

# Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang Untuk Mendapatkan Sistem Penyaliran Ideal Tahun 2019 di *Pit* Markona Penambangan Batubara PT. Bumi Karya Makmur *Jobsite* PT. Cakrawala Dinamika Energi, Desa Air Sebayur, Kecamatan Pinang Raya, Kabupaten Bengkulu Utara

Rido Agustian<sup>1\*</sup>, and Murad MS<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*ridoagustian755@gmail.com

\*\*muradms@ft.unp.ac.id

**Abstract.** Mining operations that used in pit Markona PT. Bumi Karya makmur jobsite PT. Cakrawala Dinamika Energi is open pit method. This method will cause a large basin to form so that it is very potential to become a water reservoir area. Based on the analysis of rainfall data for 2009-2018, the planned rainfall was 110,726 mm/day, with different rainfall intensity in each catchment area with a return period of 2 years. The problem solving method is carried out by analyzing several alternative solutions related to handling the discharge of water that entering the pit, there are alternative I, recommending a diversion channel that can minimize runoff discharge by 0.258 m<sup>3</sup>/second. Alternative II, recommendations for optimal sump dimensions to accommodate water discharge with a maximum volume of 38.785 m<sup>3</sup>. Alternative III, recommendation of pump optimization is 5 units to compensate for the dimensions of the existing sump. Based on this alternative analysis, recommend an effective and efficient alternative in pit Markona 2019 is the recommendation of the diversion channel. The settling pond consists of 3 compartments with capacities of each compartment of 7,096.44 m<sup>3</sup>, 7,525.68 m<sup>3</sup> and 6,821.42 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Mine Drainage, Catchment Area, Pump, Sump, Open Channel, Settling Pond

## 1. Pendahuluan

PT. Bumi Karya Makmur merupakan sebuah perusahaan di bidang pertambangan sebagai kontraktor yang menjalankan *jobsite* di PT. Cakrawala Dinamika Energi yang berlokasi di daerah Lembah Duri desa Air Sebayur, kecamatan Pinang Raya, Kabupaten Bengkulu Utara.

Metode penambangan yang digunakan oleh PT. Bumi Karya Makmur yaitu menggunakan metode tambang terbuka/*open pit*. Penerapan metode *open pit* ini akan menyebabkan terbentuknya cekungan yang luas sehingga sangat potensial untuk menjadi daerah tampungan air, baik yang berasal dari air limpasan permukaan maupun air tanah<sup>[1]</sup>. Salah satunya di *pit* Markona penambangan batubara PT. Bumi Karya Makmur jobsite PT. Cakrawala Dinamika Energi.

Pada data curah hujan tahun 2018, curah hujan tertinggi di daerah penelitian mencapai 143 mm/hari dengan kumulatif curah hujan mencapai 3.831 mm/tahun

(*Engineering Department PT. BKM*). Pada saat kondisi cuaca ekstrim berupa curah hujan yang tinggi maka air yang berasal dari air limpasan akan menggenangi lantai dasar (*bottom pit*) dan berpotensi menjadi salah satu penyebab berlumpurnya *front* penambangan dan menyebabkan terhentinya proses produksi untuk sementara waktu.

Penyaliran tambang merupakan salah satu aspek penting pada tambang terbuka terkait dengan kondisi kerja, keselamatan, produktivitas dan lingkungan dimana penyaliran tambang bertujuan untuk meminimalkan air yang masuk ke dalam *front* penambangan serta mengeluarkan air dari area *front* penambangan (proses pemompaan). PT. Bumi Karya Makmur akan melakukan aktivitas penimbunan material *overburden* dari *front* di wilayah Selatan ke wilayah Utara yang merupakan zona *mine out*. Rencana penimbunan ini direncanakan berlangsung sepanjang tahun 2019. Aktivitas ini dilakukan karena jumlah *overburden* yang meningkat,

sementara ketersediaan lahan disposal di *pit* tidak bertambah. Dampak dari aktivitas ini yaitu terjadinya pendangkalan saluran terbuka akibat kemajuan tambang dan sedimentasi dari perluasan disposal. Selain itu dimensi *sump* dan sistem pemompaan yang ada juga belum mampu mengimbangi debit air yang masuk ke pit. Kapasitas *sump* sebelumnya adalah sebesar 16.290 m<sup>3</sup> sedangkan debit air yang masuk mencapai 2.665 m<sup>3</sup>/jam sehingga perlu dilakukan upaya yang optimal untuk penanganan debit air yang masuk ke *pit* serta evaluasi dimensi *sump* dan saluran terbuka yang ideal agar dapat menampung debit limpasan secara optimal.

Dalam hal ini, diperlukan evaluasi sistem penyaliran tambang untuk tahun 2019, dengan memperhitungkan debit air yang masuk ke *pit* berdasarkan analisis curah hujan, debit air tanah dan luas *catchment area* di *pit* Markona PT. Bumi Karya Makmur. Evaluasi ini diharapkan dapat menanggulangi debit air yang masuk sehingga dapat mensinergikan produksi.

## 2. Lokasi Penelitian

Kegiatan eksploitasi pertambangan batubara PT. Bumi Karya Makmur *jobsite* PT. Cakrawala Dinamika Energi secara administratif terletak di Dusun Lembah Duri, Desa Air Sebayur, Kecamatan Pinang Raya, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu dengan luas area 40 Hektar. Secara geografis, PT. Bumi Karya Makmur berada pada 101°55' 37.9" – 101°57'41.4" BT dan 3°21'19.1" - 3°24'34.7" LS. PT. Bumi Karya Makmur terletak kurang lebih 73 km sebelah utara kota Bengkulu. Lokasi penambangan dapat dicapai dari kota Bengkulu.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 15 Februari 2019 – 25 Maret 2019. Lokasi penelitian ini terletak di Desa Air Sebayur, Kecamatan Pinang Raya, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu

### 3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*applied research*) dengan melakukan eksperimen yaitu

menggabungkan (korelasional) teori dan data lapangan untuk pemecahan masalah. Data yang akan ditampilkan pada tugas akhir ini adalah data kuantitatif (berupa angka-angka). Metode penelitian kuantitatif dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu. Teknik pengambilan sampel pada umumnya dilakukan secara random, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Metode kuantitatif sering juga disebut metode tradisional, *positivistic*<sup>[2]</sup>.

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu mencari bahan-bahan pustaka yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian. Selanjutnya orientasi lapangan dengan melakukan peninjauan langsung ke lapangan dan untuk mengamati langsung kondisi daerah yang akan dilakukan penelitian serta dapat mengangkat permasalahan yang ada untuk dijadikan topik dalam suatu penelitian. Kemudian pengambilan data lapangan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa pengukuran debit air tanah dan luas *catchment area*. Data sekunder berupa peta topografi,, data curah hujan, peta rencana penambangan *pit* Markona tahun 2019, data ketersediaan dan spesifikasi pompa, data TSS, geometri *sump*, saluran terbuka dan KPL.

