



**PERENCANAAN TEKNIS *SUMP* BARU TAMBANG  
BATU BARA DI *PIT NORTH* WARU PT ADARO INDONESIA**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Mardhiyah Zahra  
191910901015**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN  
JEMBER  
2023**



**PERENCANAAN TEKNIS *SUMP* BARU TAMBANG  
BATU BARA DI *PIT NORTH* WARU PT ADARO INDONESIA**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana pada  
program studi S1 Teknik Pertambangan.*

**SKRIPSI**

**Oleh**

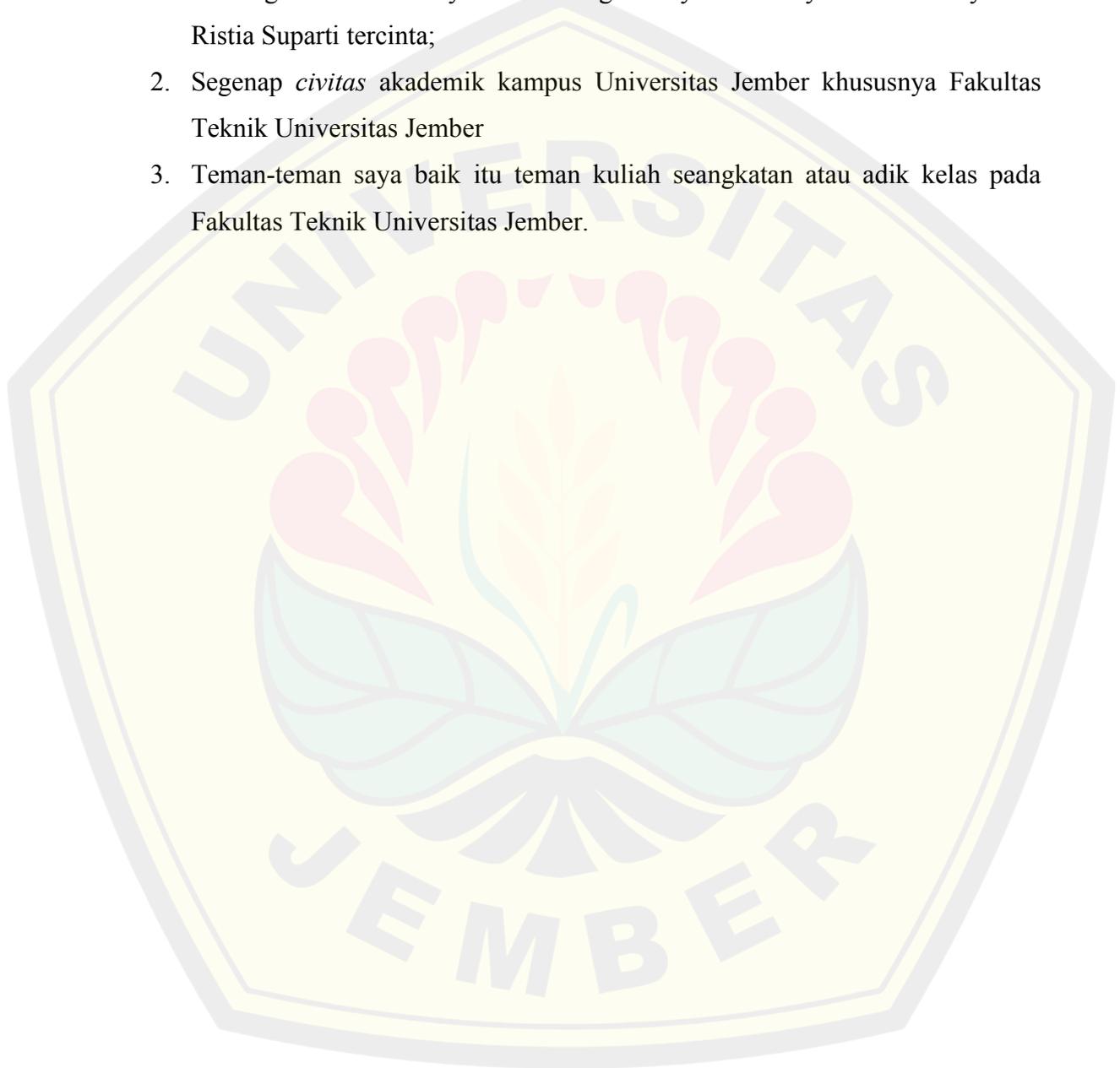
**Mardhiyah Zahra  
191910901015**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN  
JEMBER  
2023**

**PERSEMBAHAN**

Dengan rasa syukur yang mendalam, dengan telah diselesaikannya Skripsi ini saya mempersembahkannya kepada:

1. Keluarga besar khususnya kedua orang tua saya Alm. Priyoko Hadi Mulyo dan Ristia Suparti tercinta;
2. Segenap *civitas* akademik kampus Universitas Jember khususnya Fakultas Teknik Universitas Jember
3. Teman-teman saya baik itu teman kuliah seangkatan atau adik kelas pada Fakultas Teknik Universitas Jember.



**MOTTO**

“Pendidikan adalah jembatan yang menghubungkan mimpi dengan realita.”  
- Frank Smith



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mardhiyah Zahra

NIM : 191910901015

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Perencanaan Teknis Sump Baru Tambang Batu Bara di Pit North Wara PT Adaro Indonesia* merupakan hasil karya saya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansial saya menyebutkan sumbernya. Skripsi ini merupakan karya orisinal yang belum pernah diajukan ke institusi lain sebelumnya, dan tidak ada tindakan plagiasi dalamnya. Saya dengan penuh tanggung jawab mengakui keabsahan dan kebenaran isi skripsi ini, sesuai dengan prinsip-prinsip ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Pernyataan ini saya sampaikan tanpa adanya pengaruh atau tekanan dari pihak manapun. Saya juga menyadari bahwa jika di kemudian hari ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Jember, 21 Juli 2023

Yang menyatakan,



Mardhiyah Zahra

191910901015

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi berjudul *Perencanaan Teknis Sump Baru Tambang Batu Bara di Pit North Wara PT Adaro Indonesia* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 21 Juli 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Pembimbing**

**1. Pembimbing Utama**

Nama : Ir. Fanteri Aji Dharma S, S.T., M.S.

NRP : 198804092019031012

**2. Pembimbing Anggota**

Nama : Ir. Januar Fery Irawan, S.T.M.Eng.

NIP : 197601112000121002

Tanda Tangan

(.....)

(.....)

**Penguji**

**1. Penguji Utama**

Nama : Haeruddin, S.Si. M.T.

NIP : 199001012019031016

**2. Penguji Anggota**

Nama : Siti Aminah S.Si., M.T.

NIP : 198803232022032011

(.....)

(.....)

**ABSTRACT**

*This research highlights the importance of planning a mine dewatering system as a solution to address water-related issues in PT Adaro Indonesia's pit North Wara, located in Tabalong Regency, South Kalimantan. Focusing on the increasing volume of slurry and soil erodibility, the design of a new sump involves hydrological analysis, sump capacity, sustainability, operational safety, and environmental studies in accordance with Kepmen 1827K/30/MEM/2018. The study comprises steps such as literature review, field observations, and data collection (both primary and secondary). The results reveal a planned 10-year return period rainfall of 126.950 mm with an intensity of 44.011 mm/hour. The total runoff is calculated to be 1,263,057 m<sup>3</sup>/day, while the evapotranspiration rate is 96,274 m<sup>3</sup>/day. Covering an area of 201.4 hectares, the estimated erosion rate is 997.25 m<sup>3</sup>/day or 4,873 tons/day, leading to a total combined water and slurry discharge of 1,180,911.07 m<sup>3</sup>/day. To manage the inflow issue at Pit North Wara, a trapezoid-shaped sump with a volume of 1,200,000 m<sup>3</sup>, utilizing 3 Multiflo 420EXHV pumps, is proposed. The pumps can operate with an average actual use of 80%. Based on the calculation, the pumps can discharge 72,576 m<sup>3</sup>/day.. From the erosion rate calculation using the MUSLE method, the estimated time to reach the full pond is 9.36 months. This research offers an efficient and sustainable solution to address water challenges at the mining location.*

*Keywords: Dewatering System, Log Pearson III Distribution, MUSLE Method, Sump Lifespan*

## RINGKASAN

**Perencanaan Teknis Sump Baru Tambang Batu Bara Di Pit North Wara PT Adaro Indonesia**; Mardhiyah Zahra, 191910901015; 2023; 69 halaman; Program Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pentingnya merencanakan sistem penyaliran tambang sangat penting untuk mengatasi masalah air, terutama volume lumpur yang meningkat dan erodibilitas tanah di *Pit North Wara*. Sistem ini berfungsi mengendalikan air dalam tambang, mencegah gangguan pada proses penambangan dan lingkungan sekitar, serta dapat diselesaikan dengan perancangan *sump*. Perencanaan *sump* baru melibatkan analisis hidrologi, kapasitas *sump*, keberlanjutan, keamanan operasional, dan studi lingkungan sesuai dengan Kepmen 1827K/30/MEM/2018, dengan tujuan memberikan solusi efisien dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah air di lokasi pertambangan.

Penelitian ini dilakukan di *pit North Wara* PT Adaro Indonesia di wilayah penambangan PT Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. Penelitian ini mencakup langkah-langkah seperti studi literatur, observasi lapangan, dan pengumpulan data (primer dan sekunder). Pengolahan data dilakukan untuk curah hujan menggunakan metode *Log pearson III*, topografi aktual untuk catchment area menggunakan *software minescape v5.7*, intensitas curah hujan, *material properties*, data pompa, dan *waterflowbalance* guna memberikan estimasi rancangan dimensi dan umur *sump* tambang sebagai solusi efisien dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah air di lokasi pertambangan.

Penelitian ini menghasilkan penelitian ini, curah hujan rencana periode ulang 10 tahun adalah 126,950 mm dengan intensitas curah hujan sebesar 44,011 mm/jam. Debit air limpasan mencapai 1.263.057 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan debit evapotranspirasi adalah 96,274 m<sup>3</sup>/hari. Luas area penambangan mencapai 201,4 ha dengan debit laju erosi sebesar 997,25 m<sup>3</sup>/hari dan 4.873 ton/hari, menghasilkan debit total air dan lumpur mencapai 1.180.911,07 m<sup>3</sup>/hari. Untuk mengatasi permasalahan air yang masuk pada *pit North Wara*, direncanakan *sump* dengan bentuk trapesium dan volume 1.200.000 m<sup>3</sup> yang menggunakan 3 pompa. Pompa

yang digunakan adalah Multiflo 420EXHV dengan ketersediaan pemakaian aktual rata-rata sebesar 80%. Berdasarkan perhitungan, pompa tersebut mampu mengeluarkan volume air sebesar 72.576 m<sup>3</sup>/hari. Dari perhitungan laju erosi dengan menggunakan Metode MUSLE, waktu perkiraan kolam penuh adalah 9,36 bulan.



