

# Evaluasi Sistem Mine Dewatering Pada Seam C Tambang Batubara Bawah Tanah Pt. Allied Indo Coal Jaya Kota Sawahlunto

Loli susanti<sup>1\*</sup>, and Murad M.S<sup>2\*\*</sup>

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

\*[lolisusanti1997@gmail.com](mailto:lolisusanti1997@gmail.com)

\*\*[muradms@ft.unp.ac.id](mailto:muradms@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** In the underground mining system at the Seam C location of PT. Allied Indo Coal Jaya The problem that often occurs is that a lot of water enters or is inundated. Therefore a mine drainage system is needed to support mining activities, so that various infrastructures that are made aim to control the water that flows in the mining area, especially in the opening hole. The water handling system in this area is more concerned because it is directly related to mining activities that are always mobile, so the discharge of water that comes out must be in accordance with the flow of water that enters the mine. In the Seam C area it has 2 sumps and 7 control tanks, because the pumping system is carried out by flowing water from the work front to the control basin, and then to the last sump, then it is flowed out of the mine by relay. The types of pumps used are Airlux WQD6-12 0.55 (075 Kw) and Airlux WQ25-20-3 (3 Kw). The number of pumps currently in use is 9 units, due to the large amount of incoming groundwater discharge. Measurement of water discharge is done manually in the field by measuring water at the point which is the largest water source at the study site, front tunnel tunnel 3 and tunnel tunnel front 4. Based on the discussion and analysis of the data it can be concluded that groundwater discharge in tunnel 3 is 0.1485 (m<sup>3</sup> / min) and tunnel 4 is 0.1454 (m<sup>3</sup> / min) while runoff water discharge is 0.1692 (m<sup>3</sup> / sec) and the amount 10 units of pump needed to dry water consist of 8 units of Airlux WQD6-12 0.55 (075 Kw) and 2 units of Airlux WQ25-20-3 (3 Kw).

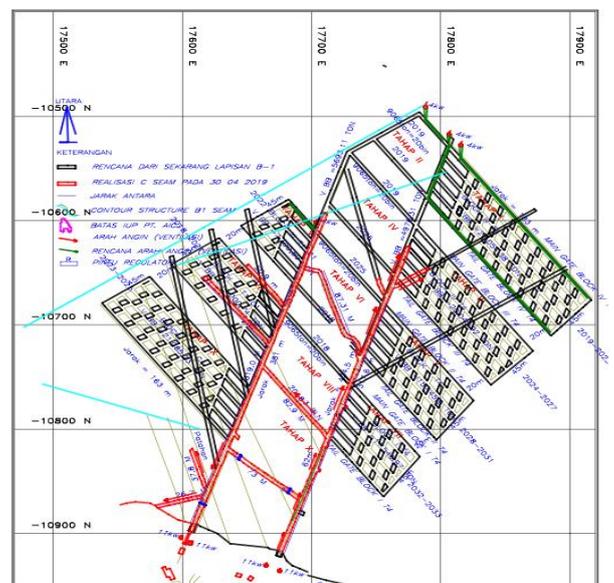
**Keywords:** Underground Mine, Mine Dewatering, Pumps, Groundwater Discharge, Runoff Discharge

## 1 Pendahuluan

PT. Allied Indo Coal Jaya merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang melakukan penambangan batubara dengan luas areal 327,40 Ha. PT. Allied Indo Coal Jaya melakukan sistem penambangan bawah tanah (*underground mining*) dengan metoda panambangan *room and pilar*<sup>[1]</sup>.

Dalam menunjang jalannya aktivitas penambangan pada tambang bawah tanah, maka harus disesuaikan dengan sistem penyaliran tambangnya, sehingga berbagai infrastruktur yang dibuat untuk mengendalikan air yang mengalir di *front* penambangan<sup>[2]</sup>. Sistem penanganan air di daerah ini lebih diperhatikan karena berhubungan langsung dengan aktivitas penambangan yang selalu bersifat bergerak (*mobile*) seiring dengan kedalaman penambangan pada tambang bawah tanah PT. AICJ seam C yaitu pada lubang *tunnel* 3 telah mencapai 381 m sedangkan pada *tunnel* 4 telah mencapai 318 m, sehingga level debit air yang mengalir semakin besar.

Peta *layout* penambangan *seam* C dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Peta layout penambangan Seam C

Dari observasi yang penulis lakukan di lapangan, ditemukannya genangan air setinggi 50 cm – 60 cm pada lobang maju penambangan *seam C*. Kondisi ini mengakibatkan terganggunya proses penambangan batubara serta pengangkutan batubara menggunakan gerobak menuju jalur pengangkutan dan menyebabkan kondisi tanah sepanjang terowongan menjadi basah sehingga terhambatnya akses transportasi material serta pekerja mengalami kesulitan untuk mencapai *front* penambangan.

Hal tersebut terjadi karena PT. AICJ belum adanya melakukan pengukuran debit air tanah pada *front* penambangan *seam C* dan itu dibenarkan oleh Kepala Bagian Hidrogeologi Bapak Rahman ditandai dengan jumlah debit air yang masuk tidak sepenuhnya dapat dipompakan keluar *front* penambangan. Sistem penyaliran pada lobang penambangan *seam C* saat ini menggunakan sistem pemompaan *estafet*. Sistem kerja pompa dengan mengalirkan air dari *front* maju ke bak kontrol kemudian dialirkan ke sump utama setelah itu baru di pompa keluar penambangan. Pompa yang digunakan saat ini sebanyak 9 buah dan hanya bisa dihidupkan 6 jam/ hari karena daya listrik yang terbatas. Oleh karena itu pompa tidak bisa bekerja secara maksimal dan mengakibatkan beberapa titik air meluap ketika salah satu pompa dimatikan.

