak Kompartemen	6 buah
Luas Kompartemen	648 m^2
Volume Kompartemen	2.592 m^3
Volume Total <i>Settling Pond</i>	15.552 m^3



Gambar 12. Sketsa Perbaikan Dimensi Kompartemen *Settling Pond*

Perhitungan *persentase* pengendapan bertujuan untuk mengetahui apakah kolam pengendapan yang telah diperbaiki ukuran dimensinya dapat berfungsi dengan baik untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dari dalam air tambang yang mengalir ke kolam pengendapan. Diketahui waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap (t_v) adalah 22 menit. Untuk kecepatan mendatar partikel (V_h) adalah 0,026 m/detik. Panjang lintasan (P) merupakan aliran dalam kompartemen, dimana panjang aliran setiap kompartemen akan berbeda dan waktu yang dibutuhkan partikel untuk keluar juga berbeda.

- $P_{\text{Kompartemen 1}} = 36 \text{ m}$
- $P_{\text{Kompartemen 2}} = 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} = 75 \text{ m}$
- $P_{\text{Kompartemen 3}} = 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} = 114 \text{ m}$
- $P_{\text{Kompartemen 4}} = 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 6 \text{ m} + 36 \text{ m} = 156 \text{ m}$
- $P_{\text{Kompartemen 5}} = 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 6 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} = 195 \text{ m}$
- $P_{\text{Kompartemen 6}} = 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 6 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} + 3 \text{ m} + 36 \text{ m} = 234 \text{ m}$

Waktu yang dibutuhkan material endapan untuk keluar dari kolam pengendapan (t_h) sejauh P kompartemen adalah:

- $t_{h1} = \frac{P_1}{V_h} = 36 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 1.384,61 \text{ detik} = 23 \text{ menit}$
- $t_{h2} = \frac{P_2}{V_h} = 75 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 2.884,61 \text{ detik} = 48 \text{ menit}$
- $t_{h3} = \frac{P_3}{V_h} = 114 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 4.384,61 \text{ detik} = 73 \text{ menit}$
- $t_{h4} = \frac{P_4}{V_h} = 156 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 6.000 \text{ detik} = 100 \text{ menit}$
- $t_{h5} = \frac{P_5}{V_h} = 195 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 7.500 \text{ detik} = 125 \text{ menit}$
- $t_{h6} = \frac{P_6}{V_h} = 234 \text{ m} / 0,026 \text{ m/detik} = 9.000 \text{ detik} = 150 \text{ menit}$

Partikel padatan akan mengendap dengan baik jika waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap (t_v) tidak lebih besar dari waktu yang dibutuhkan partikel dan air untuk keluar dari kolam pengendapan (t_h), ($t_v < t_h$). Dengan membandingkan antara waktu keluarnya air dan material serta waktu pengendapan, maka dapat diketahui untuk persentase pengendapan terhadap banyaknya padatan masuk sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Pengendapan} = \frac{t_h}{t_h+t_v} \times 100\% \tag{16}$$

$$\text{Padatan yang masuk} = \text{Vol. padatan (V)} \times \text{waktu pompa} \times \text{Persentase padatan} \tag{17}$$

$$\text{Pemeliharaan KPL} = (1/6 \times \text{Volume kompartemen}) / \text{Volume padatan terendapkan} \tag{18}$$

Maka didapatkan hasil persentase pengendapan, total padatan masuk dan jadwal *maintenance* berturut-turut sebagai berikut;

Kompartemen 1	= 51,11%	= 7,73 m ³ /hari	= 55 hari
Kompartemen 2	= 33,52%	= 3,76 m ³ /hari	= 113 hari
Kompartemen 3	= 11,81%	= 1,32 m ³ /hari	= 322 hari
Kompartemen 4	= 2,91%	= 0,33 m ³ /hari	= 1.288 hari

Kompartemen 5	= 0,55%	= 0,06 m ³ /hari	= 7.888 hari (tidak perlu <i>maintenance</i>)
Kompartemen 6	= 0,08%	= 0,009 m ³ /hari	= 47.259 hari (tidak perlu <i>maintenance</i>)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan, pengolahan, analisis data, dan pembahasan mengenai sistem penyaliran tambang lokasi penelitian blok A PT. Minemex Indonesia, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Besaran nilai debit air tambang yang masuk ke dalam lokasi penambangan didapatkan yaitu debit air hujan sebesar 14,57 m³/jam, debit air limpasan pada DTH 1 sebesar 6.228 m³/jam, debit air limpasan pada DTH 2 sebesar 2.088 m³/jam, debit air limpasan pada DTH 3 sebesar 2.772 m³/jam, dan debit air tanah sebesar 0,399 m³/jam. Total seluruh debit air tambang yang masuk sebesar 11.102,97 m³/jam.
- Jumlah pompa yang digunakan di lapangan berjumlah 2 unit, dengan jenis pompa KSB DnD 150 dan KSB DnD 200. Debit pada masing-masing pompa yang digunakan adalah KSB DnD 150 sebesar 400 m³/jam dan KSB DnD 200 sebesar 550 m³/jam. Total *Head* pada pompa KSB DnD 150 yaitu 83,32 m, dengan daya pompa sebesar 46,68 kW. Total *Head* pada pompa KSB DnD 200 yaitu 106,12 m, dengan daya pompa sebesar 83,32 kW.
- Bentuk dan dimensi komponen sistem penyaliran tambang sebagai berikut:
 - Bentuk saluran terbuka adalah penampang trapesium, dengan dimensi di lapangan sudah memadai, mampu menampung serta mengalirkan debit air yang masuk, dengan ukuran sebagai berikut:

Kemiringan dinding	= 60°
Tinggi muka air (d)	= 0,41 m
Tinggi jagaan air (w)	= 2,52 m
Tinggi saluran(h)	= 2,93 m
Lebar dasar saluran (b)	= 1,96 m
Lebar permukaan (B)	= 5 m
Panjang kemiringan dinding (a)	= 3,37 m

 Rekomendasi untuk penambahan saluran terbuka berdasarkan debit air masuk didapatkan dimensi sebagai berikut:

Kemiringan dinding	= 60°
Tinggi muka air (d)	= 0,67 m
Tinggi jagaan air (w)	= 0,20 m
Tinggi saluran (h)	= 0,87 m
Lebar dasar saluran (b)	= 0,77 m
Lebar permukaan (B)	= 1,54 m
Panjang kemiringan dinding (a)	= 1 m
 - Jenis sumuran (*sump*) adalah sumuran sementara (*sump sedimentary*). Volume sumuran (*sump*) yang ada di lapangan diketahui sudah memadai, dikarenakan volume aktual lebih besar jika dibandingkan dengan volume penentuan ideal sumuran (*sump*), dengan dimensi sumuran (*sump*) sebagai berikut:

Kemiringan	= 60°
Kedalaman	= 5 m
Luas Permukaan	= 3.810,59 m ²
Luas Alas	= 3.128,16 m ²
Volume	= 17.348,88 m ³
 - Ukuran dimensi kolam pengendapan (*settling pond*) setiap kompartemen di lapangan belum cukup memadai dalam menampung partikel padat dan air yang masuk sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan luas minimal yang ditentukan. Dimensi kompartemen kolam pengendapan (*settling pond*) setelah perbaikan, sebagai berikut:

Kedalaman Kompartemen	= 4 m
Panjang Kompartemen	= 36 m
Lebar Kompartemen	= 18 m
Panjang Sekat	= 33 m
Lebar Sekat	= 3 m
Kedalaman Sekat	= 1,5 m
Banyak Kompartemen	= 6 buah
Luas Kompartemen	= 648 m ²
Volume Kompartemen	= 2.592 m ³
Volume Total Kolam Pengendapan	= 15.552 m ³

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada PT. Minemex Indonesia dan semua yang telah membantu dalam pengambilan data, serta Tim dosen Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrianto, D & Kasim, T. (2019) "Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Batubara PT. Rajawali Internusa Jobsite PT. Indah Jaya Abadi Pratama Lahat", *Jurnal Bina Tambang*, 4(3), pp. 89-97.
- [2] Aziz, S & Kasim, T. (2019) "Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang Batubara Pada Pit Block B Di PT. Minemex Indonesia Kabupaten Sarolangun, Jambi", *Jurnal Bina Tambang*, 4(1).
- [3] Chow, V. T. (1997) "*Hidrolika Saluran Terbuka*" (Bahasa Indonesia). Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- [4] Gautama, R.S (1999) "*Diktat Kuliah Sistem Penyaliran Tambang*" Pengantar Penyaliran Tambang, Fakultas Teknologi Mineral, ITB. Bandung.
- [5] Hartono (2013) "*Kuliah Sistem Penyaliran Tambang Kolam Pengendapan*". Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- [6] Malindo M. G. (2017) "Perencanaan Dan Pemodelan Bentuk Sump Pada Tambang Batubara PT. Caritas Energi Sarolangun Pit B" *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [7] Soemarto, C. D. (1999) "*Hidrologi Teknik*". Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- [8] Sosrodarsono, S & Takeda, K. (1983) "*Hidrologi Untuk Pengairan*". PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Indonesia.
- [9] Surahmad, R. C. (2021) "Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Pada Kolam Pengendapan (Settling Pond) Di Pit Durian PT. J Resources Bolaang Mongondow Site Bakan Sulawesi Utara", *Skripsi*. Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [10] Triatmodjo, B. (2008) "*Hidrologi Terapan*". Beta Offset, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [11] Wenworth, C. K. (1922) "A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediment". *The Journal of Geology*, 30(5), pp. 377-392.