## PRAKATA

Dengan penuh rasa syukur dan berkat rahmat Allah SWT, penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul "*Perencanaan Teknis Sump Baru Tambang Batu Bara di Pit North Wara PT Adaro Indonesia*". Skripsi ini merupakan bagian dari persyaratan penyelesaian pendidikan sarjana (S1) di Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak mungkin terwujud tanpa dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya Alm.Priyoko Hadi Mulyo dan Ristia Suparti serta kakak dan adik saya yang telah memberi dukungan semangat, motivasi dan doa yang tidak pernah putus.
2. Bapak Ir. Fanteri Aji Dharma S, S.T., M.S., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Ir. Januar Fery Irawan, S.T.M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
3. Bapak Haeruddin, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Siti Aminah, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan arahan dalam menyelesaikan penelitian ini.
4. Seluruh mentor lapangan di PT Adaro Indonesia yang telah membimbing selama kegiatan magang

Penulis dengan sukacita menerima segala kritik dan saran dari semua pihak dengan tujuan meningkatkan kualitas skripsi ini. Pada akhirnya, harapan penulis adalah agar skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif.

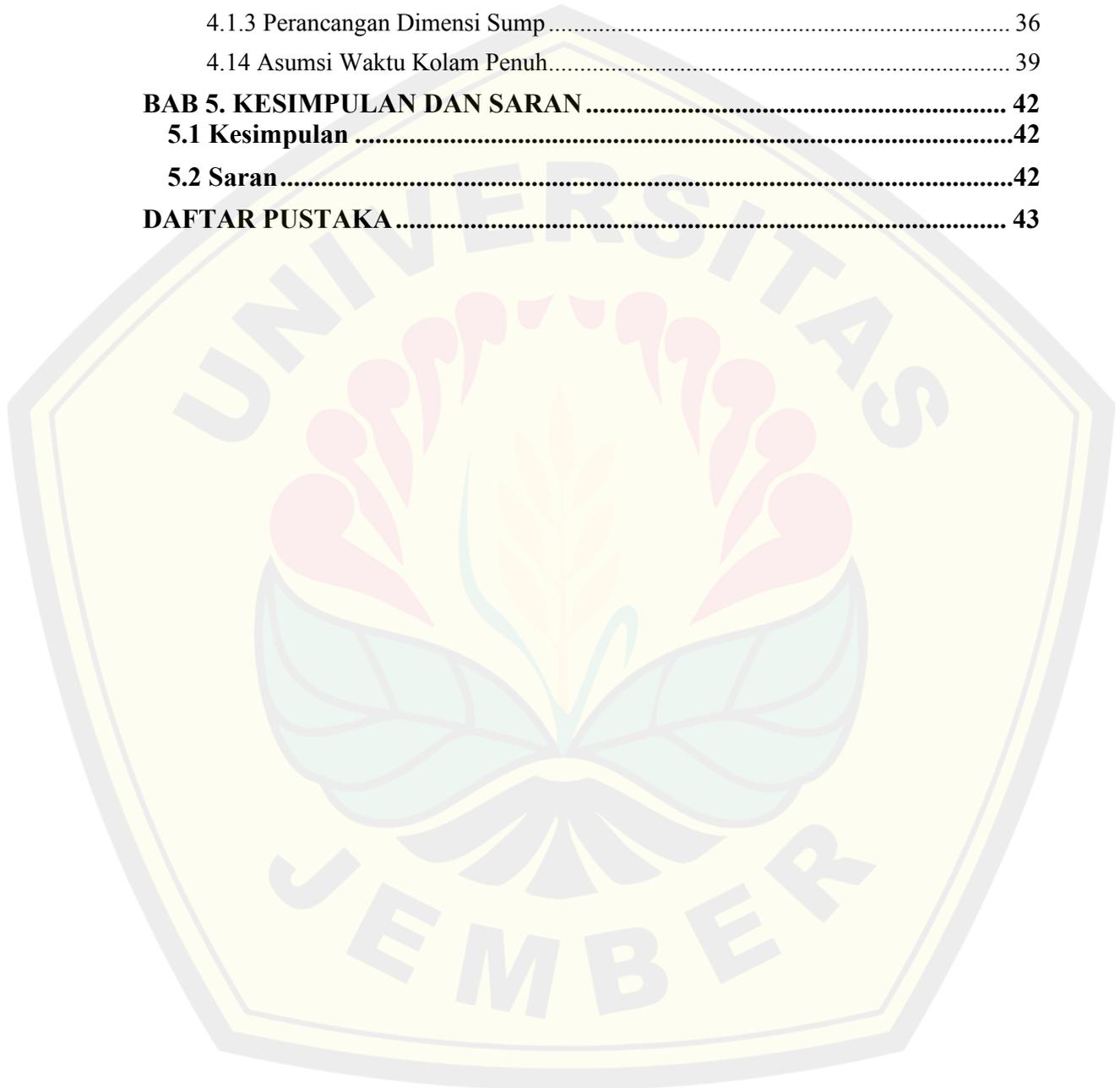
Jember, 21 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

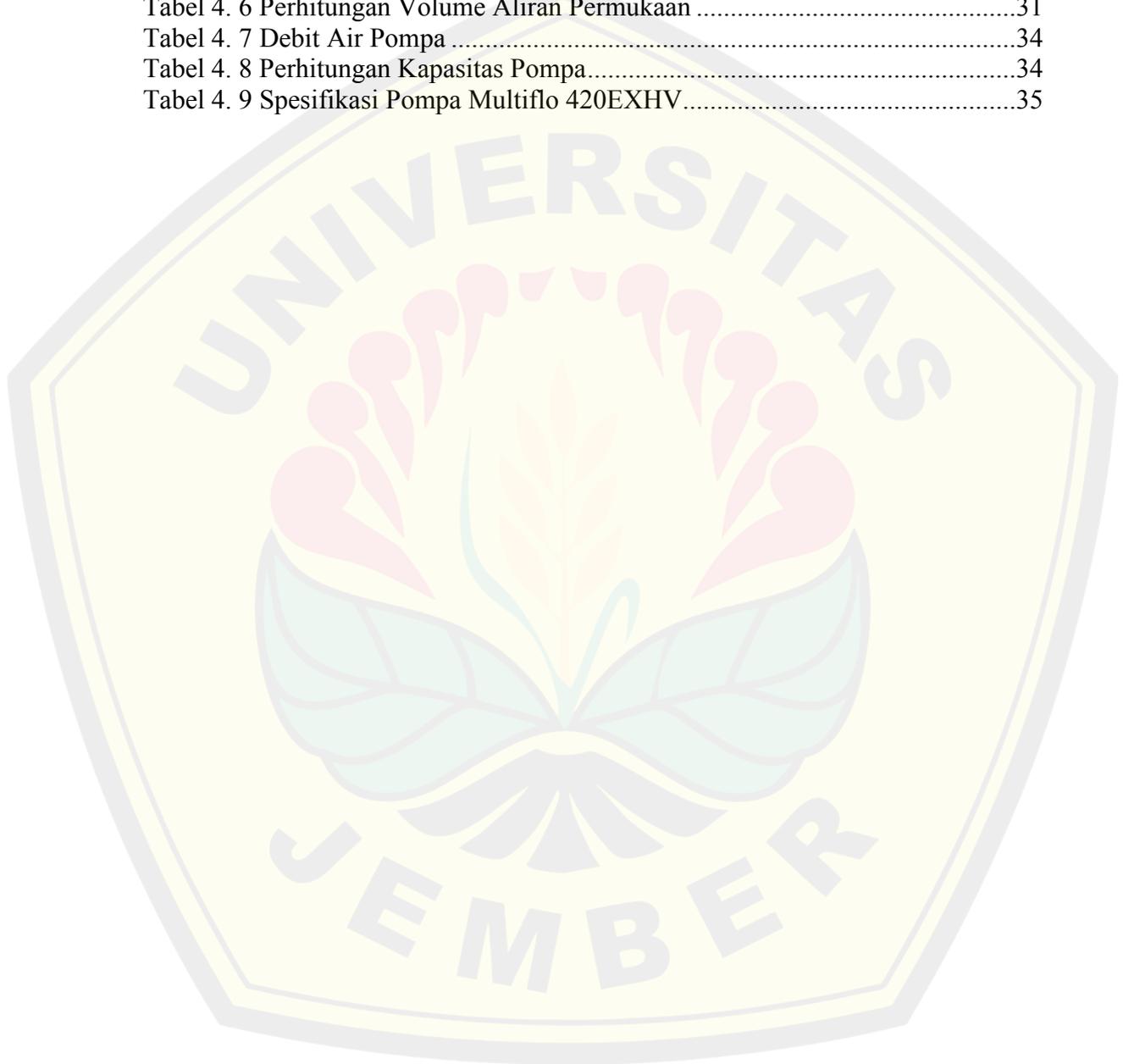
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Sistem Penyaliran Tambang.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Penyaliran Tambang .....</b>	<b>5</b>
2.3.1 Curah hujan.....	5
2.3.2 Daerah Tangkapan Hujan.....	7
2.3.3 Debit Limpasan.....	8
2.3.4 Evapotranspirasi.....	8
2.3.5 Lumpur.....	9
2.3.6 Rembesan.....	12
<b>2.4 Pompa .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Water Flow Balance .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Asumsi Umur Sump.....</b>	<b>18</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Kondisi Geologi Regional .....	19
3.3 Rancangan Penelitian.....	20
3.4 Data Penelitian.....	21

3.5 Pengolahan Data .....	21
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	23
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran Tambang .....</b>	<b>24</b>
4.1.1 Faktor Volume Air dan Lumpur .....	24
4.1.2 Pompa .....	34
4.1.3 Perancangan Dimensi Sump .....	36
4.1.4 Asumsi Waktu Kolam Penuh .....	39
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Perhitungan Curah Hujan Rencana.....	25
Tabel 4. 2 Perhitungan Debit Limpasan.....	28
Tabel 4. 3 Perhitungan Curah Hujan Tahunan Rata-Rata.....	28
Tabel 4. 4 Perhitungan Nilai Rembesan.....	30
Tabel 4. 5 Debit Limpasan per - Periode Ulang.....	31
Tabel 4. 6 Perhitungan Volume Aliran Permukaan .....	31
Tabel 4. 7 Debit Air Pompa .....	34
Tabel 4. 8 Perhitungan Kapasitas Pompa.....	34
Tabel 4. 9 Spesifikasi Pompa Multiflo 420EXHV.....	35