### 3.3 Alternatif Pemecahan Masalah

Alternatif pemecahan masalah terkait sistem penyaliran tambang di *pit* Markona PT.BKM yang akan dianalisis dalam penelitian ini yaitu:

#### 1. Alternatif I

Rekomendasi rancangan *open channel* (saluran pengalihan) di area *high wall* untuk mencegah air limpasan agar tidak masuk ke pit, sehingga dapat mengurangi debit air limpasan yang masuk ke area *pit* agar genangan air pada *sump* dan *bottom pit* dapat diminimalisir.

#### 2. Alternatif II

Rekomendasi pembaharuan rancangan sistem penyaliran tambang yang ideal (*sump* dan *open channel*) berdasarkan analisis debit air yang masuk ke *pit* agar komponen sistem penyaliran tambang mampu menampung debit air yang masuk sehingga air tidak meluap ke area penambangan dan *hauling road*.

#### 3. Alternatif III

Rekomendasi untuk melakukan optimalisasi sistem pemompaan (jumlah dan debit pompa) agar kegiatan mine dewatering mampu mengimbangi debit air yang masuk sehingga kapasitas *sump* yang sudah ada mampu menampung air yang masuk agar air tidak meluap dan mengganggu aktivitas penambangan.

### 3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan setelah mendapatkan data-data yang diperlukan yaitu dengan menggunakan rumus-rumus melalui literatur yang ada serta bantuan *software* tambang, adapun analisis data yang dilakukan antara lain:.

1. Menganalisis luas *catchment area* dengan bantuan *software* tambang.
2. Menganalisis curah hujan rencana dengan metode Gumbel.
3. Menganalisis intensitas hujan dengan rumus Mononobe.
4. Menganalisis debit limpasan permukaan tahun 2019 dengan metode rasional .
5. Menganalisis kondisi aktual dimensi *sump*, saluran terbuka dan KPL
6. Melakukan pengolahan dan analisis data pada setiap alternatif pemecahan masalah
7. Melakukan evaluasi dan menganalisis waktu pengerukan KPL
8. Melakukan analisis alternatif pemecahan masalah untuk mendapatkan alternatif terbaik.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Kondisi Aktual Sistem Penyaliran Tambang

#### 4.1.1 Ketersediaan Pompa

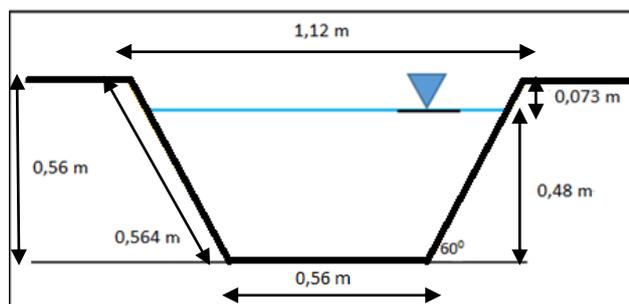
PT. Bumi Karya Makmur memiliki 2 unit pompa dengan model pompa seperti yang tercantum pada Tabel 8. Perhitungan-perhitungan selanjutnya yang melibatkan pompa seperti merencanakan dimensi sump dan saluran terbuka (*open channel*) penulis mempertimbangkan ketersediaan pompa yang ada di PT. Bumi Karya Makmur.

**Tabel 1.** Ketersediaan Pompa PT. BKM

No	Nomor Unit	Pump Model	Keterangan
1	WP-01	Mitsubishi 6D15	Ready
2	WP-02	Mitsubishi 6D15	Ready

#### 4.1.3 Dimensi Saluran Terbuka

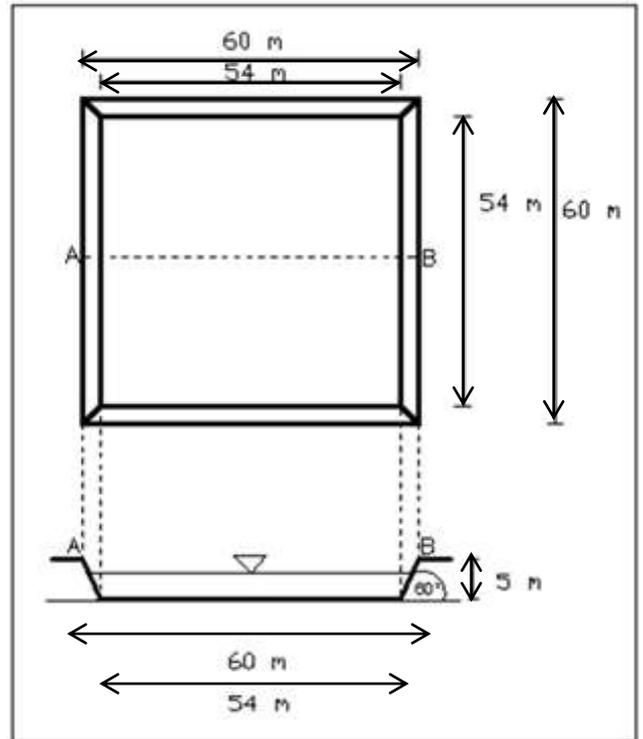
Saluran terbuka (*open channel*) berbentuk trapesium dengan sudut  $60^\circ$ , kedalaman saluran (*h*) 0,56 m, kedalaman aliran (*d*) 0,48 m, panjang sisi luar saluran (*a*) 0,564 m lebar dasar saluran (*b*) 0,56 m, lebar atas saluran (*B*) 1,12 m.



**Gambar 2.** Dimensi Aktual Saluran Terbuka

### 4.1.2 Dimensi Sump Aktual

Dimensi *sump pit* Markona berbentuk trapesium dengan sudut  $60^\circ$ , panjang permukaan 60 m, lebar permukaan 60 m, panjang dasar sumuran 54 m, lebar dasar sumuran 54 m, kedalaman 5 m dengan kapasitas volume sump 16.290  $m^3$ .



**Gambar 3.** Dimensi Aktual Sump Pit Markona

#### 4.1.4 Dimensi Kolam Pengendapan Lumpur

*Settling Pond* (Kolam Pengendapan Lumpur) aktual pada *Pit* Markona PT. BKM terdiri dari tiga kompartemen. Dimensi kompartemen kolam pengendapan yang telah ada tidak mempunyai ukuran dimensi yang sama untuk setiap kompartemennya. Data ukuran dimensi kompartemen kolam pengendapan didapatkan dari analisis peta topografi *pit* Markona PT. BKM dengan menggunakan *software* tambang. data ukuran dimensi kompartemen kolam pengendapan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Dimensi Kolam Pengendapan Lumpur

Kompartemen	Luas ( $m^2$ )		Volume Max ( $m^3$ )
	Atas	Bawah	
1	3.688,03	697,09	7.096,44
2	3.645,09	734,69	7.525,68
3	3.557,50	721,06	6.821,42
TOTAL	10.890,6	2.152,84	21.443,54