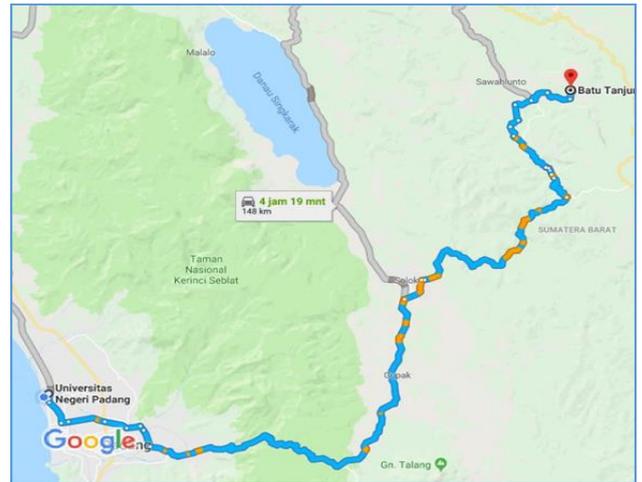
Air tambang memiliki pengaruh yang besar terhadap produktivitas tambang, diperlukan berbagai metode atau cara untuk mengatur aliran air yang masuk ke dalam *front* kerja. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi pada penyaliran tambang bawah tanah pada PT. AICJ Sawahlunto, dengan judul “Evaluasi Sistem *Mine Dewatering* pada *Seam C* Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya Kota Sawahlunto”.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Lokasi Penelitian

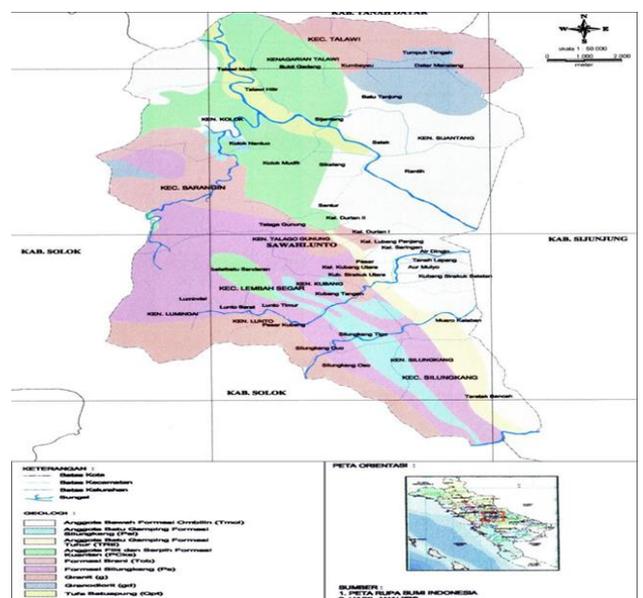
Lokasi penambangan PT. Allied Indo Coal Jaya terletak di Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis wilayah IUP PT.AICJ berada pada posisi 1000 46' 48" – 1000 48' 47" BT dan 000 35' 34"– 000 36' 59" LS, dengan batas lokasi kegiatan yaitu sebelah utara berbatasan dengan wilayah Desa Batu Tanjung dan Desa Tumpuak Tangah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Sebelah timur berbatasan dengan wilayah Jorong Bukit Bual dan Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung, Sebelah selatan berbatasan dengan wilayah Jorong Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung, dan Wilayah Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto dan Sebelah barat berbatasan dengan Wilayah Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Lokasi pertambangan PT. Allied Indo Coal Jaya berjarak kurang lebih 148 km dari Kota Padang dan dapat ditempuh dengan waktu 4 jam 19 menit.

Lokasi Kesampaian Daerah PT. Allied Indo Coal Jaya dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Lokasi Kesampaian Daerah PT. Allied Indo Coal Jaya

Peta Geologi Sawahlunto dapat dilihat dari gambar 3.



**Gambar 3.** Peta Geologi Sawahlunto

### 2.2 Sistem Penyaliran Tambang

Pengertian penyaliran adalah suatu usaha untuk mencegah, mengeringkan dan mengeluarkan air yang menggenangi suatu daerah tertentu. Penirisan tambang adalah penirisan yang diterapkan didaerah penambangan yang bertujuan untuk mencegah masuknya air atau mengeluarkan air yang telah masuk menggenangi daerah penambangan yang dapat mengganggu aktivitas penambangan [3].

Teknik penyaliran bisa bersifat pencegahan atau pengendalian air masuk ke lokasi penambangan. Perusahaan cenderung memutuskan teknik penyaliran dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan tanpa mengurangi keselamatan kerja [4].

Penanganan masalah air dalam suatu tambang dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu [5]:

### 2.1.1 Mine Drainage

Mine drainage merupakan suatu upaya untuk mencegah masuk atau mengalirnya air ke areal *front* kerja.

### 2.1.2 Mine Dewatering

Mine dewatering merupakan usaha yang dilakukan untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke dalam areal penamban.

## 2.3 Curah Hujan

Curah Hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada satu satuan luas, dinyatakan dalam satuan mm. 1 mm berarti pada luasan 1 m<sup>2</sup> jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 Liter. Sumber utama air permukaan pada suatu tambang terbuka adalah air hujan. Pengamatan curah hujan dilakukan dengan alat pengukur curah hujan. Ada dua jenis alat pengukur curah hujan, yaitu alat ukur manual dan otomatis<sup>[6]</sup>.

### 2.3.1 Curah Hujan Rencana

Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan data curah hujan yang siap pakai untuk suatu perencanaan sistem penyaliran. Pengolahan data ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode Gumbel, yaitu suatu metode yang didasarkan atas distribusi normal (distribusi harga ekstrim). Persamaan metode Gumbel sebagai berikut<sup>[7]</sup>.

$$X_t = \bar{X} + \left( \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \right) S \quad (1)$$

Keterangan:

X<sub>t</sub> = Curah hujan untuk periode ulang T (mm)

$\bar{X}$  = Curah hujan rata-rata (mm)

S = Standar deviasi

S<sub>n</sub> = Standar deviasi dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data (n)

Y<sub>t</sub> = Nilai reduksi variat dari variabel

Y<sub>n</sub> = Nilai rata-rata dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data

Nilai  $\bar{X}$  dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

X = Data curah hujan maksimum harian

n = Jumlah data

Nilai standar deviasi dapat ditentukan dengan rumus:

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

Keterangan:

SD = Standar Deviasi

X = Curah hujan maksimum harian

$\bar{X}$  = Curah hujan harian maksimum rata-rata

n = Jumlah data

Nilai *reduced standart deviation* dapat ditentukan dengan rumus:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Keterangan:

S<sub>n</sub> = *Reduced standart deviation*

Y<sub>n</sub> = *Reduced mean*

$\bar{Y}_n$  = Nilai rata-rata *reduced mean*

n = Jumlah data

Nilai *reduced mean* didapatkan dari:

$$Y_n = -\ln\left(-\ln\left\{\frac{(n+1)-m}{n+1}\right\}\right) \quad (5)$$

Keterangan:

n = Jumlah sample

m = Urutan sample (1,2,3,...)