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian .....	23
Gambar 4. 1 Grafik Curah Hujan Maksimum (garis) ditambah polygon .....	24
Gambar 4. 2 Catchment Area.....	27
Gambar 4. 3 Rencana Dimensi <i>Sump</i> Tampak Atas .....	38
Gambar 4. 4 Rencana Dimensi <i>Sump</i> Tampak Samping .....	38
Gambar 4. 5 Rencana Penempatan <i>Sump</i> dan Pompa.....	38



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Kondisi Geologi Regional .....	45
Lampiran 2. Perhitungan Sistem Penyaliran Tambang.....	48
Lampiran 3. Hasil Uji Lab (Material Properties) .....	52
Lampiran 4. LoA (Letter of Acceptance).....	53



**DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN**

Singkatan	Arti dan keterangan
PKP2B	Perjanjian Kerja Pengusahaan Pertambangan Batu Bara
MEM	Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT Adaro Indonesia memiliki fokus untuk mencapai target produksi dengan meminimalkan kendala-kendala yang dapat menghambat kegiatan penambangan. Salah satu kendala utama yang dihadapi adalah masalah air. Berdasarkan laporan bulanan kegiatan eksplorasi PT Adaro Energy Tbk juli 2014 disebutkan bahwa sebagai salah satu kontraktor pemerintah didirikan pada tahun 1982 melalui Perjanjian Kerja Pengusahaan Pertambangan Batu Bara (PKP2B) generasi pertama yang berlokasi di Kabupaten Balangan dan Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. PT Adaro Indonesia mengimplementasikan metode penambangan terbuka (*surface open-cut mining*) di tiga lokasi, yaitu Tutupan, Paringin, dan Wara.

Kendala air merupakan hal yang tak terpisahkan dari sistem pertambangan terbuka. Semakin luas lahan yang ditambang, semakin besar volume air yang masuk ke dalam tambang yang dapat diatasi dengan pembuatan *sump* (Ramadandika dan Putri, 2015). *Sump* tambang berperan penting dalam industri pertambangan terbuka, berfungsi untuk mengumpulkan dan menampung air yang masuk ke dalam tambang akibat hujan atau aliran dari area sekitar. Fungsinya adalah untuk mengendalikan aliran air di sekitar area penambangan, sehingga kondisi kerja aman dan dirancang sebagai kolam buatan atau reservoir yang digali atau dibangun di dekat area penambangan (Badhurahman, 2017).

PT Adaro Indonesia menghadapi peningkatan volume lumpur akibat curah hujan tinggi dan erodibilitas tanah yang buruk di *Pit North* Wara, seiring dengan pertumbuhan industri pertambangan. Cara mengatasi masalah ini, perusahaan merencanakan pembentukan *sump* baru dengan kapasitas lebih besar dikarenakan *sump* lama telah mencapai titik jenuh dan tidak mampu menampung air masuk lagi. *Sump* lama akan diubah menjadi wadah dengan sistem penyaringan aliran lumpur sebelum dialirkan ke *sump* baru (*box control*). Perencanaan teknis pembuatan *sump* baru ini dipicu oleh beberapa faktor, termasuk pertumbuhan produksi, iklim, erodibilitas tanah, kebutuhan lingkungan, dan keamanan operasional.

Perencanaan teknis pembuatan *sump* baru merupakan proses yang kompleks dan penting dalam industri pertambangan. Beberapa faktor yang diperlukan untuk dipertimbangkan dalam perencanaan tersebut meliputi analisis hidrologi dan hidrogeologi untuk memahami pola aliran air di sekitar area penambangan. Selain itu, perhitungan kapasitas *sump* berdasarkan volume air yang diharapkan masuk dalam jangka waktu tertentu, termasuk curah hujan ekstrim, sangat krusial (Priyana, 2018).

Evaluasi keberlanjutan menjadi pertimbangan penting karena *sump* harus dirancang untuk masa pakai jangka panjang dan mempertimbangkan perubahan iklim serta pertumbuhan produksi tambang. Studi lingkungan juga harus dilakukan untuk menilai dampak *sump* baru terhadap lingkungan sekitar dan mengidentifikasi cara untuk meminimalkan dampak negatif. Aspek keamanan harus menjadi prioritas, dengan desain *sump* yang mempertimbangkan faktor-faktor keamanan guna mencegah terjadinya banjir, longsor, atau kecelakaan lain yang berhubungan dengan air di area tambang.

Ketersediaan lahan yang sesuai menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan *sump* tambang baru, karena hal ini memastikan pembangunan *sump* dapat dilakukan dengan ukuran dan lokasi yang tepat. Faktor-faktor tersebut, seperti analisis hidrologi, perhitungan kapasitas, evaluasi keberlanjutan, dan faktor keamanan, dipertimbangkan secara holistik dan berkelanjutan untuk memastikan *sump* baru berfungsi dengan optimal untuk menjaga keamanan operasional tambang, serta memenuhi standar lingkungan yang berlaku. Standar lingkungan yang mengatur tentang *sump* tambang dapat ditemukan dalam Kepmen 1827K/30/MEM/2018, yang merupakan keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia yang mengatur mengenai rencana dan tata cara pembuatan, penggunaan, pengelolaan, pemantauan, dan evaluasi *sump* tambang.

Penelitian Maulana 2022 bertujuan merencanakan *sump* baru dengan geometri teknis untuk mengatasi luapan air di lokasi Banko Barat, PT Satria Bahana Sarana, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas *sump* tidak mencukupi untuk menampung seluruh air yang masuk, sehingga diperlukan tambahan *sump* dengan volume lebih besar. Namun, penelitian

tersebut belum mencakup perhitungan volume lumpur, waktu mencapai kapasitas penuh dan umur sump. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menghitung faktor waktu dan umur sump agar dapat mengelola air yang melimpah dengan lebih efektif.

Pada penelitian ini memiliki tujuan utama untuk merancang sump tambang baru dan melakukan perhitungan terkait waktu sump mencapai kapasitas penuh serta estimasi umur sump. Hasil dari penelitian ini akan menjadi dasar dalam merancang struktur sump tambang yang mematuhi standar keamanan dan lingkungan yang berlaku. Pembangunan sump baru yang sesuai, diharapkan akan memberikan solusi yang efisien dan berkelanjutan dalam mengatasi tantangan air yang dihadapi oleh perusahaan di lokasi pertambangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah volume air dan lumpur yang masuk ke dalam pit tambang terhadap operasional dan kinerja sump tambang di *pit North Wara*?
2. Bagaimana analisis jumlah dan kapasitas pompa yang ideal di *pit North Wara* berdasarkan volume air dan lumpur yang masuk ke dalam sump?
3. Bagaimana perancangan ukuran geometri dimensi sump yang ideal untuk menangani volume air dan lumpur yang masuk ke dalam *pit North Wara*?
4. Bagaimana perhitungan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi penuhnya sump di *pit North Wara*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memahami pola aliran air dan lumpur di dalam *pit* tambang, termasuk pola aliran saat curah hujan tinggi dan kondisi lain yang mempengaruhi volume air yang masuk.
2. Menganalisis jumlah dan kapasitas pompa yang ideal berdasarkan volume air dan lumpur yang masuk ke dalam sump.

3. Menentukan rancangan ukuran geometri dan dimensi sump yang ideal berdasarkan volume air dan lumpur yang diperkirakan masuk ke dalam *pit*.
4. Menganalisis lama waktu waktu yang diperlukan untuk mencapai titik kritis di mana sump penuh dan tidak lagi dapat menampung air dan lumpur yang masuk.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Peneliti diharapkan dapat mengimplementasikan ilmu perkuliahan dalam dunia kerja, serta melatih kemampuan analisis terutama dalam dunia pertambangan.
2. Bagi Institusi diharapkan dapat menjadi referensi atau sumber data acuan untuk penelitian selanjutnya yang mengangkat topik serupa.
3. Bagi perusahaan diharapkan menjadi bahan pertimbangan dan masukan untuk merencanakan *sump* ke depannya agar tercipta sistem *dewatering* yang optimal.

#### 1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka dapat ditentukan batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Permasalahan yang dibahas hanya pada perencanaan teknis geometri *sump pit North Wara* yang meliputi :
  - Data curah hujan tahun 2010 – 2022
  - Intensitas hujan
  - Debit air limpasan dan lumpur yang masuk ke *pit North Wara*
  - Kapasitas *sump*
2. Peneliti hanya akan menghitung curah hujan rencana dan debit kapasitas *sump* tanpa memperhitungkan *cost operational sump* dan *maintenance*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.2 Sistem Penyaliran Tambang

Sistem penyaliran tambang merupakan suatu proses mengendalikan dan mengelola air yang ada di dalam tambang. Air dapat masuk ke dalam tambang melalui berbagai sumber, seperti air hujan, air tanah, dan air permukaan. Jumlah air yang masuk ke dalam tambang dapat sangat besar, terutama di lokasi penambangan terbuka (surface mining) di mana luas lahan yang ditambang cukup besar. Sistem ini dibuat agar tidak membahayakan proses penambangan atau lingkungan sekitar yang diakibatkan oleh air (Firdaus, 2020). Terdapat dua jenis sistem yang digunakan untuk mengatasi permasalahan air yang ada, sebagai berikut.

- a. *Mine drainage* adalah suatu metode yang digunakan untuk mencegah masuknya air ke dalam lubang tambang dan mengendalikan air tanah. Tujuannya adalah untuk mengurangi volume air yang masuk ke dalam tambang agar tidak mengganggu proses penambangan. Metode ini dapat mencakup berbagai teknik, salah satunya adalah dengan membentuk sistem parit terbuka (open ditch) untuk mengalirkan air keluar dari area penambangan.
- b. *Mine dewatering* adalah upaya untuk mengalirkan air yang telah memasuki area penambangan, terutama yang berasal dari air hujan yang dapat menyebabkan peningkatan volume air di dalam *pit* tambang. Penanganan air yang telah memasuki tambang dilakukan dengan menggunakan pompa-pompa pada kolam penampungan untuk menjaga kondisi kering di dalam *pit*. Upaya *mine dewatering* ini berperan penting dalam menjaga kestabilan dan kelancaran operasional tambang, menghindari penumpukan air yang berlebihan, serta mengurangi risiko gangguan pada kegiatan penambangan akibat volume air yang berlebih.