## 4.2. Daerah Tangkapan Hujan (Catchment Area)

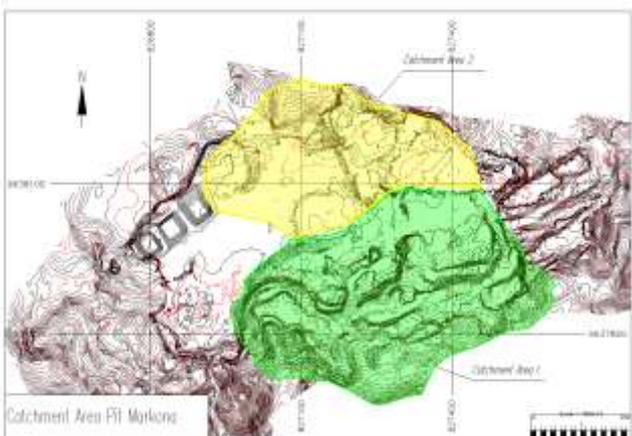
Dalam pembagian daerah tangkapan hujan dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan dan pengamatan pada peta rencana penambangan tahun 2019. Pengamatan langsung di lapangan bertujuan untuk mengetahui arah aliran limpasan air dan koefisien limpasan yang cocok digunakan pada setiap *catchment area*, sehingga nantinya dapat di desain suatu sistem penyaliran yang dapat mengatasi permasalahan yang ada. Pengamatan pada peta rencana penambangan tahun 2019 bertujuan untuk menentukan area yang lebih tinggi dan memiliki kemungkinan untuk menampung air hujan dan mengalirkannya ke lokasi tambang. Luas *catchment area pit* Markona pada penelitian ini diperoleh dengan menggunakan *software* tambang.

**Tabel 3.** Luas *Catchment Area pit* Markona PT. BKM

Tahun Penambangan	Catchment Area	Luas (Ha)
2019	Saluran Pengalihan	4,90
	I	17,75
	II ( <i>Open Channel</i> )	10,60



**Gambar 4.** *Catchment Area* Rencana Saluran Pengalihan



**Gambar 5.** *Catchment Area Pit* Markona (*Area I dan II*)

## 4.3. Nilai Koefisien Limpasan

Nilai koefisien limpasan (C) dipengaruhi oleh tata guna lahan dan kemiringan<sup>[3]</sup>. Dari hasil pengamatan dilapangan dengan mengacu parameter nilai koefisien limpasan diperoleh nilai koefisien limpasan untuk daerah tangkapan hujan saluran pengalihan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai Koefisien Limpasan Saluran Pengalihan

Catchment Area	Nilai Koefisien Limpasan (C)	Kemiringan dan Tata Guna Lahan
Saluran Pengalihan	0,7	>15%, Tumbuhan yang jarang

**Tabel 5.** Nilai Koefisien Limpasan (C) *Pit* Markona

Catchment Area	Nilai Koefisien Limpasan (C)	Kemiringan dan Tata Guna Lahan
I	0,9	>15%, Tanpa Tumbuhan, daerah tambang
II	0,7	>15%, Tanpa Tumbuhan, daerah timbunan

## 4.4. Curah Hujan dan Intensitas Hujan Rencana

Air yang berada di dalam maupun di permukaan bumi mengalami proses yang membentuk siklus yang secara umum disebut siklus hidrologi. Tahapan siklus hidrologi dimulai dari penguapan air dari permukaan tanah dan laut. Peristiwa perubahan air menjadi uap air dan bergerak dari permukaan tanah ke udara disebut evaporasi, sedangkan penguapan air dari tanaman disebut transpirasi. Uap air ini akan terkondensasi pada lapisan atmosfer bumi dan akan terjadi presipitasi. Presipitasi adalah peristiwa jatuhnya cairan atmosfer ke permukaan bumi. Bentuk presipitasi yang paling penting adalah hujan<sup>[3-4]</sup>

**Tabel 6.** Data Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
2009	61.00	95.00	92.00	55.00	32	84.00	95.00	115.00	88.00	111.00	70.00	70.00
2010	72.00	17.00	47.00	37.00	91.00	89.00	61.00	51.00	101.00	97.00	93.00	70.00
2011	90.00	109.00	74.00	45.00	75.00	85.00	80.00	75.00	35.00	82.00	37.00	60.00
2012	101.00	46.50	41.30	98.00	66.00	78.00	61.00	28.00	16.00	172.00	78.50	105.00
2013	84.50	94.00	11.00	26.00	27.50	60.10	70.00	75.00	77.50	89.00	36.00	63.00
2014	81.00	63.00	3.00	34.00	45.00	34.50	64.50	45.50	59.00	123.00	86.00	60.00
2015	31.00	57.00	32.50	65.00	37.00	62.00	46.00	97.00	52.00	34.00	52.00	34.00
2016	50.00	40.00	43.00	85.00	50.00	75.00	36.00	55.00	70.00	85.00	95.00	70.00
2017	46.00	70.00	91.50	38.00	22.50	25.00	45.00	45.00	35.00	50.00	57.50	40.00
2018	31.00	24.00	47.00	69.00	78.00	39.00	23.00	105.50	99.00	61.00	102.00	143.00

Sumber : *Engineering Department* PT. BKM

Perhitungan curah hujan rencana ini dilakukan dengan menggunakan metode distribusi gumbel dengan persamaan berikut<sup>[5-7]</sup>

$$X_t = X_r + k.SD \quad (1)$$

Curah Hujan Harian Rata-rata

$$X_r = \sqrt{\frac{\sum x}{n}} \quad (2)$$

Standart deviation

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X - X_r)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Reduced mean

$$Y_n = -\ln \left( -\ln \frac{(n+1)-m}{n+1} \right) \quad (4)$$

Reduced standart deviation

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Reduced variate

$$Y_{tr} = -\ln \left( -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Curah Hujan Rata-rata } (X_r) &= \sqrt{\frac{\sum x}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{1140,50}{10}} \\ &= 114,05 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standart Deviation } (SD) &= \sqrt{\frac{\sum (X - X_r)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{6.037,23}{10-1}} \\ &= 25,90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reduced mean } (Y_n) &= -\ln \left( -\ln \frac{(n+1)-m}{n+1} \right) \\ &= -\ln \left( -\ln \frac{(10+1)-1}{10+1} \right) \\ &= 2,35 \end{aligned}$$

Perhitungan *Reduced Mean* dilanjutkan sampai urutan sampel (nilai  $m$ ) = 10. Selanjutnya hasil perhitungan *reduced mean* sebanyak 10 sampel ini dirata-ratakan sehingga didapat nilai *reduced meannya* 0,50.

$$\begin{aligned} \text{Reduced standart deviation } (S_n) &= \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{9,02}{10-1}} \\ &= 1,001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reduced Variate } (Y_t) &= -\ln \left( -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right) \\ &= -\ln \left( -\ln \left( \frac{2-1}{2} \right) \right) \\ &= 0,367 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Curah hujan rencana} &= X_r + k \cdot SD \\ &= X_r + \frac{Y_{tr} - Y_n}{S_n} \cdot SD \\ &= 110,726 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Intensitas hujan rencana dihitung berdasarkan nilai curah hujan rencana pada periode ulang 2 tahun dengan persamaan *Mononobe*. Berdasarkan perhitungan, telah ditentukan besarnya curah hujan rencana pada periode ulang 2 tahun adalah sebesar 110,726 mm/hari. Penentuan intensitas hujan bertujuan untuk mengkonversikan curah hujan harian menjadi curah hujan dalam satuan jam dengan mempertimbangkan harga  $t_c$ . Perhitungan intensitas hujan rencana dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini<sup>[7-9]</sup>:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left( \frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

dimana nilai  $t_c$  ditentukan oleh rumus *Kirpich* sebagai berikut<sup>[8]</sup>:

$$t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (8)$$

Keterangan:

- I = Intensitas Hujan Rencana (mm/jam)
- R = Curah Hujan Rencana (mm/hari)
- $t_c$  = waktu konsentrasi curah hujan (jam),
- L = Panjang Lintasan (m)
- S = Beda ketinggian dibagi panjang lintasan

Berdasarkan analisis pada peta topografi dan *catchment area* diketahui panjang kode *line* dengan panjang 153,852 meter dan beda tinggi 34 meter. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai waktu konsentrasi:

$$\begin{aligned} t_c &= 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \\ t_c &= 0,0195 \times 153,852^{0,77} \times (34/153,852)^{-0,385} \\ t_c &= 1,68 \text{ jam} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan intensitas hujan untuk *catchment area* saluran pengalihan yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I &= \frac{R_{24}}{24} \times \left( \frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \\ &= \frac{110,726 \text{ mm/hari}}{24} \times \left( \frac{24}{1,68} \right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 27,11 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan Intensitas selanjutnya (*catchment area* I dan II) dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Nilai Intensitas Hujan Rencana Tahun 2019

Catchment Area	Intensitas Hujan (mm/jam)
CA I	16,46
CA II ( <i>Open Channel</i> )	13,40

#### 4.5 Perhitungan Debit Air Limpasan

Debit air limpasan dapat ditentukan setelah diketahui luas *catchment area*/daerah tangkapan hujan, nilai intensitas curah hujan dan nilai koefisien limpasan. Perhitungan teoritis debit air limpasan ditunjukkan pada rumus berikut<sup>[8-10]</sup>:

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (9)$$

Keterangan :

Q = Debit Limpasan (m<sup>3</sup>/detik)

C = Koefisien Limpasan

I = Intensitas Hujan Rencana (mm/jam)

A = Luasan Daerah (Ha)

Perhitungan debit air limpasan permukaan yang masuk ke saluran pengalihan:

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0,00278 \times 0,7 \times 27,11 \text{ mm/jam} \times 4,90 \text{ Ha}$$

$$Q = 0,258 \text{ m}^3/\text{detik}$$

(Hasil Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 8)

**Tabel 8.** Nilai Debit Air Limpasan Permukaan

Catchment Area	Debit (Q) (m <sup>3</sup> /s)	Debit (Q) (m <sup>3</sup> /jam)
CA I	0,731	2632,764
CA II ( <i>Open Channel</i> )	0,276	995,673

#### 4.6 Perhitungan Debit Air Tanah

**Tabel 9.** Pengukuran Debit Air Tanah

No	Tanggal Pengukuran	Durasi (jam)	Cuaca	Perhitungan Air Tanah					
				Tinggi Air (m)			Volume (m <sup>3</sup> )		
				Awal	Akhir	Δh	Awal	Akhir	Δv
1	28 Februari 2019	1	cerah	0.50	0.56	0.06	332.900	372.848	39.948
2	01 Maret 2019	1	cerah	0.70	0.74	0.04	466.060	492.692	26.632
3	02 Maret 2019	1	cerah	0.75	0.80	0.05	499.350	532.640	33.290
4	04 Maret 2019	1	cerah	0.82	0.89	0.07	545.956	592.562	46.606
5	05 Maret 2019	1	cerah	1.77	1.79	0.02	1178.466	1191.782	13.316

Untuk mendapatkan  $\overline{\Delta Vol}$ , yaitu dengan merata-ratakan setiap perubahan volume air yang terjadi dan membagi dengan jumlah data ada<sup>[11]</sup>.

$$\overline{\Delta Vol} = \frac{39,948 + 26,632 + 33,290 + 46,606 + 13,316}{5}$$

$$= 31,958 \text{ m}^3$$

Perhitungan debit air tanah dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut<sup>[11]</sup>.

$$Q = \frac{\overline{\Delta Vol}}{\Delta Waktu} \quad (10)$$

$$Q = \frac{31,958 \text{ m}^3}{1 \text{ jam}} = 31,958 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q = \frac{31,958 \text{ m}^3/\text{jam}}{3600 \text{ detik}} = 0,009 \text{ m}^3/\text{detik}$$

#### 4.7 Perhitungan Debit Total

Debit keseluruhan yang dimaksud adalah debit limpasan air permukaan ditambah dengan debit air tanah. Berdasarkan hasil perhitungan debit limpasan permukaan dan air tanah, maka didapatkan nilai debit limpasan total air limpasan yang mengalir ke masing-masing *catchment area*. Adapun perhitungan total debit air limpasan sebagai berikut:

*Catchment Area* I:

$$\begin{aligned} \text{Debit total} &= Q \text{ air permukaan} + Q \text{ air tanah} \\ &= 0,731 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,740 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,740 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \\ &= 2665,164 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

*Catchment Area* II:

$$\begin{aligned} \text{Debit total} &= Q \text{ air permukaan} \\ &= 0,276 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,692 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 = 995,673 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

#### 4.8 Alternatif I (Rekomendasi Saluran Pengalihan)

Rekomendasi rancangan *open channel* (saluran pengalihan) di area *high wall* untuk mencegah air limpasan agar tidak masuk ke *pit*, sehingga dapat mengurangi debit air yang masuk ke area pit agar genangan air pada *sump* dan *bottom pit* dapat diminimalisir.

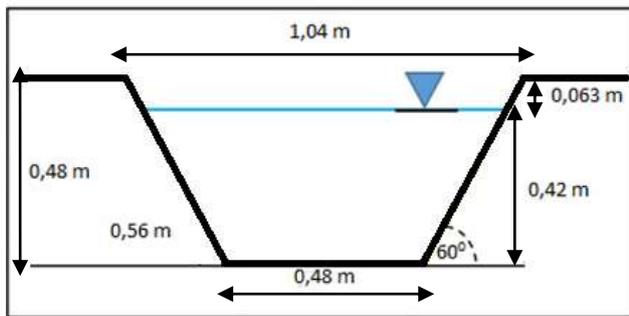
Salah satu solusi dalam mengatasi potensi terjadinya genangan air pada *pit* penambangan yaitu dengan menggunakan sistem paritan yang baik<sup>[12]</sup>. Saluran pengalihan yang dibuat berbentuk trapesium, material pembentukannya adalah tanah dengan koefisien kekerasan dinding (n) 0,030 dan penentuan dimensinya menggunakan persamaan Manning. Kemiringan dasar saluran terbuka ditentukan dengan pertimbangan kondisi topografi daerah penelitian, pada umumnya kemiringan dibuat (S) = 0,25% – 0,5% agar aliran dapat mengalir secara alamiah, tidak terjadi erosi dan pengendapan partikel yang berlebihan. Perhitungan kapasitas pengaliran suatu saluran terbuka dapat dilakukan dengan rumus *manning*<sup>[13-14]</sup>.

$$Q = 1/n \cdot A \cdot S^{1/2} \cdot R^{2/3} \quad (11)$$

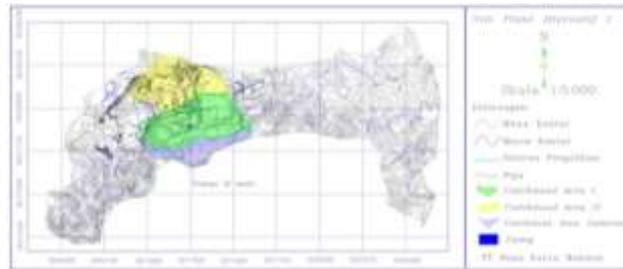
Maka dimensi saluran pengalihan (*open channel*) pada tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 6.