Sedangkan nilai rata-rata *reduced mean*  $\bar{Y}_n$  didapat dari rumus:

$$\bar{Y}_n = \frac{\sum Y_n}{n} \quad (6)$$

Keterangan:

$\sum Y_n$  = Jumlah total *reduced mean*

n = Jumlah data *reduced mean*

### 2.3.2 Periode Ulang Hujan

Periode ulang hujan adalah hujan maksimum yang diharapkan terjadi pada setiap n tahun. Jika suatu data curah hujan mencapai harga tertentu (x) yang diperkirakan terjadi satu kali dalam n tahun, maka n tahun dapat dianggap sebagai periode ulang dari x. Persamaan yang digunakan dalam Distribusi Gumbel yaitu rumus<sup>[8]</sup>:

$$X_t = \bar{X} + k \cdot SD \quad (7)$$

Keterangan:

X<sub>t</sub> = Periode ulang hujan

k = Faktor Probabilitas

SD = Standar deviasi

Nilai faktor probabilitas untuk harga-harga ekstrim dapat dinyatakan dengan rumus:

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (8)$$

Keterangan:

$Y_n$  = *Reduced mean* yang tergantung pada jumlah sampel atau data  $n$

$S_n$  = *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel

*Reduced variate* yang dihitung dengan rumus:

$$Y_{Tr} = -\ln \left[ -\ln \frac{Tr-1}{Tr} \right] \quad (9)$$

### 2.3.3 Intensitas Curah Hujan ( $I$ )

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan dalam satuan waktu yang biasa digunakan adalah mm/jam. Nilai intensitas hujan tergantung lama curah hujan dan frekuensi hujan dan waktu konsentrasi. Dalam menentukan intensitas curah hujan dapat dicari dengan rumus berikut<sup>[9]</sup>:

$$I = \frac{R}{24} \chi \left( \frac{24}{tc} \right)^{2/3} \quad (10)$$

Harga  $tc$  dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$tc = 0,0195 \times \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77} \quad (11)$$

atau

$$tc = 0,871 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (12)$$

Keterangan:

- $I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- $R$  = Curah hujan rancangan (mm/hari)
- $tc$  = Lama waktu konsentrasi (jam)
- $L$  = Panjang aliran (km)
- $H$  = Beda elevasi (km)
- $S$  = *Slope*/kemiringan

## 2.4 Air Limpasan (Run Off)

Air limpasan adalah semua air yang mengalir di permukaan tanah akibat hujan, yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, memperlihatkan asal atau jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran. Pehitungan debit limpasan, dengan menggunakan rumus Rasional sebagai berikut<sup>[5]</sup>:

$$Q = 0,278 C \times I \times A \quad (13)$$

Keterangan:

- $Q$  = Debit limpasan ( $m^3$ /detik)
- $C$  = Koefisien limpasan
- $I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- $A$  = Luas *catchment area* ( $km^2$ )

## 2.5 Air Tanah

Air tanah adalah air yang menempati pori-pori atau rekahan didalam lapisan tanah atau batuan dan dapat mengalir diantara pori-pori atau rekahan tersebut<sup>[9]</sup>. Untuk mengetahui debit air tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut<sup>[10]</sup>:

$$Q = \bar{h} \frac{\left[ \frac{L1 + L2}{2} \right]}{(\Delta t)} \quad (14)$$

Keterangan:

- $Q$  = Debit Air Tanah ( $m^3$ /jam)
- $\Delta t$  = Waktu Pengamatan Perubahan Air *Sump* (jam)
- $\bar{h}$  = Kenaikan Permukaan
- $L1$  = Luas Permukaan Air Diawal ( $m^2$ )
- $L2$  = Luas Permukaan Air Diakhir ( $m^2$ )

Perhitungan debit air tanah juga dapat dilakukan dengan cara menghitung kecepatan dan luas dari sebuah paritan yang masuk atau sengaja dialirkan ke dalam *sump*, dengan rumus berikut<sup>[11]</sup>:

$$Q = V \times A \quad (15)$$

Keterangan:

- $Q$  = Debit Air Tanah ( $m^3$ /dtk)
- $V$  = Kecepatan Aliran Air ( $m$ /dtk)
- $A$  = Luas Permukaan Paritan (kedalaman x lebar)

## 2.5 Pompa

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan air di daerah tambang, baik itu air tanah maupun air bawah tanah<sup>[5]</sup>. Untuk mengalirkan cairan atau fluida dari suatu tempat ke tempat lain, maka pompa harus mengatasi sejumlah *head*. *Head* total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan cairan atau fluida seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi pipa yang akan dilayani oleh pompa. *Head* total pompa untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa tersebut.

total *head* pompa dirumuskan sebagai berikut<sup>[12]</sup>:

$$HT = H_s + H_f \quad (16)$$

Keterangan:

H = head total pompa (m)

Hs = head statis atau head geodetic (m)

Hf = head friction (Head gesek + Head belokan) (m)

Hs (Head Statis) atau head geodetik

Head Statis yaitu perbedaan elevasi pipa hisap dengan elevasi pipa buang. Persamaan head statis ini dirumuskan sebagai berikut<sup>[13]</sup>:

$$H_s = H_1 - H_2 \quad (17)$$

Keterangan:

H<sub>1</sub> = Elevasi pipa buang (mdpl)

H<sub>2</sub> = Elevasi pipa hisap (mdpl)

Hf (Head friction)

Head Friction yaitu kerugian energi akibat gesekan dan belokan pada pipa. Untuk kehilangan energi dalam pipa karena gesekan dapat menggunakan persamaan Darcy – Weisbach sebagai berikut:

$$H_f = \frac{f \times L \times V^2}{2g \times D} \quad (18)$$

Keterangan:

f = Faktor kekasaran

L = Panjang pipa aliran (m)

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan (m/detik)

g = Gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

Nilai faktor kekasaran (f)

Nilai faktor kekasaran merupakan nilai yang berubah-ubah sesuai dengan jenis aliran dan jenis pipa yang digunakan. Terdapat beberapa rumusan untuk menghitung koefisien kekasaran pipa (f) berdasarkan angka Reynold sebagai berikut<sup>[13]</sup>:

$$R = \rho \frac{V D}{\mu} \quad (19)$$

Keterangan:

R = Angka Reynold

ρ = Berat jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas fluida (m<sup>2</sup>/s)

Angka Reynold digunakan untuk menentukan nilai koefisien gesek. Terdapat beberapa kaidah untuk menentukan nilai f berdasarkan Darcy – Weisbach jenis aliran dan jenis pipa yang digunakan sebagai berikut<sup>[13]</sup>:

(1) Untuk R < 2300 yaitu jenis aliran laminar, nilai f dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f = \frac{R}{64} \quad (20)$$

(2) Untuk R > 4000 yaitu aliran turbulen (Genic, 2011: 68), dengan menggunakan jenis pipa halus digunakan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (21)$$

(3) Untuk 2300 < R < 4000, yaitu jenis aliran transisi, nilai f dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan aliran turbulen atau aliran laminar.

persamaan yang lazim digunakan para engineer karena lebih praktis digunakan adalah persamaan sebagai berikut:

$$f = 0,11 \left( \frac{\epsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{1/4} \quad (22)$$

Keterangan:

ε = Faktor kekasaran pipa

D = Diameter pipa (m)

Re = Angka Reynold

### 3 Metodologi Penelitian

#### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian terapan (*Applied Rresearch*). Penelitian terapan adalah “penelitian yang mempunyai alasan praktis, keinginan untuk mengetahui, bertujuan agar dapat melakukan sesuatu yang jauh lebih baik, lebih efektif, dan efisien”. Penelitian terapan atau *applied research* dilakukan berkenaan dengan kenyataan-kenyataan praktis, penerapan, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dihasilkan oleh penelitian dasar dalam kehidupan nyata. Penelitian terapan berfungsi untuk mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu, tujuan utamanya adalah pemecah masalah sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia baik secara individu atau kelompok maupun keperluan industri atau politik dan bukan untuk wawasan keilmuan semata<sup>[14]</sup>.

#### 3.2 Objek Penelitian

Adapun yang menjadi objek penelitian adalah banyaknya air yang masuk kedalam front penambangan, PT. Allied Indo Coal Jaya yang berasal dari air limpasan dan air tanah. Dengan mengetahui banyaknya debit air yang masuk ke dalam front penambangan, maka perlu dilakukan evaluasi kembali dalam menangani maupun mencegah air yang akan masuk kedalam front penambangan.

#### 3.3 Tahapan Penelitian

##### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan materi yang akan dibahas

di lapangan melalui buku-buku, laporan penelitian sebelumnya dan literatur dari internet.

### 3.3.2 Observasi Lapangan

Observasi di lapangan dengan melakukan peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi daerah penelitian dan kegiatan penambangan di lokasi tersebut.

### 3.3.3 Pengambilan Data Lapangan

Data yang diambil harus benar, akurat dan lengkap serta relevan dengan permasalahan yang ada. Data yang diambil dapat dikelompokkan menjadi data primer dan data sekunder.

#### 1. Data Primer

Data primer yang digunakan untuk mengevaluasi sistem *mine dewatering seam C* yaitu debit air tanah, luas area genangan air, sudut belokan dan panjang pipa buang dan hisap dan debit aktual pompa.

#### 2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan untuk mengevaluasi sistem *mine dewatering seam C* yaitu peta topografi, peta geologi, *lay out* penambangan, sketsa penyaliran *seam C*, data curah hujan tahun 2009 – 2018, elevasi pipa buang dan pipa hisap, spesifikasi pompa, panjang dan diameter pipa.

### 3.3.4 Teknik Pengolahan Data

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

1. Menganalisis luas *catchment area* lokasi penelitian *seam C* dengan bantuan *software* tambang.
2. Menganalisis curah hujan rencana dengan persamaan *Gumbel*.
3. Menganalisis intensitas hujan dengan persamaan *Mononobe*.
4. Menganalisis debit air limpasan dengan persamaan rasional.
5. Melakukan pengukuran debit air
6. Perhitungan *head* total dan kebutuhan pompa
7. Evaluasi dan analisa hasil pengolahan data
8. Kesimpulan dan rekomendasi

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Perhitungan Debit Total

#### 4.1.1 Catchment Area

Penentuan luas *catchment area* dihitung menggunakan proyeksi dari *software Minescape* versi 4.118, dengan teknik pengambilan titik-titik tertinggi yang terdapat pada lokasi penambangan PT. Allied Indo Coal Jaya. Hasil pengambilan dari titik-titik tersebut berupa poligon

tertutup. Dari garis poligon ini, dilakukan perhitungan dengan membuat opsi *brief detail* pada garis poligon dari *catchment area*.

Dari hasil pengolahan data topografi terhadap luasan daerah tangkapan hujan (*catchment area*) menggunakan *software Minescape* versi 4.118, maka didapatkan *catchment area* seluas 2,35 Ha (*Sumber: PT. Allied Indo Coal Jaya*).