### 2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Penyaliran Tambang

Faktor-faktor yang mempengaruhi dan perlu diperhatikan dalam merancang sistem penyaliran di tambang terbuka antara lain sebagai berikut.

#### 2.3.1 Curah hujan

Curah hujan adalah total volume air yang turun ke permukaan tanah datar

dalam jangka waktu tertentu, biasanya dalam satuan milimeter (mm) atau liter per meter persegi (L/m<sup>2</sup>). Curah hujan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk lokasi geografis, iklim, musim, dan topografi. Pengukuran curah hujan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur hujan seperti pluviometer dan data curah hujan tersebut diolah meliputi :

- a. Curah hujan rencana adalah curah hujan yang cenderung berulang dalam suatu pola dikenal sebagai periode ulang hujan. Curah hujan perlu dianalisis dengan pendekatan parameter-parameter statistik untuk menentukan distribusi yang tepat dapat dilihat pada tabel 2.1.

- a. Koefisien variasi (Cv)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.1)$$

- b. Koefisien skewness (Cs)

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^3}{(n-1)x(n-2)s^3} \quad (2.2)$$

- c. Koefisien ketajaman (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 x \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X}^4)}{(n-1)x(n-2)x(n-3)s^3} \quad (2.3)$$

Keterangan :

S = Deviasi standar

Ck = Koefisien ketajaman

$\bar{X}$  = Curah hujan rata – rata  
(mm/bulan)

Cv = Koefisien variasi

Cs = Koefisien *Skewness*

Xi = Curah hujan maksimum

Tabel 2. 1 Karakteristik Distribusi Frekuensi

	Jenis Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi
1.	Distribusi Normal	Cs = 0 dan Ck = 3
2.	Distribusi Log Normal	Cs > 0 dan Ck > 3
3.	Distribusi Gumbel	Cs ≤ 1,139 dan Ck ≤ 5,402
4.	Distribusi Log-Person III	Cs antara 0 – 0,9 dan Cv > 3

Sumber: Soewarno, 2014

Penelitian ini menggunakan metode *Log Pearson III* untuk pengolahan data curah hujan rencana dikarenakan metode ini sesuai dengan syarat distribusi hujan pada PT Adaro Indonesia dan memberikan nilai intensitas curah hujan yang lebih tinggi daripada metode lainnya, karena pada dasarnya perusahaan

tambang ingin mencegah risiko terburuk yang mungkin terjadi akibat curah hujan tertinggi. Metode *Log Pearson III* memungkinkan analisis probabilitas dari curah hujan maksimum dengan Persamaan 2.4 (Soewarno, 1995).

$$\log X_t = \overline{\log \bar{X}} + K.Sd \quad (2.4)$$

Keterangan:

$X_t$  = Nilai Curah Hujan Periode ulang T tahun

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

K = Karakteristik distribusi *Log Pearson Tipe III* (Lampiran 2 Tabel 2a.)

S = Standar Deviasi

#### b. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah suatu pengukuran yang menunjukkan jumlah hujan yang jatuh dalam satu unit waktu selama periode hujan terjadi. Intensitas curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan membahayakan keselamatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan memprediksi intensitas curah hujan dengan akurat melalui rumus mononobe menggunakan Persamaan 2.5.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad (2.5)$$

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = Curah hujan rancangan (mm/hari)

t = Durasi lama waktu hujan (jam)

#### 2.3.2 Daerah Tangkapan Hujan

Daerah tangkapan hujan adalah wilayah tempat hujan jatuh dan mengalir ke dalam saluran alami atau buatan (Harto, 1995). Sistem drainase yang efektif terjadi ketika air hujan di suatu wilayah dapat segera dievakuasi ke saluran pembuangan utama. Daerah tangkapan hujan atau catchment area dapat dikenali melalui dua cara, yaitu dengan menggunakan peta topografi diolah menggunakan perangkat lunak Minescape.

### 2.3.3 Debit Limpasan

Debit limpasan adalah sebagian dari curah hujan yang mengalir di permukaan tanah menuju sungai, danau, atau laut. Aliran ini terjadi ketika curah hujan yang jatuh di permukaan bumi tidak dapat diserap oleh tanah. Rumus Rasional digunakan untuk memperkirakan debit air limpasan yang memerlukan tiga variabel utama, yaitu intensitas curah hujan (I), luas catchment area (A), dan koefisien penutupan lahan (c) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan menggunakan Persamaan 2.6.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2.6)$$

Keterangan:

- Q = Debit air limpasan maksimum (m<sup>3</sup>/detik)  
 C = Koefisien limpasan  
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam)  
 A = Luas daerah tangkapan hujan (km<sup>2</sup>)

Tabel 2. 2 Koefisien limpasan

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1.	Daerah perdagangan Perkotaan	0,70 - 0,90
2.	Permukiman Perumahan	0,30 - 0,50
3.	Pertambangan	0,60 - 0,90
4.	Taman, pekuburan	0,10 - 0,25
5.	Tempat bermain	0,20 - 0,35
6.	Daerah stasiun kereta api	0,20 - 0,40
7.	Daerah belum diperbaiki	0,10 - 0,30
8.	Jalan	0,70 - 0,95
9.	Bata Jalan, hamparan Atap	0,75 - 0,85

Sumber : Schwab, 1981

### 2.3.4 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan hasil dari kombinasi proses evaporasi dan transpirasi. Tahap ini memiliki pengaruh paling signifikan dalam siklus hidrologi. Rumus yang digunakan untuk menghitung evapotranspirasi adalah rumus Turc Langbein Wundt, yang dapat dinyatakan menggunakan Persamaan 2.7 (Lucien Turc, 1951).

$$ET = \frac{P}{[0,9 + (\frac{P}{L(T)})^2]^{0,5}} \quad (2.7)$$

$$\%ET = \frac{ET}{I} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$Q_{ET} = A \times ET \times 10^{-3} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- ET = Evapotranspirasi (mm/jam)  
 P = Total Curah hujan tahunan rata-rata (mm/tahun)  
 T = Temperatur rata-rata (°C)  
 L(T) = Fungsi suhu =  $300 + 25T + 0,05T^3$   
 %ET = Persentase wilayah ter-evapotranspirasi  
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam)  
 Q<sub>ET</sub> = Debit evapotranspirasi (m<sup>3</sup>/hari)  
 A = Luas wilayah evapotranspirasi

### 2.3.5 Lumpur

Lumpur dapat dihitung dengan menggunakan metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan metode yang digunakan untuk memprediksi rata-rata erosi tanah dalam jangka cukup panjang dari suatu areal dengan pengelolaan tertentu. Menurut Wischmeier dan Smith (1978), bahwa model prediksi erosi MUSLE dapat menggunakan Persamaan 2.10.

$$SY = 11,8 (Q \cdot R)^{0,56} \times K \times LS \times C \times P \quad (2.10)$$

$$SDR = 0,41A^{-3} \quad (2.11)$$

$$Eakt = SY/SDR \quad (2.12)$$

Keterangan:

- SY = *Sedimen yield* (ton/th)  
 Eakt = Erosi aktual (ton/th)  
 R = Erosivitas limpasan permukaan (m<sup>3</sup>/jam)  
 Q = Debit limpasan rencana  
 K = Erodibilitas tanah (ton/KJ)  
 LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng  
 C = Faktor penutupan vegetasi  
 P = Faktor pengelolaan lahan  
 SDR = *Sediment delivery ratio*

A = Luas *catchment area*

Produktivitas lumpur tambang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat memengaruhi pembentukan, kuantitas, dan kualitas lumpur. Beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas lumpur tambang, antara lain :

#### 1. Faktor Aliran Permukaan ( $V_Q$ )

Aliran permukaan merujuk pada bagian air hujan yang mengalir di permukaan tanah dan mengarah ke sungai atau daerah yang lebih rendah. Nilai volume aliran permukaan dapat diketahui setelah mengetahui tinggi curah hujan dan luas area pada sub kawasan tertentu. Nilai volume aliran permukaan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.13.

$$V_Q = D \times C \times A \times P \quad (2.13)$$

Keterangan:

$V_Q$  = Volume aliran permukaan (m<sup>3</sup>)

D = Tinggi Hujan maksimum rata-rata bulanan (m)

A = Luas (m<sup>2</sup>)

C = Faktor penutupan vegetasi

P = Faktor pengelolaan lahan

#### 2. Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah adalah sifat tanah yang menyatakan mudah atau tidaknya suatu tanah tererosi. Faktor erodibilitas tanah bergantung pada sifat-sifat tanah, kapasitas infiltrasi, kandungan bahan organik dan kimiawi. Nilai faktor erodibilitas tanah dapat ditentukan menggunakan rumus dan prakiraan besarnya nilai K untuk jenis tanah menggunakan Persamaan 2.14.

$$100k = 1,292[2,1 \times M \times 1,14(10 - 4)(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)] \quad (2.14)$$

Keterangan:

K = Erodibilitas Tanah

M = (% pasir sangat halus + % debu) x (100 - % liat)

a = Kode kandungan bahan organik

b = Kode struktur tanah

c = Kode permeabilitas profil tanah

Tabel 2. 3 Kode Kandungan Bahan Organik

	Kelas	Kisaran (%)	Nilai
1.	Rendah	< 2,0	1
2.	Sedang	2,1 – 6,0	2
3.	Agak Tinggi	6,1 – 10,0	3
4.	Tinggi	10,1 – 30,0	4
5.	Sangat Tinggi	>30,0	5

Sumber: Smith, 1978

Tabel 2. 4 Kode Struktur Tanah

	Tekstur	Nilai
1.	Lempung	2
2.	Lempung pasir	15
3.	Lempung pasir halus	16
4.	Lempung berdebu	20
5.	Liat berdebu	26

Sumber: Smith, 1978

Tabel 2. 5 Kode Permeabilitas Profil Tanah

Kelas Permeabilitas	Kecepatan (cm/jam)	Kode
Sangat lambat	< 0,5	6
Lambat	0,5 – 2,0	5
Lambat sampai sedang	2,0 – 6,3	4
Sedang	6,3 – 12,7	3
Sedang sampai cepat	12,7 – 25,4	2
Cepat	>25,4	1