Tabel 10. Rancangan Dimensi Saluran Pengalihan

Rancangan Saluran Pengalihan	
Q (m <sup>3</sup> /detik)	0,258
α (°)	60°
N	0,030
d (m)	0,42
h (m)	0,48
b (m)	0,48
A (m <sup>2</sup> )	0,31
B (m)	1,04
a (m)	0,56



Gambar 6. Visualisasi Dimensi Saluran Pengalihan



Gambar 7. Site Plan Alternatif I

#### 4.9 Alternatif II (Rekomendasi Dimensi Sump dan Saluran Terbuka)

Volume *sump* yang harus dibuat adalah selisih antara volume air total yang masuk dan volume pemompaan<sup>[14]</sup>

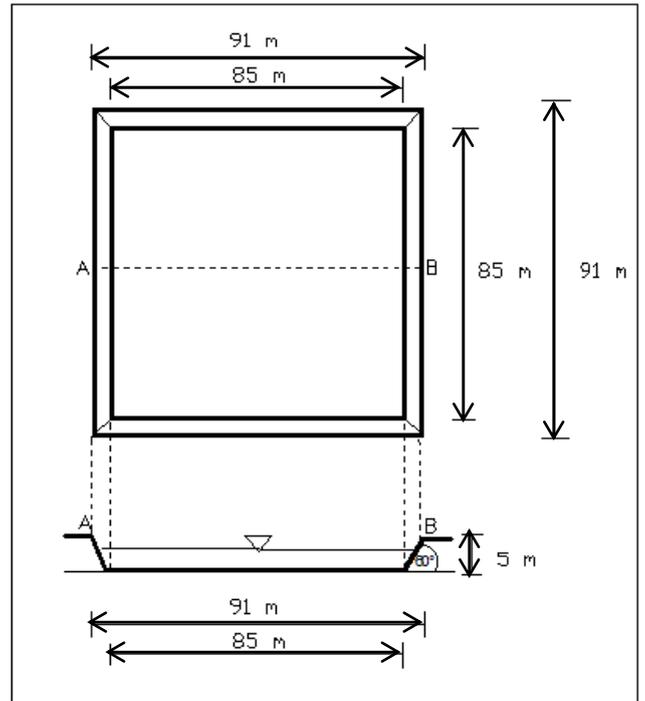
$$\begin{aligned}
 V_{\text{sump}} &= \text{Volume air total} - \text{Volume pemompaan} \\
 &= 63.963,943 \text{ m}^3/\text{hari} - 25.600 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 38.363,943 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Volume maksimal yang dapat ditampung oleh *sump* dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$V = \left( \frac{x^2 + y^2}{2} \right) \times z \quad (12)$$

$$V = \left[ \frac{(91 \text{ m} \times 91 \text{ m}) + (85 \text{ m} \times 85 \text{ m})}{2} \right] \times 5 \text{ m}$$

$$V = 38.765 \text{ m}^3$$

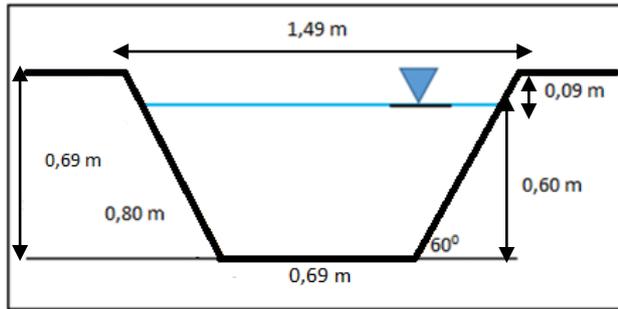


Gambar 8. Rekomendasi Dimensi Sump pada Pit Markona

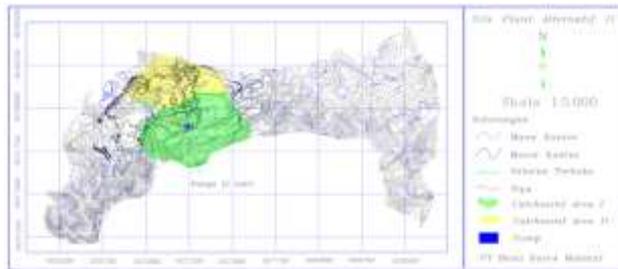
Saluran terbuka ini mengaliri debit pemompaan dengan 2 pompa sebesar 0,356 m<sup>3</sup>/detik dan debit limpasan disekitar saluran terbuka sebesar 0,277 m<sup>3</sup>/detik. Material pembentuk saluran adalah tanah sehingga nilai koefisien kekerasan dinding (n) 0,030 dan gradien kemiringan dasar saluran 0,50%. Maka dimensi saluran terbuka (*open channel*) pada tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 9.

Tabel 11. Rancangan Dimensi Saluran Terbuka

Rancangan Saluran Terbuka	
Q (m <sup>3</sup> /detik)	0,632
α (°)	60°
N	0,03
d (m)	0,60
h (m)	0,69
b (m)	0,69
A (m <sup>2</sup> )	0,62
B (m)	1,49
a (m)	0,80



Gambar 9. Visualisasi Dimensi Saluran Terbuka



Gambar 10. Site Plant Alternatif II

#### 4.10 Alternatif III (Rekomendasi Optimalisasi Pompa)

Debit pompa yang dibutuhkan dapat ditentukan setelah jumlah air limpasan yang terkumpul pada kolam (*sump*). Diketahui Jumlah debit air limpasan yang terkumpul pada sumuran (*sump*) berasal dari limpasan air permukaan dari zona catchment area I dan air tanah yang masuk kedalam pit, sehingga jumlah air yang terkumpul pada sumuran (*sump*) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit Air Limpasan CA I} &= 0,731 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Debit Air Tanah} &= 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Debit totat} &= Q \text{ air permukaan} + Q \text{ air tanah} \\ &= 0,731 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,740 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 63.963,943 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Maka debit pompa yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut<sup>[15]</sup>

$$Q_{\text{pompa}} = \frac{Q_{\text{total}}}{(24 \times 3600 \times D)} \quad (13)$$

Keterangan:

D = Lama waktu pemompaan  
= 20 jam  
= 0,833 hari

Q = Debit air

$Q_{\text{pompa}}$  = Debit pompa yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} Q_{\text{pompa}} &= \left( \frac{63.963,943 \text{ m}^3/\text{hari}}{24 \times 3600 \times 0,833 \text{ hari}} \right) \\ &= 0,888 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 3.196,80 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

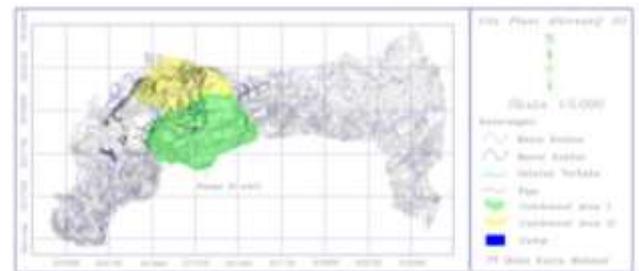
Setelah debit pompa yang dibutuhkan dan head total diketahui maka dapat dilakukan pemilihan pompa yang sesuai dengan kebutuhan kemajuan tambang. Pompa yang digunakan adalah pompa *Mitsubishi 6D15*, dengan debit

pemompaan  $640 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan waktu pemompaan selama 20 jam maka jumlah pompa yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Pompa} = \left( \frac{Q_{\text{total}}}{Q_{\text{pompa}}} \right) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Pompa} &= \left( \frac{3.196,80 \text{ m}^3/\text{jam}}{640 \text{ m}^3/\text{jam}} \right) \\ &= 5 \text{ unit} \end{aligned}$$

Sehingga diketahui jumlah pompa yang dibutuhkan dengan debit pompa  $640 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan waktu pemompaan selama 20 jam adalah sebanyak 5 unit pompa dengan spesifikasi yang sama.



Gambar 11. Site Plant Alternatif III

#### 4.11 Evaluasi Kolam Pengendapan Lumpur

Berikut perhitungan persen solid dan persen air di tahun 2019. Diketahui debit air yang masuk ke dalam kolam pengendapan lumpur tahun 2019 adalah  $0,632 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Debit air yang masuk pada kolam pengendapan berasal dari penjumlahan hasil debit pemompaan *sump* dan debit air limpasan di sekitar saluran terbuka. Residu tersuspensi dapat dicari dengan Persamaan.

$$\begin{aligned} \text{Residu tersuspensi} &= 9,600 \text{ gr}/\text{m}^3 \times 0,632 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Residu tersuspensi} &= 6,067 \text{ gr}/\text{detik} \end{aligned}$$

Diketahui  $\rho$  partikel padatan adalah  $1730 \text{ kg}/\text{m}^3$  maka volume padatan yang masuk adalah<sup>[16]</sup>

$$\text{Volume padatan masuk (Vpm)} = \frac{6,067 \text{ gr}/\text{detik}}{1730000 \text{ gr}/\text{m}^3}$$

$$\text{Volume padatan masuk (Vpm)} = 0,000000350 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Sehingga persentase padatan yang masuk terhadap total air dan padatan adalah:

$$\% \text{ Solid} = \left( \frac{0,000000350 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,632 \text{ m}^3/\text{detik}} \right) \times 100 = 0,000554\%$$

$$\% \text{ Air} = (100 - 0,000554)\% = 99,9994\%$$

Berdasarkan data perhitungan persen *solid* padatan pada tahun 2019 adalah 0,000554 % dan persen air 99,9994 % dengan volume padatan yang masuk sebesar 0,000000350 m<sup>3</sup>/detik maka untuk kecepatan pengendapan persen padatan yang kurang dari 40% digunakan rumus “Stokes”

$$V_t = \left[ \frac{g \times D^2 \times (\rho_p - \rho_a)}{18 \mu} \right] \quad (15)$$

$$V_t = \left[ \frac{9,8 \text{ m}^2/\text{s} \times (0,0000625 \text{ m})^2 \times (1730 - 997) \text{ kg}/\text{m}^3}{18 \times 0,890 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{detik}} \right]$$

$$V_t = 0,0017516 \text{ m}/\text{detik}$$

Letak kolam pengendapan pada *pit* Markona PT. BKM telah sesuai dengan ketentuan peletakan kolam pengendapan diantaranya yaitu kolam pengendapan yang dibuat telah berada di luar area penambangan sehingga tidak akan mengganggu kegiatan penambangan, dibuat pada daerah yang rendah dengan telah memperhatikan keadaan topografi daerah penambangan dan letaknya diusahakan dekat dengan saluran alami yang akan menuju ke pembuangan akhir. Bentuk kolam pengendapan yang dibuat yaitu berbentuk persegi panjang dan berkelok-kelok. Kolam pengendapan aktual terdiri dari 3 kompartemen.

Dimensi kompartemen kolam pengendapan yang telah ada tidak mempunyai ukuran dimensi yang sama untuk setiap kompartemennya. Data ukuran dimensi kompartemen kolam pengendapan didapatkan dari analisis peta topografi *pit* Markona PT. BKM dengan menggunakan *software* tambang. Analisis dilakukan dengan meng-*input* peta situasi penambangan PT. BKM tahun 2019. Kolam pengendapan terdiri atas 3 kompartemen dan data ukuran dimensi kompartemen kolam pengendapan dapat dilihat pada Tabel 2.

Setelah diketahui dimensi dari kolam pengendapan yang telah ada (lihat Tabel 2) maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap (*tv*) pada setiap kompartemen dengan menggunakan rumus berikut:

$$tv = \frac{h}{V_t} \quad (16)$$

$$tv_1 = \frac{3,2 \text{ m}}{0,0017516 \text{ m}/\text{detik}} = 1826,90 \text{ detik}$$

$$tv_1 = 1826,90 \text{ detik}/60 \text{ detik} = 30,44 \text{ menit}$$

Hasil perhitungan waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap pada ketiga kompartemen di tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 33. Kecepatan air dalam kolam dapat diketahui dengan persamaan berikut.

$$V_h = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{L_1 + L_2}{2} \times h}$$

$$V_{h1} = \frac{0,632}{\frac{65 + 29}{2} \times 3.2} = 0,0054 \text{ m}/\text{detik}$$

Nilai *P* untuk setiap kompartemennya berbeda sehingga waktu yang dibutuhkan material untuk keluar dari kolam pengendapan berbeda pula. KPL/*Settling Pond* yang memiliki 3 kompartemen dengan ukuran dimensinya yang berbeda-beda. Berikut adalah nilai *P* untuk setiap kompartemen:

$$\begin{aligned} P_{\text{kompartemen 1}} &= 65 \text{ m} \\ P_{\text{kompartemen 2}} &= 65 \text{ m} + 8,5 \text{ m} + 60 \text{ m} = 133,5 \text{ m} \\ P_{\text{kompartemen 3}} &= 65 \text{ m} + 8,5 \text{ m} + 60 \text{ m} + 8,5 \text{ m} + 65 \text{ m} \\ &= 207 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga *th* (waktu yang dibutuhkan air dan material tersuspensi keluar dari kolam pengendapan) sejauh *P<sub>total</sub>* dapat dicari dengan rumus berikut.