#### 4.1.2 Curah Hujan

Penentuan curah hujan didasarkan pada data curah hujan rata-rata maksimum pada daerah penelitian dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum selama 10 tahun terakhir (2009-2018). Data curah hujan, jumlah hari hujan, dan rata-rata curah hujan per bulan dalam tiap tahun disajikan dalam satu tabel agar mempermudah dalam pengelompokan data. Data curah hujan harian maksimum tahun 2009-2018 di PT. Allie Indo Coal Jaya yang didapatkan dari BMKG Kota Sawahlunto dapat dilihat pada tabel 1.

Nilai  $(X - \bar{X})^2$  tahun 2009-2018 adalah sebesar 11122,85 sehingga nilai standar deviasi yang didapatkan adalah sebesar 11,72. Tabel 3 juga menunjukkan nilai *reduced mean* tahun 2009-2018 ( $Y_n$ ) dengan nilai *reduced mean* rata-rata  $\bar{Y}_n$  sebesar 0,5. Sehingga nilai *reduced standar deviasi* ( $S_n$ ) yang didapatkan sebesar 0,99.

**Tabel 1.** Curah Hujan Harian Maksimum Tahun 2009 - 2018

Tahun	Data Curah Hujan Maksimum Tahun 2009 - 2018												CH Maks
	Curah Hujan (mm)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
2009	35,00	42,00	44,20	44,90	71,40	17,80	51,80	11,80	1,10	31,30	62,50	45,20	71,40
2010	25,70	96,60	96,70	112,10	44,30	67,60	109,40	55,00	134,30	98,80	162,7	48,30	162,70
2011	39,40	34,00	67,40	21,60	79,40	38,60	48,00	5,60	71,90	43,10	41,50	45,20	79,40
2012	39,20	43,20	85,80	39,70	110,8	16,00	63,90	5,40	24,20	77,00	22,40	32,70	110,80
2013	71,20	34,00	40,30	146,5	57,10	38,40	106,80	12,30	12,20	13,30	58,90	97,50	146,50
2014	21,60	58,80	111,00	111	85,50	58,90	22,00	28,50	0,00	3,00	25,00	60,00	111,00
2015	50,00	98,00	69,00	85,50	58,00	57,00	7,00	7,00	5,00	5,50	11,00	161,00	161,00
2016	51,00	71,00	80,00	58,00	66,00	88,00	26,00	75,00	64,00	6,00	63,00	60,00	80,00
2017	124,00	78,00	52,00	144,00	52,00	25,00	30,00	45,00	34,00	10,00	63,50	60,00	144,00
2018	24,00	78,00	52,00	144,00	52,00	25,00	30,00	45,00	42,00	61,00	9,00	27,00	144,00
Jumlah Curah Hujan Total													1210,80
Jumlah Curah Hujan Rata-Rata													121,08

#### 4.1.2.1 Perhitungan Reduced Mean, Reduced Variate, dan Reduced Standard Deviation

Untuk menghitung curah hujan rencana, terlebih dahulu harus dicari *Reduced Mean* ( $Y_n$ ), *Reduced Variate* ( $Y_t$ ), *Standard Deviation* (SD) dan *Reduced Standard Deviation* ( $S_n$ ). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Analisis Data Curah Hujan Harian Maksimum PT. Allied Indo Coal Jaya

Tahun	X (mm)	$\bar{X}$ (mm)	$(X - \bar{X})^2$	n	m	Yn	$\bar{Y}_n$	$(Y_n - \bar{Y}_n)^2$	SD	Sn
2009	71,40	121,08	2468,10	10	5	-0,87	0,5	1,88	11,72	0,99
2010	162,70		1732,22		4	-0,53		1,06		
2011	79,40		1737,22		3	-0,26		0,58		
2012	110,80		105,68		6	-0,01		0,26		
2013	146,50		646,18		7	0,24		0,07		
2014	111,00		101,61		8	0,50		0		
2015	161,00		1593,61		2	0,79		0,08		
2016	80,00		1687,57		9	1,14		0,41		
2017	144,00		525,33		10	1,61		1,23		
2018	144,00		525,33		1	2,35		3,42		
			11122,85					8,99		

#### 4.1.2.2 Perhitungan Curah Hujan Harian Rencana

Untuk perhitungan curah hujan rencana dan periode ulang hingga tahun ke sepuluh dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Analisis Data Curah Hujan Rencana dan Periode Ulang

Periode Ulang (T) Tahun	$\bar{X}$ mm	SD	Sn	Yt	$\bar{Y}_n$	k	Curah Hujan Rencana (mm)
2	121,08	11,72	0,99	0,37	0,5	-0,13	119,54
3	121,08	11,72	0,99	0,9	0,5	0,40	125,81
4	121,08	11,72	0,99	1,25	0,5	0,75	129,87
5	121,08	11,72	0,99	1,5	0,5	1,01	132,91
6	121,08	11,72	0,99	1,7	0,5	1,21	135,28
7	121,08	11,72	0,99	1,87	0,5	1,38	137,29
8	121,08	11,72	0,99	2,01	0,5	1,52	138,95
9	121,08	11,72	0,99	2,14	0,5	1,65	140,49
10	121,08	11,72	0,99	2,25	0,5	1,76	141,79

#### 4.1.2.3 Periode Ulang dan Resiko Hidrologi

Hasil perhitungan resiko hidrologi selama 10 tahun dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Resiko Hidrologi pada Periode Ulang Berbeda

Periode Ulang (Tahun)	Resiko Hidrologi (%)
1	100
2	75.0
3	55.6
4	43.8
5	36.0
6	30.6
7	26.5
8	23.4
9	21.0
10	19

Dari tabel 4. dapat dilihat bahwa semakin besar periode ulang maka resiko hidrologinya akan semakin kecil. Semakin besar nilai resiko hidrologi, kemungkinan terjadinya curah hujan maksimum dalam satu periode ulang akan semakin besar. Maka kemungkinan terjadinya curah hujan maksimum dalam periode ulang 4 tahun adalah 43,8%.