Sumber: Smith, 1978

### 3. Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Panjang dan kemiringan lereng merupakan rasio besarnya erosi dari suatu lereng dengan panjang dan kemiringan tertentu. Faktor LS berdampak terhadap besar kecilnya erosi. Nilai LS dapat diketahui dengan menggunakan software Minescape atau menggunakan nilai pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Nilai LS

Kelas Lereng	Kemiring Lereng (%)	Nilai LS
I	0 - 8	0,40
II	8 - 15	1,80
III	15 - 25	3,10
IV	25 - 40	4,25
V	>40	6,80

Sumber: Setiarno, 2019

### 4. Penggunaan Lahan (CP)

Faktor penggunaan lahan (CP) adalah faktor kombinasi antara pengelolaan tanaman dengan tindak konservasi. Pengelolaan tanaman (C) merupakan rasio tanah yang tererosi pada suatu jenis pengelolaan tanaman terhadap tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.2. Faktor konservasi tanah (P) adalah nilai nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi yang dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Nilai P

Sumber: Asdak, 2002

No.	Tata Guna Lahan	P
1.	Hutan Primer	0,001
2.	Hutan Sekunder	0,005
3.	Kebun Campuran	0,5
4.	Pertambangan	1
5.	Pertanian Lahan Kering	0,5

#### 5. Erosivitas Limpasan Permukaan

Erosivitas limpasan permukaan adalah kemampuan aliran permukaan untuk mengikis lapisan permukaan tanah atau vegetasi. Hal ini disebabkan oleh kecepatan, volume, dan tekanan air yang mengalir pada permukaan tanah yang tidak terlindungi oleh vegetasi atau perlindungan lainnya. Nilai erosivitas limpasan permukaan didapatkan dengan Persamaan 2.13.

$$R = a x (V_Q x Q_p)b \tag{2.13}$$

Keterangan :

R = Erosivitas Limpasan Permukaan

a = Koefisien 11,80 (Williams, 1977)

$V_Q$  = Debit Limpasan Rencana (m<sup>3</sup>)

$Q_p$  = Aliran Puncak (m<sup>3</sup>/S)

b = Koefisien 0,56 (Williams, 1977)

#### 2.3.6 Rembesan

Rembesan merupakan istilah yang mengacu pada masuknya air ke dalam area penambangan, biasanya melalui lantai lubang tambang atau melalui sepanjang kontak geologis tertentu. Sumber air rembesan dapat berasal dari air hujan, air tanah, atau air dari sumber lainnya di sekitar lokasi tambang. Rembesan air

dipengaruhi oleh nilai permeabilitas suatu tanah atau batuan di sekitar tambang yang dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Nilai Permeabilitas

1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
Kerikil bersih	Pasir bersih dan campuran pasir-kerikil				Pasir sangat halus, lanau dan lempung-lanau berlapis-lapis		Lempung tak bercelah dan lempung lanau (>20% lempung)			
	Lempung yang mengalami pengawetan dan bercelah									

Sumber: Syaifuddin, 2016

Nilai rembesan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.14 dimana volume sump adalah volume air yang ditampung oleh sump dan koefisien permeabilitas lempung rembesan adalah faktor yang menentukan tingkat rembesan air melalui lapisan tanah.

$$\text{Rembesan} = V \times K \quad (2.14)$$

Keterangan :

V = Volume Sump Rencana

K = Koefisien Permeabilitas

## 2.4 Pompa

Pompa adalah sebuah alat mekanik yang berfungsi untuk mengalihkan atau memindahkan cairan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya. Pompa memanfaatkan energi mekanik. Pompa dapat berupa berbagai jenis, seperti pompa air, pompa hidrolis, dan pompa vakum (Wibowo,2018).

1. Kapasitas pompa adalah volume fluida yang dipompa oleh pompa dalam periode waktu tertentu. Kapasitas pompa ini ditentukan berdasarkan kebutuhan yang perlu direncanakan. Volume air yang dikeluarkan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.15.

$$Volume_{Pompa} = WH_{Efektif} \times Q_{Pompa} \quad (2.15)$$

Keterangan:

V = Volume Pompa (m<sup>3</sup>/jam)

WH = Jam Operasional Pompa

Q = Debit Aktual Pompa (m<sup>3</sup>/jam)

## 2. Head Pompa

*Head* pompa adalah jumlah energi yang diperlukan untuk memindahkan sejumlah cairan yang telah direncanakan. *Head* pompa dapat ditentukan dengan cara menghitung *head* statis pompa, *head loss* gesekan pipa keluar, *head loss* gesekan pipa hisap, *head loss* kecepatan di katup hisap, dan *head* kecepatan di pipa keluar (*velocity head*). *Head* pompa dihitung dengan Persamaan 2.16.

$$Head\ Total = H_s + H_{id} + H_{is} + H_{kh} + H_v \quad (2.16)$$

Keterangan:

$H_s$  = *Static Head*

$H_{id}$  = *Head Loss* Gesekan Pipa Keluar

$H_{is}$  = *Head Loss* Gesekan Pipa Hisap

$H_{kh}$  = *Head Loss* Gesekan di Katup Hisap

$H_v$  = *Velocity Head*

## 3. Static Head

*Static head* merupakan penurunan energi yang terjadi akibat perbedaan ketinggian antara pipa masukan (*inlet*) dan pipa keluaran (*outlet*). *Static head* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.16.

$$H_s = h_2 - h_1 \quad (2.17)$$

Keterangan:

$h_1$  = Elevasi Pipa *Inlet*

$h_2$  = Elevasi Pipa *Outlet*

## 4. Head Loss Gesekan Pipa Keluar

*Head loss* gesekan pada pipa keluar adalah hasil penurunan energi yang terjadi akibat gesekan air saat mengalir melalui pipa dan bersentuhan dengan dinding pipa. Perhitungan *head loss* ini menggunakan Persamaan 2.18.

$$H_{id} = \lambda \frac{(L)(v)^2}{2(D)(g)} \quad (2.18)$$

$$\lambda = 0,020 + \left(\frac{0,0005}{D}\right) \quad (2.19)$$

Keterangan:

$H_{id}$  = Head loss gesek dalam pipa

$L$  = Panjang Pipa (m)

$v$  = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

$D$  = Diameter pipa (m)

$g$  = Gaya gravitasi

#### 5. Head Loss Gesekan Pipa Hisap

Head loss gesekan pada pipa hisap adalah penurunan energi yang terjadi akibat gesekan air yang mengalir melalui pipa hisap dengan dinding pipa, yang dihitung berdasarkan Persamaan 2.20.

$$H_{is} = \lambda \frac{(Suction)(v)^2}{2(D)(g)} \quad (2.20)$$

$$\lambda = 0,020 + \left(\frac{0,0005}{D}\right) \quad (2.21)$$

Keterangan :

$H_{is}$  = Head loss gesek dalam pipa hisap

$v$  = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

$D$  = Diameter pipa (m)

$G$  = Gaya gravitasi

#### 6. Head Loss Gesekan Katup Hisap

Head loss di katup adalah energi yang hilang disebabkan oleh pengoperasian katup pada pompa yang memiliki nilai koefisien dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Head loss tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.22.

$$H_{kh} = F_v \frac{(v)^2}{2(g)} \quad (2.22)$$

Keterangan :

$H_{kh}$  = Head loss gesek dalam pipa

$F_v$  = Koefisien loss katup hisap

$v$  = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

$D$  = Diameter pipa (m)

$g$  = Gaya gravitasi

Tabel 2. 9 Koefisien *Loss* Katup Hisap

Jenis Katup	Diameter						
	100	150	200	250	300	400	500
Katup sorong	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0	0
Katup kupu-kupu	0.6 - 0.16						
Katup putar	0.09 - 0.026						
Katup cegah jenis ayun			1.2	1.15	1.1	1.0	0,98
Katup cegah tutup jenis takanan			1.2	1.15	1.1	0.9	0.8
Katup cegah jenis angkat bebas	1.44	1.39	1.34	1.3	1.2		
Katup cegah tutup cepat jenis pegas	7.3	6.6	5,9	5.3	4.6		
Katup isap dengan saringan	1.97	1.91	1.84	1.78	1.72		

Sumber: Sularso dan Haruo, 1983

### 7. Velocity Head

*Velocity head* adalah penurunan energi yang terjadi akibat kecepatan aliran air yang melalui pompa. *Velocity head* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.23.

$$H_v = \frac{(v)^2}{2(g)} \quad (2.23)$$

Keterangan:

$H_v$  = Head Kecepatan

$v$  = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

$g$  = Gaya gravitasi

### 2.5 Water Flow Balance

*Water flow balance* adalah situasi di mana jumlah air yang masuk ke dalam *sump* tidak seimbang dengan jumlah air yang dikeluarkan oleh pompa dari *sump*. Air yang masuk ke dalam *sump* dipengaruhi oleh besarnya curah hujan, air limpasan, dan juga lumpur (Mohajerani, 2021). Hal yang mempengaruhi jumlah air yang dikeluarkan seperti, evapotranspirasi, rembesan, dan pemompaan. *Water flow balance* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.24.

$$\text{Water Balance} = Q_{in} - Q_{out} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$Q_{in}$  = Total air yang masuk

$Q_{out}$  = Total air yang keluar

## 2.6 Asumsi Umur *Sump*

Umur *sump* dapat ditentukan dengan menghitung waktu saat kolam penampungan mencapai kapasitas penuh. Seiring berjalannya waktu, kolam penampungan akan mengalami pendangkalan, oleh karena itu dalam merencanakan sistem penyaliran diperlukan perencanaan pengurasan yang tepat. Hukum Stokes digunakan untuk menghitung kecepatan pengendapan (Fajryanti, 2020) menggunakan Persamaan 2.25 dan Persamaan 2.26.

$$V_t = \frac{g \times D^2 \times (p_p - p_a)}{18\mu} \quad (2.25)$$

$$V_h = \frac{\text{Debit air yang masuk}}{\text{Luas Penampang}} \quad (2.26)$$

Keterangan :

$V_t$  = Kecepatan pengendapan vertikal

$V_h$  = Kecepatan pengendapan horizontal

$g$  = Percepatan gravitasi 9,8 m/detik<sup>2</sup>

$D$  = Diameter butir 0,06 mm

$p_p$  = *Specific gravity*

$p_a$  = Massa jenis air pada suhu T

$\mu$  = Viskositas dinamik air

Material padatan hasil erosi bercampur dengan air yang masuk ke dalam kolam penampungan, dan waktu yang diperlukan untuk pengendapan didapatkan dari Persamaan 2.27 dan Persamaan 2.28.