$$th = \frac{\left( \frac{P}{V_h} \right)}{60 \text{ detik}}$$

$$th_1 = \frac{\left( \frac{65 \text{ m}}{0,0054 \text{ m}/\text{detik}} \right)}{60 \text{ detik}} = 200,21 \text{ menit}$$

$$th_2 = 400,99 \text{ menit}$$

$$th_3 = 583,83 \text{ menit}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan *tv* < *th*. Dengan membandingkan waktu pengendapan dan waktu keluarnya air dan material dapat digunakan rumus berikut untuk mengetahui persentase pengendapan<sup>[17]</sup>.

$$\% \text{Pengendapan} = \frac{th}{(th + tv)} \times 100 \quad (17)$$

$$\% \text{Pengendapan K1} = 86,79 \%$$

$$\% \text{Pengendapan K2} = 12,30 \%$$

$$\% \text{Pengendapan K3} = 0,85 \%$$

Setelah % Pengendapan pada masing-masing kompartemen diketahui, kemudian dapat dihitung padatan yang masuk pada setiap kompartemen dengan debit 0,632 m<sup>3</sup>/detik dan volume padatan masuk (*vpm*) sebesar 0,000000350 m<sup>3</sup>/detik yaitu:

$$K1 = 0,000000350 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 20 \text{ jam} \times 86,79\% = 21,91 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$K2 = 0,000000350 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 20 \text{ jam} \times 12,30\% = 3,10 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$K3 = 0,000000350 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 20 \text{ jam} \times 0,85\% = 0,21 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk menjaga supaya kolam pengendapan tetap berfungsi sebagaimana mestinya, maka perlu dilakukan perawatan secara teratur yaitu dengan melakukan pengerukan terhadap kolam pengendapan. Pengerukan

kolam akan dilakukan jika lumpur sudah terendapkan ¼ dari kapasitas kolam. Persentase padatan yang masuk akan berbeda setiap kompartemennya, maka waktu pengerukkan masing-masing kompartemen akan berbeda pula. Sehingga waktu pengerukan<sup>[18]</sup>:

$$T = \frac{\frac{1}{4} \text{Kapasitas maksimum kompartemen (m}^3\text{)}}{\text{Volume padatan yang masuk (m}^3\text{/hari)}} \quad (18)$$

Hasil perhitungan waktu pengerukan untuk setiap kompartemen dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Periode Pengerukan KPL

Kompartemen	Kapasitas Kompartemen (m <sup>3</sup> )	Volume Pengendapan (m <sup>3</sup> )	Waktu Pengerukan (Hari)
1	7.096,44	34,67	80,94
2	7.525,68	3,10	605,55
3	6.821,42	0,21	7878,92

#### 4.12 Rekapitulasi Hasil Analisis Data

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data pada setiap alternatif pemecahan masalah, selanjutnya didapatkan rekapitulasi hasil analisis data pada tabel berikut:

**Tabel 13.** Rekapitulasi Hasil Analisis Data

Alternatif I	
Debit Total (m <sup>3</sup> /detik)	0.740
Jumlah Pompa yang digunakan	2 unit
Debit Pemompaan (m <sup>3</sup> /detik)	0.356
Kapasitas Sump Aktual (m <sup>3</sup> )	16290
Debit Air pada Saluran Pengalihan (m <sup>3</sup> /detik)	0.258
Debit Air yang masuk setelah adanya saluran pengalihan (m <sup>3</sup> /detik)	0.481
Debit air yang harus ditampung (m <sup>3</sup> /detik)	0.126
Kapasitas Sump yang dibutuhkan (m <sup>3</sup> )	10879.303
Keterangan: Sump Aktual mampu menampung debit air yang masuk	
Alternatif II	
Debit total (m <sup>3</sup> /detik)	0.740
Kapasitas Sump Aktual (m <sup>3</sup> )	16.290
Kapasitas Sump yang dibutuhkan (m <sup>3</sup> )	38.765
Debit pemompaan yang dibutuhkan (m <sup>3</sup> /detik)	0.356
Debit satu unit pompa Mitsubishi 6D15 (m <sup>3</sup> /detik)	0.178
Jumlah pompa yang digunakan	2 unit
Keterangan: Perlu dilakukan Perluasan Dimensi Sump menjadi (91m x 91m untuk luas atas), (85m x 85m untuk luas bawah)	
Alternatif III	
Debit Total (m <sup>3</sup> /detik)	0.740
Debit Pemompaan yang dibutuhkan (m <sup>3</sup> /detik)	0.888
Debit satu unit pompa Mitsubishi 6D15 (m <sup>3</sup> /detik)	0.178
Kapasitas Sump Aktual (m <sup>3</sup> )	16290
Jumlah Pompa Aktual	2 unit
Jumlah Pompa yang dibutuhkan	5 unit
Keterangan: Perlu dilakukan penambahan 3 unit pompa Mitsubishi 6D15	

Berdasarkan analisis pada setiap alternatif pemecahan masalah dan rekapitulasi hasil analisis data di atas, maka penulis merekomendasikan alternatif pemecahan masalah yang lebih efektif dan efisien untuk pemecahan masalah terkait sistem penyaliran tambang tahun 2019 di *pit* Markona PT. Bumi Karya Makmur yaitu Alternatif I

(rekomendasi saluran pengalihan), dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil analisis data dapat dilihat saluran pengalihan yang direncanakan mampu meminimalisir debit air limpasan sebesar 0,258 m<sup>3</sup>/detik dari total air yang masuk yaitu 0,740 m<sup>3</sup>/detik.
- Dengan adanya saluran pengalihan ini perusahaan tidak perlu melakukan perluasan dimensi *sump*.
- Perusahaan tidak perlu melakukan penambahan jumlah pompa karena dengan adanya saluran pengalihan, air yang masuk ke *sump* dapat diatasi dengan menggunakan 2 unit pompa.
- Pembuatan saluran pengalihan (Alternatif I) lebih efektif dan efisien untuk dilakukan dibandingkan dengan melakukan perluasan dimensi *sump* aktual yang sudah ada (Alternatif II).
- Pembuatan saluran pengalihan (Alternatif I) lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan penambahan tiga unit pompa (Alternatif III), karena ketersediaan pompa di perusahaan saat ini yaitu hanya 2 unit pompa, selain itu biaya operasional pemompaan akan semakin meningkat apabila dilakukan penambahan unit pompa menjadi 5 unit.
- Debit air total yang harus ditampung pada *sump* dapat diminimalisir menjadi 0,126 m<sup>3</sup>/detik atau 10.879,303 m<sup>3</sup>/hari dengan adanya saluran pengalihan ini sedangkan kapasitas *sump* aktual sebesar 16.290 m<sup>3</sup> maka kapasitas *sump* aktual sudah mampu menampung debit air limpasan maupun debit air tanah dan diharapkan dapat mengurangi genangan air pada *front* penambangan yang dapat mengganggu aktivitas penambangan (kegiatan *coal getting*) sehingga perusahaan dapat meningkatkan pencapaian target produksi.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