#### 4.1.2.4 Intensitas Hujan

Intensitas hujan rencana dihitung berdasarkan nilai curah hujan rencana pada periode ulang 4 tahun dengan Persamaan Mononobe. Berdasarkan perhitungan telah ditentukan besarnya curah hujan rencana pada periode ulang 4 tahun adalah sebesar 129,87 mm/hari. Curah hujan menunjukkan nilai intensitas curah hujan lebih dari 20 mm/jam. Berdasarkan Tabel 4, hujan yang terjadi termasuk hujan sangat lebat dengan kondisi hujan seperti ditunjukkan.

#### 4.1.3 Debit Air Limpasan

Debit air limpasan dapat ditentukan setelah diketahui luas masing masing *catchment area*, nilai intensitas curah hujan dan nilai koefisien limpasan.

Perhitungan debit air limpasan :

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,278 \times C \times I \times A \\
 &= 0,278 \times 0,9 \times 28,788 \times 0,0235 \\
 &= 0,1692 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.4 Debit Air Tanah

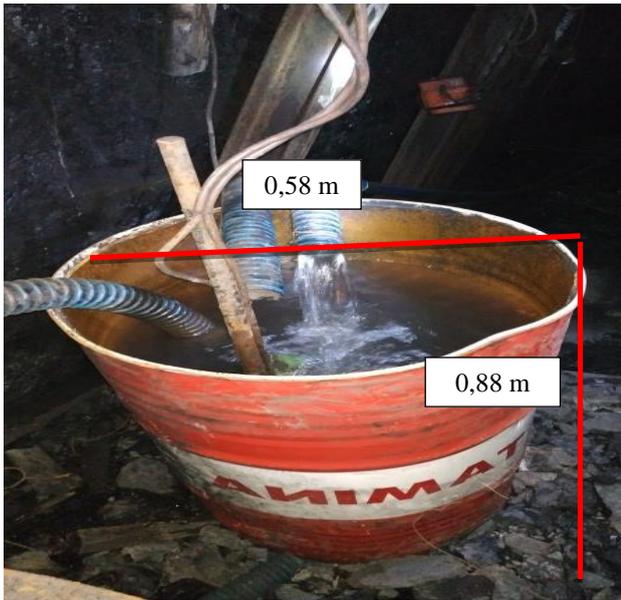
Untuk mengetahui seberapa banyak air yang muncul pada lubang penambangan *seam C* tersebut, dilakukan pengukuran langsung di lapangan dengan cara mengukur air pada titik yang merupakan sumber air terbesar pada lokasi penelitian yaitu *front* maju *tunnel 3* dan *front* maju *tunnel 4*. Debit air tanah diukur dengan melakukan pengukuran kenaikan permukaan air pada *front* maju dengan cara melihat selisih antara ketinggian permukaan air pada genangan sebelum pompa dihidupkan dengan setelah pompa dimatikan. Perhitungan debit air tanah dilakukan secara berkala sebanyak 10 kali dengan selang waktu 30 menit dengan menggunakan meteran untuk mendapatkan elevasi awal dan elevasi akhir dari air tanah. Sudut belokan pada pipa dapat diukur menggunakan kompas geologi dengan mengukur kemiringan (*dip*) sedangkan panjang pipa buang dan pipa hisap diukur dengan pita ukur atau meteran. Titik pengukuran air tanah pada *seam C* dapat dilihat pada sketsa gambar 5. Pemompaan air dilakukan 6 jam/hari. Air akan dikumpulkan ke dalam wadah (bak kontrol) berbentuk drum dengan diameter (d) 0,58 m, jari-jari (r) 0,29 m dan tinggi (t) 0,88 m secara *estafet* kemudian dipompakan menuju *sump* utama selanjutnya dialirkan keluar tambang.

Volume wadah menggunakan rumus:

$$V = \mu \times r^2 \times t$$

Maka volume drum adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= 3,14 \times (0,29 \text{ m})^2 \times 0,88 \text{ m} \\
 &= 0,2324 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Bak kontrol (Drum)



Gambar 5. Titik Pengukuran Debit Air Tanah pada Lubang Seam C

Pengambilan sampel debit air tanah dilakukan dengan melakukan pengukuran debit air tanah pada *front* maju penambangan *seam* C sebelum pompa dihidupkan dan

ketinggian permukaan genangan air setelah pompa dimatikan kemudian didapatkan rata-rata kenaikan air tersebut. Dengan menggunakan meteran untuk mendapatkan elevasi awal air dan elevasi akhir air. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali dengan rentang waktu pompa dimatikan selama 30 menit. Adapun luasan awal didapatkan pada permukaan air pada saat pompa dimatikan dan luasan akhir didapatkan pada permukaan air pada saat pompa dimatikan dan luasan akhir didapatkan pada permukaan air pada saat pompa dimatikan dihitung memakai rumus luas trapesium karena genangan air berada pada lantai *front* maju penambangan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Pengukuran Debit Air Tanah *Front* Maju Tunnel 3

No	Elevasi muka air sebelum pompa dihidupkan (m)	Elevasi muka air setelah pompa dimatikan (m)	Rata-rata kenaikan (m)	Luas Awal (m <sup>2</sup> )	Luas akhir (m <sup>2</sup> )
1	0,52	0,58	0,06	8,06	8,18
2	0,53	0,60	0,07	8,14	8,25
3	0,50	0,56	0,06	8,21	8,33
4	0,52	0,59	0,07	8,29	8,40
5	0,53	0,59	0,06	8,74	8,85
6	0,55	0,60	0,05	8,59	8,70
7	0,52	0,58	0,06	8,66	8,78
8	0,55	0,61	0,06	8,44	8,55
9	0,53	0,59	0,06	8,36	8,48
10	0,53	0,57	0,05	8,51	8,63
Rata-rata			0,06	8,40	8,50