$$t_v = \frac{h}{V_t} \quad (2.27)$$

$$t_h = \frac{\text{Lebar kolam penampungan}}{V_h} \quad (2.28)$$

Keterangan :

$t_v$  = Waktu yang dibutuhkan untuk mengendap secara vertikal

$t_h$  = Waktu yang dibutuhkan untuk mengendap secara horizontal

$h$  = Ketinggian kolam penampungan

$V_t$  = Kecepatan pengendapan vertikal

Setelah diketahui nilai kecepatan pengendapan dan waktu pengendapan dapat dihitung persentase pengendapan menggunakan Persamaan 2.29.

$$\text{Persentase sedimen terendapkan} = \frac{th}{(th+tv)} \times 100\% \quad (2.29)$$

Pompa hanya memiliki kemampuan untuk mengeluarkan sekitar 40% dari volume sedimen yang masuk. Persentase sedimen yang tersisa dan persentase sedimen yang dapat diambil oleh pompa dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.30.

$$\text{Volume Sedimen} = 40\% \times \text{hasil sedimen 1 hari} \quad (2.30)$$

$$\text{Sedimen Terbawa Pompa} = \frac{\text{Volume debit air}}{\text{Volume pompa}} \times \text{sedimen 24jam} \times \% \text{ sedimen tidak terendap} \quad (2.31)$$

$$\text{Sedimen Tertinggal} = \text{Sedimen terbawa pompa} - \text{sedimen 1 hari} \quad (2.32)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka dapat di hitung waktu kolam penuh atau umur *sump* rencana dengan menggunakan Persamaan 2.34 dan Persamaan 2.35.

$$\text{Tampungan Sedimen} = \text{Volume kolam penampungan} - \text{volume sisa} \quad (2.34)$$

$$\text{Waktu kolam penuh} = \frac{\text{Tampungan sedimen}}{\text{Sedimen tertinggal 1 hari}} \quad (2.35)$$

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada dalam kawasan bergaris merah di wilayah penambangan PT Adaro Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. Area penelitian berada di *pit North Wara*. Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan, mulai 1 Februari hingga 1 April 2023. Pada gambar 3.1 merupakan lokasi penelitian di PT Adaro Indonesia.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian  
(Sumber: *Google Maps*, 2023)

#### 3.2 Kondisi Geologi Regional

PT Adaro Indonesia berlokasi di cekungan Barito, yang terletak di sebelah timur, Sub-cekungan Barito merupakan bagian selatan. Cekungan Kutai yang meliputi Kalimantan bagian Selatan dan Timur. Berdasarkan peta geologi Lembar Sampanahan yang dapat dilihat pada Lampiran 1 Tabel 1a.

Stratigrafi adalah salah satu cabang ilmu geologi yang berfokus pada penelitian dan analisis mengenai pemerian, pengurutan, pengelompokan, dan klasifikasi tubuh batuan serta hubungannya dengan lapisan-lapisan lainnya di bumi. PT Adaro Indonesia terdiri dari 4 formasi stratigrafi yang dapat dilihat pada Lampiran 1 Tabel 1 b.

##### 1. Formasi Tanjung

Formasi geologi yang memiliki usia paling tua. Tebal formasi ini berkisar antara 900 hingga 1100 meter. Formasi ini terdiri dari lapisan batulumpur, batulanau,

batupasir, serta sisipan batu bara yang kurang signifikan, dengan konglomerat sebagai komponen utama.

## 2. Formasi Berai

Formasi ini memiliki ketebalan berkisar antara 107 hingga 1300 meter. Secara stratigrafi terkait dengan Formasi Tanjung. Komposisinya terdiri dari batu gamping dan napal.

## 3. Formasi Warukin

Formasi ini mempunyai ketebalan 1000-2400 m. Pada formasi ini ada tiga lapisan paling dominan, yaitu:

- a. Batulempung memiliki ketebalan sekitar 100 meter.
- b. Batulumpur dan batupasir dengan ketebalan 600-900 m, dengan bagian atas terdapat endapan batu bara sepanjang 10 m.
- c. Lapisan batu bara dengan tebal cadangan 20-50 m. Bagian bawahnya terdiri dari lapisan pasir dan batupasir yang tidak padat, sedangkan bagian atasnya terdiri dari batulempung.

## 4. Formasi Dahor

Formasi Dahor memiliki ketebalan sekitar 450 hingga 840 meter. Formasi ini terdiri dari lapisan batuan konglomerat dan batupasir yang tidak padat. Selain itu, di dalam formasi ini juga terdapat batulempung lunak, lignit, dan limonit.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penyelesaian masalah diatas ditempuh dengan langkah-langkah pengamatan dan pengumpulan berbagai data yang diperoleh pada saat di lapangan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

#### a. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap penelitian untuk mengumpulkan diktat kuliah, jurnal ilmiah, buku, dan sumber dari internet yang berkaitan dengan masalah yang ingin diselesaikan sebagai bahan acuan. Beberapa topik yang akan digunakan sebagai bahan acuan pada penelitian kali ini (ringkas) yaitu, siklus hidrologi, daerah tangkapan hujan, sistem penyaliran tambang, perhitungan debit dan rancangan sump digabung

b. Observasi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan untuk mencari permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian. Observasi lapangan ini sangat berguna sebagai langkah awal untuk memulai proses pengambilan data.

c. Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data-data yang menunjang penelitian ini dengan menggunakan metode langsung (primer) dan metode tidak langsung (sekunder).

### 3.4 Data Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data primer penelitian adalah sebagai berikut.

1. Data dimensi dan kapasitas *sump* aktual didapatkan dari kontraktor
2. Data debit aktual didapatkan menggunakan alat *flow meter*
3. Data *material properties* didapatkan dengan *sampling* dan uji lab tanah (Lampiran 3)

Sedangkan pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan antara lain:

1. Data geologi regional PT Adaro Indonesia dari arsip PT Adaro Indonesia.
2. Data spesifikasi pompa didapatkan dari kontraktor (PT Putra Perkasa Abadi)
3. Topografi aktual dan data curah hujan didapatkan dari Department Mining Readiness PT Adaro Indonesia

### 3.5 Pengolahan Data

Prosedur yang dilakukan dalam pengolahan data penelitian adalah sebagai berikut.

a. Pengolahan Data Curah Hujan

Data curah hujan harian selama 13 tahun diuji menggunakan distribusi *Log Pearson III* untuk menentukan tingkat kesesuaian distribusi data. Selanjutnya, dilakukan perhitungan curah hujan rencana untuk berbagai periode waktu, serta perhitungan intensitas curah hujan berdasarkan data yang ada.

b. Pengolahan Topografi Aktual

Data topografi aktual dari lokasi penelitian diolah menggunakan software minescape 5.7 untuk membentuk catchment area, melalui pembuatan boundary, analisis spasial, dan integrasi data topografi dengan data relevan.

c. Pengolahan Intensitas Curah Hujan

Data intensitas curah hujan dihitung dengan metode mononobe dan digunakan untuk memperkirakan debit limpasan air yang mempengaruhi sump tambang dari catchment area.

d. Pengolahan Data *Material Properties*

- Permeabilitas

Permeabilitas tanah diuji dengan metode constant head permeability yang melibatkan penyuplai air konstan ke satu sisi sampel tanah atau batuan, sementara sisi lainnya dijaga pada tekanan konstan. Aliran air yang keluar dari sampel diukur untuk menghitung nilai permeabilitas.

- Data ukuran butir

Data ukuran butir dihitung dengan metode *sieve sampling* untuk mengelompokkan butir tanah atau agregat berdasarkan ukuran lubang ayakan, melibatkan penyaringan sampel dan perhitungan persentase berat masing-masing fraksi.

e. Pengolahan Data Pompa

Data pompa tambang diolah menggunakan data sekunder untuk menentukan jumlah dan kapasitas pompa yang ideal dalam mengatasi volume air dan lumpur di sump tambang.

f. Pengolahan Data Water Flow Balance

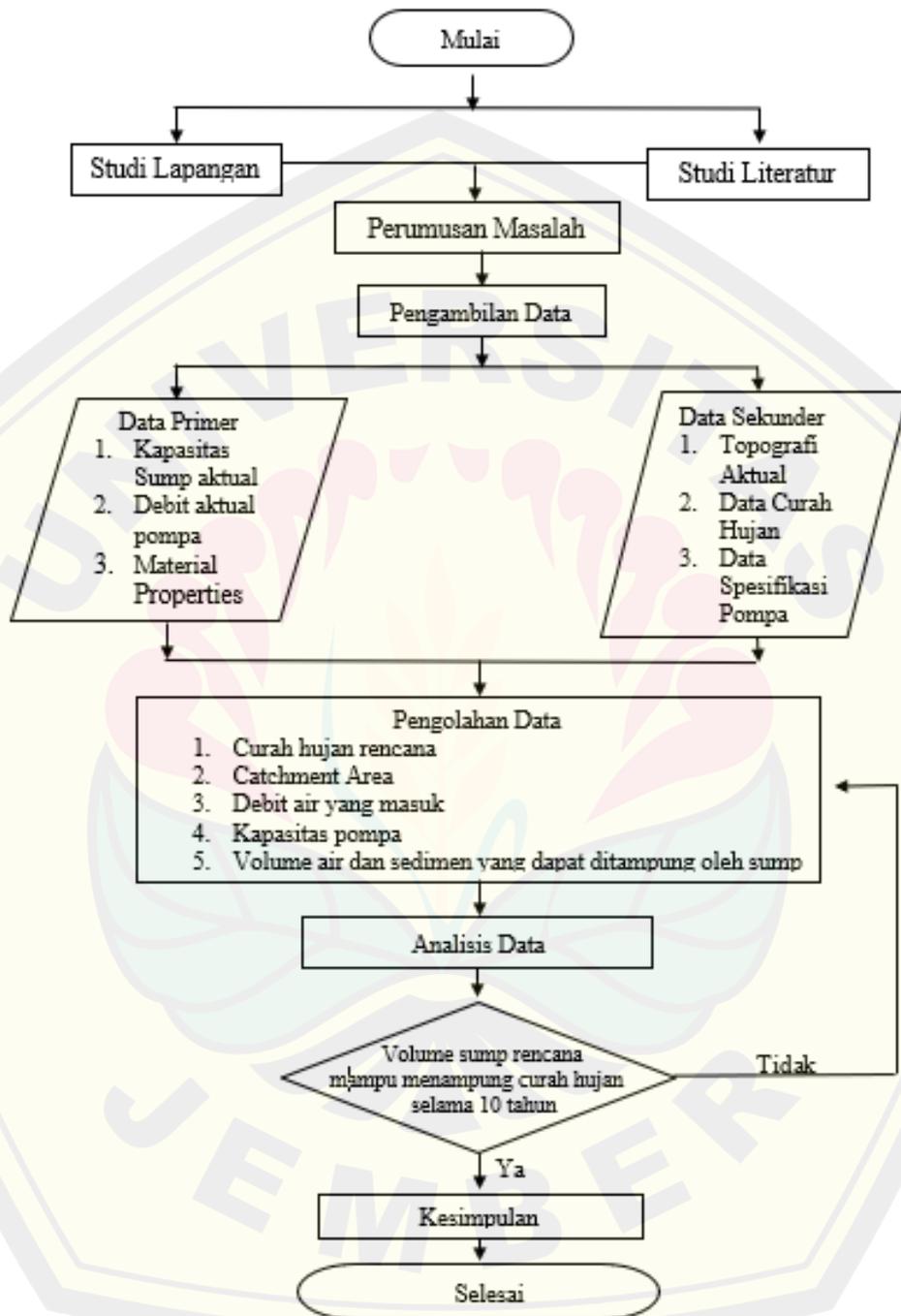
Data *water flow balance* digunakan untuk memperkirakan volume dan dimensi sump tambang yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan dalam menangani volume air dan lumpur secara efektif.