- Debit air yang masuk ke *pit* Markona penambangan batubara PT. Bumi Karya Makmur tahun 2019:
  - Air limpasan CA Saluran Pengalihan = 930,695 m<sup>3</sup>/jam, CA I = 2.632,764 m<sup>3</sup>/jam dan CA II = 995,673 m<sup>3</sup>/jam.
  - Air tanah sebesar 31,958 m<sup>3</sup>/jam
- Kondisi sistem penyaliran tambang aktual yaitu:
  - Dimensi *sump* berbentuk trapesium dengan sudut 60°, panjang permukaan 60 m, lebar permukaan 60 m, panjang dasar sumuran 54 m, lebar dasar sumuran 54 m, kedalaman 5 m dengan kapasitas volume *sump* 16.290 m<sup>3</sup>.
  - Dimensi saluran terbuka berbentuk trapesium dengan sudut 60°, kedalaman saluran (h) 0,56 m, kedalaman aliran (d) 0,48 m, panjang sisi luar saluran (a) 0,564 m, lebar dasar saluran (b) 0,56 m, dan lebar atas saluran (B) 1,12 m.

3. Kapasitas kolam pengendapan (*setling pond*) pada kompartemen 1 sebesar 7096,44 m<sup>3</sup>, kompartemen 2 sebesar 7.525,68 m<sup>3</sup>, kompartemen 3 sebesar 6.821,42 m<sup>3</sup>.
4. Berdasarkan analisis pada setiap alternatif pemecahan masalah didapat:
  - a. Alternatif I, rancangan bentuk dan ukuran saluran pengalihan berbentuk trapesium dengan sudut 60°, kedalaman saluran (h) 0,56 m, kedalaman aliran (d) 0,48 m, panjang sisi luar saluran (a) 0,564 m, lebar dasar saluran (b) 0,56 m, dan lebar atas saluran (B) 1,12 m. Saluran ini dapat meminimalisir air limpasan sebesar 0,258 m<sup>3</sup>/detik.
  - b. Alternatif II, rekomendasi rancangan bentuk dan ukuran *sump* yang optimal untuk menampung debit air yang masuk pada *pit* Markona yaitu berbentuk trapesium dengan sudut 60°, luas permukaan *sump* 91 m x 91 m, dasar *sump* 85 m x 85 m, kedalaman *sump* 5 m serta kapasitas tampung keseluruhan 38.765 m<sup>3</sup>. Adapun rekomendasi rancangan bentuk dan ukuran saluran terbuka setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh kedalaman saluran (h) 0,60 m, kedalaman aliran (d) 0,69 m, panjang sisi luar saluran (a) 0,80 m, lebar dasar saluran (b) 0,69 m, dan lebar atas saluran (B) 1,49 m.
  - c. Alternatif III, debit pompa yang dibutuhkan sebesar 3.196,80 m<sup>3</sup>/jam dengan adanya optimalisasi pemompaan berdasarkan kebutuhan pompa yaitu sebanyak 5 unit pompa maka kapasitas aktual *sump* yang sudah ada dapat mengimbangi debit air yang masuk.
  - d. Berdasarkan analisis dari ketiga alternatif pemecahan masalah, didapat alternatif yang lebih efektif dan efisien untuk pemecahan masalah terkait sistem penyaliran tambang tahun 2019 di *pit* Markona PT. Bumi Karya Makmur yaitu Alternatif I, rekomendasi saluran pengalihan dengan pertimbangan perusahaan tidak perlu melakukan perluasan dimensi *sump* maupun penambahan jumlah pompa.

## 5.2. Saran

1. Dalam mengestimasi debit air tanah akan semakin baik jika sampel pengukuran yang digunakan semakin banyak.
2. Perlu adanya perawatan saluran terbuka dan kolam pengendap lumpur secara teratur sesuai dengan perencanaan penulis, agar saluran terbuka dan kolam pengendap lumpur di PT. Bumi Karya Makmur *jobsite* PT. CDE dapat berfungsi dengan baik dan optimal.
3. Upaya perawatan *settling pond* difokuskan pada kompartemen 1 dengan pengerukan setiap 81 hari, karena volume pengendapan terbesar terdapat pada kompartemen 1.

## Daftar Pustaka

- [1] Endriantho, M., Ramli, M., Hasanuddin, T. P. U., & Hasanuddin, T. G. U. (2013). *Perencanaan Sistem*

- Penyaliran Tambang Terbuka Batubara. Jurnal Geosains*, 9(01).
- [2] Sugiyono, P. (2011). *Metodologi penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- [3] Bambang, Triatmodjo. (2008) *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- [4] Sosrodarsono. (1993). *Hidrologi Untuk Pengaliran*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [5] Rudi, Sayoga Gautama. (1999). *Sistem Penyaliran Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan FTM: ITB
- [6] Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: PT. Andi.
- [7] Putri, R., & Iskandar, H. (2018). *Evaluasi Sistem Penirisan Tambang di Pit 2 Blok Keluang PT Baturona Adimulya Musi Banyuasin Sumatera Selatan. Jurnal Pertambangan*, 2(1).
- [8] Yusran, K. (2015). *Sistem Penyaliran Tambang Pit Ab Eks Pada PT. Andalan Mining Jobsite Kaltim Prima Coal Sangatta Kalimantan Timur. Jurnal Geomine*, 3(1).
- [9] Girsang, T. R., & Ibrahim, E. (2017). *Perencanaan Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Di Pt. Bara Anugrah Sejahtera Lokasi Pulau Panggung Muara Enim Sumatera Selatan. Jurnal Pertambangan*, 1(2).
- [10] Ashdak, Chay. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [11] Gultom, R., Yusuf, M., & Abro, M. A. (2018). *Evaluasi Kapasitas Pemompaan Dalam Sistem Penyaliran Pada Pit 1 Timur Penambangan Banko Barat Pt. Bukit Asam (Persero), Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Jurnal Pertambangan*, 2(1).
- [12] Zanni, A., Ashari, Y., & Guntoro, D. (2015). *Pencegahan Dan Penanggulangan Air Limpasan Yang Masuk Ke Kolam Blok Barat Terhadap Pit Blok Timur Penambangan Batubara PT. Indoasia Cemerlang (PT. IAC) Desa Sungai Cuka, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan*.
- [13] Fall. (2004). *Watershed Engineering*. BEE 473.
- [14] Suyono, S., Titisariwati, I., & Mustaqfirin, A. (2015). *Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Pit 3000 Block 5 South Block PT. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi Pertambangan*, 1(1).
- [15] Sularso dan Haruo Tahara. (2000). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [16] Purwaningsih, D. A. (2015). *Kajian Dimensi Penyaliran pada Tambang Terbuka PT Baturona Adimulya Kabupaten Musi Banyuasin Propinsi Sumatera Selatan. Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 2(18).
- [17] Suwandhi, Awang. (2004). *Diklat Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang*. Bandung: Unisba.
- [18] Hartono. (2013). *Modul Kuliah Sistem Penyaliran Tambang*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Pertambangan UPN.