Tabel 6. Pengukuran Debit Air Tanah *Front* Maju Tunnel 4

No	Elevasi muka air sebelum pompa dihidupkan (m)	Elevasi muka air setelah pompa dimatikan (m)	Rata-rata kenaikan (m)	Luas Awal (m <sup>2</sup> )	Luas akhir (m <sup>2</sup> )
1	0,52	0,57	0,05	8,17	8,24
2	0,51	0,56	0,05	8,15	8,19
3	0,55	0,61	0,06	8,35	8,42
4	0,50	0,57	0,07	8,22	8,30
5	0,53	0,59	0,06	8,26	8,35
6	0,51	0,54	0,03	8,33	8,45
7	0,53	0,59	0,06	8,21	8,25
8	0,55	0,60	0,05	8,19	8,28
9	0,53	0,59	0,06	8,25	8,32
10	0,50	0,56	0,06	8,20	8,26
Rata-rata			0,06	8,23	8,30

Sehingga debit air tanah dari dua sumber genangan air terbesar yaitu:

a. Debit Air Tanah Pada *Front Maju Tunnel 3*

$$Q = \frac{0,06 \text{ m} (8,40 \text{ m}^2 + 8,50 \text{ m}^2)}{2 \times 30 \text{ menit}} = 0,1485 \text{ m}^3/\text{menit}$$

b. Debit Air Tanah Pada *Front Maju Tunnel 4*

$$Q = \frac{0,06 \text{ m} (8,23 \text{ m}^2 + 8,30 \text{ m}^2)}{2 \times 30 \text{ menit}} = 0,1454 \text{ m}^3/\text{menit}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh perhitungan debit air tanah total yaitu  $0,2939 \text{ m}^3/\text{menit}$  atau  $17,634 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

Maka dapat diketahui debit total air yang masuk pada lokasi penambangan lobang *seam C* PT. Allied Indo Coal Jaya.

$$Q \text{ Total} = Q \text{ limpasan} + Q \text{ air tanah} = 0,1692 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,0049 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,1741 \text{ m}^3/\text{detik}$$

## 4.2 Perhitungan Kebutuhan Pompa dan Spesifikasi Pompa

PT. Allied Indo Coal Jaya memiliki ketersediaan pompa sebanyak 9 buah pada lubang *seam C*, saat ini perusahaan memakai 2 jenis pompa dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Jenis dan ketersediaan pompa

Jenis Pompa	Jumlah (unit)	Q Max Pompa (m <sup>3</sup> /mnt)	Head Max (m)	Diameter Pipa (inch)	Kapasitas Max (m <sup>3</sup> /dtk)
Airlux WQD6-12 0,55	7	0,3	18	2	1,5796
Airlux WQ25-20-3	2	0,8	25	3	2,1766

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa jumlah pompa yang digunakan perusahaan saat ini sebanyak 9 buah. Sistem pemompaan yang digunakan yaitu sistem *estafet* dengan sistem kerja pompa mengalirkan air dari *front* kerja ke bak kontrol kemudian dialirkan ke *sump* utama setelah itu baru di pompa keluar.

### 4.2.1 Perhitungan Head Rencana

Untuk merencanakan pemilihan dan perhitungan pompa diperlukan perhitungan *head* pompa sehingga sistem pemompaan dapat berjalan maksimal. *Head* total yang direncanakan terdiri dari *Head Statis* (Hs) dan *Head Gesekan* (Hf). Untuk perhitungan nilai *head* total dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Nilai *Head* Total Pompa

No	Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	Head Statis (m)	Hf Belokan	Hf Gesekan	Head Total (m)
1	FM. 3	Drum 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	12	0,1273	1,136	13,2633
2	Drum 1	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,56	25	0,1273	4,26	29,3873
3	FM. 4	Drum 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,57	12	0,1273	0,88	13,0073
4	Drum 2	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,58	14	0,1273	1,42	15,5473
5	Sump 1	Drum 3	Aktif	Airlux WQ25-20-3	12	0,2414	2,321	14,5624
6	Drum 3	Drum 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,60	11	0,1273	1,42	12,5473
7	Drum 4	Sump 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,61	15	0,1273	1,42	16,5473
8	Sump 2	Drum 5	Aktif	Airlux WQ25-20-3	20	0,2414	4,3018	24,5432
9	Drum 5	KT	Aktif	Airlux WQD6-12-0,63	11	0,1273	1,2637	12,391

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai *head* total yang direncanakan dalam instalasi pemompaan di *seam C* didapatkan nilai *head* total lebih kecil dari nilai *head* total maksimum dari pompa selain dari Drum 1, maka dapat disimpulkan bahwa 8 pompa dapat mengalirkan air hingga *outlet* pipa dan 1 pompa lagi tidak dapat mengalirkan air hingga *outlet* pipa, untuk itu diperlukan penambahan 1 unit pompa dengan spesifikasi yang sama dengan pompa yang berada pada Drum 1.

### 4.2.2. Perhitungan Debit Pompa

Untuk perhitungan Debit Pompa seluruh *Mine Sump* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Debit Pompa

No	Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	Kapasitas Pompa (m <sup>3</sup> /mnt)	Kapasitas Pompa (m <sup>3</sup> /hari)	Head Spec (m)	Head Aktual (m)	Jam Kerja (jam)	Debit Keluar (m <sup>3</sup> /hari)
1	FM. 3	Drum 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	13,2633	6	216
2	Drum 1	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	29,3873	6	216
3	FM. 4	Drum 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	13,0073	6	216
4	Drum 2	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	15,5473	6	216
5	Sump 1	Drum 3	Aktif	Airlux WQ25-20-3	0,8	1152	25	14,5624	6	864
6	Drum 3	Drum 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	12,5473	6	216
7	Drum 4	Sump 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	16,5473	6	216
8	Sump 2	Drum 5	Aktif	Airlux WQ25-20-3	0,8	1152	25	26,5432	6	864
9	Drum 5	KT	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	432	18	10,391	6	216

### 4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Pompa

Untuk perhitungan kebutuhan pompa dapat dilihat pada tabel 9.