g. Kesimpulan

Rangkuman singkat hasil analisis data dan menjawab rumusan masalah dengan hasil akhir penelitian berupa estimasi rancangan dimensi dan umur sump tambang.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Langkah - langkah penelitian yang dilakukan dibuat dalam suatu diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran Tambang

*Water Balance* pada area penambangan *pit North Wara* dipengaruhi oleh beberapa faktor adapun faktor-faktor yang menentukan nilai *Water Balance area* penambangan yaitu seperti curah hujan, intensitas hujan, *catchment area* penambangan *pit North Wara*, air limpasan, dan juga lumpur.

#### 4.1.1 Faktor Volume Air dan Lumpur

##### a. Curah hujan

Tingkat curah hujan yang tinggi atau ekstrem dapat memiliki dampak signifikan pada kegiatan penambangan, terutama dalam menghadapi tantangan pengendalian air. Penelitian ini menggunakan data curah hujan maksimum setiap tahun selama 10 tahun, yaitu data curah hujan dari tahun 2010 hingga 2022. Informasi terkait data curah hujan tersebut terdapat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Curah Hujan Maksimum (mm/hari)

##### b. Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merujuk pada perkiraan atau prediksi curah hujan yang diharapkan akan terjadi di suatu wilayah dalam periode tertentu. Semakin lama periode yang diambil dalam perkiraan curah hujan rencana, semakin

tinggi nilai curah hujan yang diperkirakan. Hubungan antara curah hujan dengan periode ulang hujan adalah berbanding terbalik, semakin tinggi nilai curah hujan rencana, semakin rendah kemungkinan terjadinya curah hujan dengan intensitas yang sama. Data curah hujan maksimum dari tahun 2010 hingga 2022 dianalisis menggunakan metode *Log Pearson III* untuk memperoleh perkiraan curah hujan rencana. Hasil perhitungan curah hujan rencana dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Tahun	$X_i$	$\log X_i$	$\log X_i - (\log \bar{X})^2$	$\log X_i - (\log \bar{X})^3$
2010	137	2,13	0,0273	0,0045
2011	129,25	2,11	0,0196	0,0027
2012	118	2,07	0,0101	0,0010
2013	109	2,03	0,0043	0,0003
2014	108	2,03	0,0038	0,0002
2015	96,5	1,98	0,0002	0,0000
2016	91	1,95	0,0002	0,0000
2017	87,4	1,94	0,0009	0,0000
2018	83	1,91	0,0027	-0,0001
2019	82,75	1,91	0,0029	-0,0002
2020	80,5	1,90	0,0043	-0,0003
2021	78,5	1,89	0,0059	-0,0004
2022	52	1,71	0,0653	-0,0167
Jumlah	1284,9	25,62	0,1475	-0,0090
Rata – rata	98,83	1,9715	0,0113	-0,0007

Selanjutnya, tahap perhitungan curah hujan rencana dengan metode *Log Pearson III* dengan nilai K (Koefisien *Skewness*) yang dapat dilihat pada Lampiran 2 sebesar 1,191 adalah sebagai berikut.

1) Perhitungan Curah Hujan Maksimum Rata-rata ( $\bar{X}$ )

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{X_i}{n} \\ &= \frac{1284,9}{13} \\ &= 98,83 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Log Rata – Rata Curah Hujan Maksimum ( $\log \bar{X}$ )

$$\log \bar{X} = \log 98,83 = 1,9715$$

3) Perhitungan Standar Deviasi (*Sd*)

$$\begin{aligned}
 Sd &= \left( \frac{\sum \log Xi - (\log \bar{X})}{n - 1} \right)^{0,5} \\
 &= \left( \frac{0,1475}{13 - 1} \right)^{0,5} \\
 &= 0,1108
 \end{aligned}$$

4) Perhitungan Curah Hujan Rencana menggunakan persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}
 \log Xt &= 1,9715 + 1,191 \times 0,1108 \\
 Xt &= 10^{(1,9715 + 1,191 \times 0,1108)} \\
 &= 137,10 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai curah hujan rencana memiliki curah hujan maksimum rata-rata sebesar 98,83 mm/hari yang mencerminkan rata-rata tertinggi curah hujan harian dalam jangka waktu tertentu dan nilai curah hujan untuk periode ulang 10 tahun di *Pit North Wara* mencapai 137,10 mm/hari yang menunjukkan curah hujan maksimum yang diharapkan dalam jangka waktu tersebut. Nilai ini akan digunakan untuk menghitung nilai intensitas curah hujan.

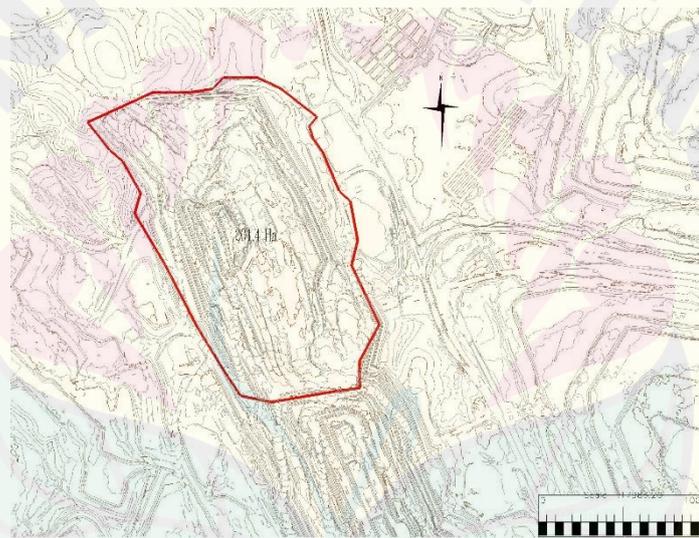
c. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar curah hujan yang turun dalam satuan waktu tertentu. Nilai curah hujan rencana yang telah dihitung yang dapat digunakan untuk memperkirakan berapa banyak curah hujan yang diharapkan akan turun dalam rentang waktu (*T*) sebesar 1 jam dengan curah hujan periode ulang 10 tahun sebesar 137,1093. Intensitas curah hujan di *pit North Wara* dapat ditentukan besarnya menggunakan metode *mononobe* pada Persamaan 2.5. Perhitungan Intensitas curah hujan per-periode ulang dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2c.

$$\begin{aligned}
 I &= \left( \frac{R_{24}}{24} \right) \times \left( \frac{24}{T} \right)^{2/3} \\
 I &= \left( \frac{137,1093}{24} \right) \times \left( \frac{24}{1} \right)^{2/3} \\
 I &= 44,011 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

d. Daerah Tangkapan Hujan (Catchment Area)

Daerah tangkapan hujan pada tambang adalah area di sekitar tambang di mana air hujan dan air limpasan permukaan dikumpulkan dan mengalir ke dalam sistem penampungan atau *sump*. Catchment area dianalisis menggunakan software Minescape V5.7 dan memiliki luas sekitar 201,4 Ha dapat dilihat pada Gambar 4.2. Catchment area ini dikategorikan sebagai catchment lokal karena lokasi penelitian memiliki batasan skala spasial yang terbatas. Wilayah catchment area ini dibatasi oleh batas fisik seperti tanggul yang memisahkan wilayah tersebut dari wilayah lain di sekitarnya. Hal ini penting untuk mengendalikan air yang masuk ke dalam tambang dan mengurangi dampak dari curah hujan yang tinggi pada operasi tambang.



Gambar 4. 2 *Catchment Area*

e. Debit Limpasan Hujan

Debit limpasan hujan adalah jumlah air hujan yang mengalir dari suatu daerah tangkapan hujan setelah curah hujan jatuh dan mencapai permukaan tanah. Debit air limpasan selama 10 tahun di *pit North* Wara dapat dihitung menggunakan Metode Rasional dengan memanfaatkan variabel yang telah diketahui, yaitu intensitas curah hujan ( $I$ ) sebesar 44,011 mm/jam, luas catchment area ( $A$ ) sebesar 2,014 km<sup>2</sup>, dan koefisien penutupan lahan ( $C$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebesar 0,9 karena wilayah pertambangan

tidak ada vegetasi. Maka untuk mengetahui debit air limpasan selama 10 tahun tahun yang ada di *pit North Wara* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.6 dan dapat dilihat pada Tabel 4.2 semakin besar intensitas curah hujan maka semakin besar pula debit limpasan yang terbentuk.

Tabel 4. 2 Perhitungan Debit Limpasan

Aspek	Nilai	Satuan
Koefisien	0,9	-
Intensitas curah hujan	44,01	mm/jam
Catchment Area	2.014.000	m <sup>2</sup>
Debit air limpasan	1.263.057,8	m <sup>3</sup> /hari

f. Debit Evapotranspirasi

Debit evapotranspirasi merupakan volume air yang menguap dari permukaan tanah dan tumbuhan dalam periode waktu tertentu dan dapat diestimasi dengan menggunakan Persamaan 4.3 dengan mempertimbangkan total curah hujan tahunan rata-rata (P) dilihat pada Tabel 4.3 dan suhu rata-rata di *pit North Wara* yang mencapai 30° C.