**Tabel 9.** Perhitungan Kebutuhan Pompa

No	Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	Debit Masuk	Debit Keluar	Ket
					m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari	
1	FM. 3	Drum 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	209	216	cukup
2	Drum 1	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,56	209	216	cukup
3	FM. 4	Drum 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,57	209	216	cukup
4	Drum 2	Sump 1	Aktif	Airlux WQD6-12-0,58	209	216	cukup
5	Sump 1	Drum 3	Aktif	Airlux WQ25-20-3	418	864	cukup
6	Drum 3	Drum 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,60	209	216	cukup
7	Drum 4	Sump 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,61	209	216	cukup
8	Sump 2	Drum 5	Aktif	Airlux WQ25-20-3	418	864	cukup
9	Drum 5	KT	Aktif	Airlux WQD6-12-0,63	209	216	cukup

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa pompa yang ada sudah mampu memenuhi untuk mengeluarkan debit air masuk. Apabila didapatkan nilai inlet lebih besar dari nilai outlet maka pompa pada daerah itu tidak cukup untuk mengeluarkan air dan dibutuhkan pergantian ukuran dimensi pipa dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran pipa sebelumnya, karena dengan semakin kecil ukuran dimensi pipa tekanan air untuk mengalirkan semakin besar begitu juga sebaliknya.

### 4.3 Hasil Evaluasi Sistem *Mine Dewatering*

Dari perhitungan yang telah dilakukan, jumlah pompa yang disediakan oleh perusahaan saat ini cukup untuk mengeluarkan air dari terowongan tetapi untuk sistem pemompaan dari Drum (bak kontrol) 1 ke *Sump 1* nilai *head* aktual pompa di lapangan melebihi *head* maksimal pompa pada spesifikasi alat. Oleh karena itu diperlukan penambahan 1 unit pompa dengan spesifikasi yang sama yaitu *Airlux WQD6-12-0,55*. Berikut adalah tabel hasil evaluasi sistem pemompaan tabel 10.

**Tabel 10.** Hasil Evaluasi Sistem Pemompaan

Sump	Keterangan
FM. 3	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)
Drum 1	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw) tetapi nilai <i>head</i> aktual pompa di lapangan melebihi <i>head</i> maksimal pompa pada spesifikasi alat, Oleh karena itu di perlukan penambahan 1 unit pompa dengan spesifikasi yang sama yaitu <i>Airlux WQD6-12-0,55</i>
FM. 4	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)
Drum 2	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)
Sump 1	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQ25-20-3</i> (3 Kw)
Drum 3	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)
Drum 4	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)
Sump 2	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQ25-20-3</i> (3 Kw)
Drum 5	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa <i>Airlux WQD6-12-0,55</i> ( 0,75 Kw)

## 5 Penutup

### 5.1 Kesimpulan

1. Debit air tanah yang masuk pada lobang penambangan *Seam C* yaitu pada *tunnel 3* jumlah yaitu 0,1485 m<sup>3</sup>/menit pada *tunnel 4* yaitu 0,1454 m<sup>3</sup>/menit.
2. Debit air limpasan yang masuk pada lobang penambangan *seam C* yaitu 0,2450 m<sup>3</sup>/menit.
3. Total debit air yang masuk pada lobang penambangan *Seam C* yaitu 0,1741 m<sup>3</sup>/detik.
4. Jumlah unit pompa yang dibutuhkan untuk mengeringkan air pada lobang penambangan *seam C* yaitu berjumlah 10 unit, terdiri dari 8 unit *Airlux WQD6-12-0,55* dan 2 unit *Airlux WQ25-20-3*. Untuk spesifikasi pompa dapat dilihat pada Lampiran 3.

### 5.2 Saran

1. PT. Allied Indo Coal jaya perlu melakukan penambahan 1 unit pompa dari drum 1 (bak kontrol) menuju sump 1 dengan spesifikasi pompa *Airlux WQD6-12-0,55* karena jarak antar pompa terlalu jauh.
2. Hasil dari evaluasi dari sistem *mine dewatering* penambangan *seam C* yang direkomendasikan untuk dapat menjadi pertimbangan untuk diaplikasikan

### Daftar Pustaka

- [1] Rahman, A., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pillar saat Proses Mining Blok Development pada Penambangan Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal (AIC) Jaya. *Bina Tambang*, 4(1), 333-343.
- [2] Pratama, Stella Putri. (2019). Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bawah Tanah Seam C1 Blok Timur Site Sapan Dalam PT Nusa Alam Lestari Desa Salak, Sapan Dalam, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(1), 390-399.
- [3] Putra, Anton Yudi Omsini. (2017). Kajian Teknis Optimalisasi Pompa Pada Sistem Penyaliran Tambang Bawah Tanah Di Pt. Cibaliung Sumber Daya, Provinsi Banten. Yogyakarta: UPN.
- [4] Kurnia, Dian. (2018).Evaluasi Kondisi Aktual Dan Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Emas Di Pit Durian, Site Bakan Pt. J Resources Bolaang Mongodow, Kecamatan Lolayan, Kotamobagu, Sulawesi Utara. *Bina Tambang*, 3(1), pp.556-565.
- [5] Gautama, Rudi Sayoga. (2019). Sistem Penyaliran Tambang. Bandung: ITB Press.
- [6] Bambang, Triatmodjo. (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.
- [7] Chandrika Raflesia. (2016). Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang di Blok B Rawa Seribu PT. Mandala Karya Prima Job Site PT. Mandiri.
- [8] Anita Lisminiyati. (2018). Rancangan Ulang Sistem Penyaliran Tambang Bawah Tanah pada Front Penambangan Batubara Tunnel THC-01 di CV. Tahiti Coal, Kecamatan Talawi, Kota

Sawahlunto. Universitas Negeri Padang. Vol. 3, No. 3.

- [9] Lilik Eko Widodo. (2012). Hidrologi, Hidrogeologi Serta Penyaliran Tambang. Bandung: Lab ITB.
- [10] Soemarto. (1999). Hidrolika Teknik (Edisi Perbaikan). Jakarta: Erlangga.
- [11] Chow, VT. (2007). Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics). Jakarta: Erlangga.
- [12] Bambang, Triatmodjo. (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.
- [13] Kudela, Henryk. 2009. *Hydraulic losses in pipes*.
- [14] A Muri Yunus. (2005). Metodologi Penelitian. Padang: Universitas Negeri Padang Press.