Tabel 4. 3 Perhitungan Curah Hujan Tahunan Rata-Rata

Tahun	Curah Hujan Tahunan Rata-Rata(mm/hari)
2010	192,00
2011	148,79
2012	145,93
2013	252,32
2014	267,80
2015	193,54
2016	283,54
2017	242,63
2018	220,65
2019	198,45
2020	195,62
2021	231,06
2022	200,42
Jumlah	2772,75

Selanjutnya, tahap perhitungan debit Evapotranspirasi dengan rumus Turc Luciens dengan nilai total curah hujan tahunan rata-rata (P) sebesar 2272,75 mm.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P}{\left[0,9 + \frac{(P)^2}{L(T)}\right]^{0,5}} \\
 &= \frac{2722,75}{\left[0,9 + \frac{(2722,75)^2}{300 + 25(30) + 0,05(30)^{0,5}}\right]^{0,5}} \\
 &= 1841,107 \text{ mm/tahun} \\
 &= 0,210 \text{ mm/jam} \\
 \%ET &= \frac{0,210}{137,10} \times 100\% \\
 \%ET &= 0,9 \%
 \end{aligned}$$

Luas area penambangan sebesar 2.014.000 m<sup>2</sup> didapatkan 0,9 % area yang mengalami evapotranspirasi sebesar 19.086 m<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned}
 Q_{ET} &= \text{Luas wilayah evapotranspirasi} \times ET \times 10^{-3} \\
 &= 19.086 \times 0,210 \times 10^{-3} \\
 &= 4,011 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 96,274 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit evapotranspirasi sebesar 96,274 m<sup>3</sup>/hari, yang mengindikasikan bahwa debit ini tidak memiliki pengaruh yang terlalu signifikan terhadap faktor sistem penyaliran tambang. Debit evapotranspirasi merupakan jumlah air yang hilang melalui penguapan dari permukaan tanah dan transpirasi dari tumbuhan, dan pada tingkat tersebut, dampaknya terhadap sistem penyaliran tambang dianggap relatif kecil.

g. Rembesan

Nilai rembesan yang terjadi pada *sump pit North Wara* menggambarkan besarnya jumlah air yang merembes pada lantai tambang. Hal ini dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti peningkatan risiko banjir di tambang, potensi kerusakan pada infrastruktur dan peralatan, serta penurunan efisiensi operasional. Nilai rembesan dapat dihitung menggunakan variabel

volume *sump* ( $V$ ) dan koefisien permeabilitas ( $K$ ). Nilai permeabilitas didapatkan dari uji constant head permeability, yaitu sampel tanah diberikan suplai air konstan di satu sisi, sementara sisi lainnya dijaga pada tekanan konstan. Metode ini untuk menguji kemampuan material untuk mengizinkan aliran fluida melaluinya. Rembesan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8 dengan nilai koefisien pada Tabel 2.14.

Tabel 4. 4 Perhitungan Nilai Rembesan

Aspek	<i>Highwall</i>	<i>Lowwall</i>
Volume <i>Sump</i>	1.200.000 m <sup>3</sup>	
Koefisien Permeabilitas	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>
Nilai Rembesan	103,68 m <sup>3</sup> /hari	10.368 m <sup>3</sup> /hari

Nilai rembesan yang terjadi pada *high wall* sebesar 102,68 m<sup>3</sup>/hari dan 10.368 m<sup>3</sup>/hari pada *low wall* menunjukkan bahwa material pada *low wall* memiliki nilai erodibilitas yang lebih buruk daripada *high wall*. Tingginya nilai rembesan pada *low wall* mengindikasikan bahwa material di area tersebut lebih mudah tererosi dan cenderung mengalami erosi lebih cepat dibandingkan dengan *high wall*.

h. Faktor Volume Lumpur

Volume lumpur dihasilkan melalui perhitungan yang melibatkan volume aliran permukaan, erosivitas hujan, dan erodibilitas tanah. Kemudian, dihitung dengan menggunakan metode MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) Persamaan 2.10. Adapun hasil dari perhitungan volume lumpur selama 10 tahun (Lampiran 3 tabel 3e) tersebut yaitu sebagai berikut.

1) Volume Aliran Permukaan

Volume Aliran Permukaan adalah akumulasi keseluruhan air yang mengalir di atas permukaan tanah dalam wilayah tertentu dalam jangka waktu tertentu. Perhitungan volume aliran permukaan dapat dilihat pada Persamaan 2.13 yang melibatkan beberapa variabel, yaitu  $D$  (debit limpasan per detik) dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Debit Limpasan per - Periode Ulang

PUH	5	10	25
Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	40,4044976	44,01124071	47,7222538
Debit Limpasan (m <sup>3</sup> /s)	14,357	<b>16,117</b>	21,887
Debit Limpasan (m <sup>3</sup> /hari)	1.240.444,80	1.263.057,76	1.891.037

Selanjutnya, tahap perhitungan menggunakan Persamaan 2.13 dimana volume aliran permukaan dengan nilai A (luas catchment area) sebesar 2.014.000 m<sup>2</sup>, C (koefisien penutupan lahan) sebesar 0,9, dan P (koefisien pengolahan lahan) sebesar 1 dengan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perhitungan Volume Aliran Permukaan

Aspek	Nilai	Satuan
D	16,117	m <sup>3</sup> /s
A	2.014.000	m <sup>2</sup>
C	0,9	-
P	1	-
V <sub>Q</sub>	29.213.070	m <sup>3</sup>

## 2) Erosivitas Hujan

Erosivitas hujan merupakan indikator potensi hujan dalam menyebabkan erosi tanah, dihitung berdasarkan debit limpasan (V<sub>Q</sub>), debit aliran puncak (Q<sub>p</sub>), serta koefisien Williams (a,b) yang dapat dilihat pada Persamaan 2.13.

$$R = a \times (V_Q \times Q_p)^b$$

$$R = 11,80 \times (29.213.070 \times 16,117)^{0,56}$$

$$R = 848.563,592 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 3) Erodibilitas Tanah

Erodibilitas tanah adalah kemampuan suatu jenis tanah untuk mengalami erosi oleh aliran air, angin atau aktivitas manusia. Metode shieve sampling digunakan untuk mendapatkan nilai variabel dalam perhitungan erodibilitas tanah, dimana sampel tanah dianalisis dengan menggunakan

saringan untuk memisahkan partikel tanah berdasarkan ukuran. Dengan metode ini dapat diidentifikasi proporsi dan distribusi partikel tanah dalam berbagai ukuran, yang menjadi dasar untuk menghitung erodibilitas tanah dan memahami potensi erosi yang mungkin terjadi pada suatu lokasi. Perhitungan erodibilitas tanah menggunakan Persamaan 2.14 dengan melibatkan variabel persentase pasir sebesar 11,38, liat sebesar 0,69 (M) yang dapat dilihat pada Lampiran 3, persentase bahan organik (a) sebesar 1 yang dapat dilihat pada Tabel 2.3, serta kode struktur tanah (b) sebesar 2 pada Tabel 2.4 dan kode permeabilitas tanah (c) sebesar 5 pada Tabel 2.5.

- *Highwall*

$$100k = 1,292[2,1 \times (11,38 \times 100\% - 0,69) \times 1,14(10 - 4)(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)]$$

$$100k = 1,292[2,1 \times 1130,14 \times 1,14(10 - 4)(12 - 1) + 3,25(2 - 2) + 2,5(5 - 3)]$$

$$k = 0,24$$

- *Lowwall*

$$100k = 1,292[2,1 \times (17,23 \times 100\% - 0) \times 1,14(10 - 4)(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)]$$

$$100k = 1,292[2,1 \times 1723 \times 1,14(10 - 4)(12 - 1) + 3,25(2 - 2) + 2,5(5 - 3)]$$

$$k = 0,18$$

#### 4) Lumpur

Lumpur tambang adalah campuran dari material tanah, batuan, dan air yang terbentuk sebagai hasil dari proses pertambangan. Volume lumpur diperoleh dari sampling tanah di bagian *high wall* dan *low wall*, kemudian dihitung menggunakan Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) pada Persamaan 2.10 dengan melibatkan variabel aliran puncak ( $Q_p$ ), erosivitas hujan (R), nilai erodibilitas tanah (K), LS (faktor kemiringan dan panjang lereng) sebesar  $25^\circ$  untuk *high wall* dan  $14^\circ$  untuk *low wall* yang didapat dari *software minescape* nilai LS dapat dilihat pada

Tabel 2.6 pada Tabel 2.2, penutupan lahan (C), dan pengolahan lahan (P) dapat dilihat pada Tabel 2.7.

- *Highwall*

$$SY = 11,8 (Qp \times R)^{0,56} \times K \times LS \times C \times P$$

$$SY = 11,8 (22,177 \times 848.563,592)^{0,56} \times 0,24 \times 4,25 \times 0,9 \times 1$$

$$SY = 100.101,63 \text{ ton}$$

$$SDR = 0,41 \times A^{-0,3} = 0,41 \times 0,788^{-0,3} = 0,44$$

$$Eakt = \frac{SY}{SDR} = \frac{100.101,63 \text{ ton}}{0,44}$$

$$= 268.261,387 \text{ ton/tahun} = 734,962 \text{ ton/hari}$$

- *Lowwall*

$$SY = 11,8 (Qp \times R)^{0,56} \times K \times LS \times C \times P$$

$$SY = 11,8 (22,177 \times 848.563,592)^{0,56} \times 0,18 \times 1,8 \times 0,9 \times 1$$

$$SY = 36.717,49 \text{ ton}$$

$$SDR = 0,41 \times A^{-0,3} = 0,41 \times 0,788^{-0,3} = 0,44$$

$$Eakt = \frac{SY}{SDR} = \frac{36.717,49 \text{ ton}}{0,44}$$

$$= 95.738,46 \text{ ton/tahun} = 262,29 \text{ ton/hari}$$

Perhitungan lumpur metode MUSLE dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2c. Berdasarkan perhitungan diperoleh hasil erosi aktual pada *high wall* sebesar 734,962 ton/hari dan erosi aktual pada *low wall* sebesar 262,29 ton/hari dengan total sebesar 997,25 ton/hari di *pit North Wara*. Angka tersebut mencerminkan bahwa erosi pada lokasi tersebut termasuk dalam skala besar dan sangat memengaruhi volume *sump* yang nantinya akan dirancang. Semakin besar volume lumpur yang dihasilkan, maka akan semakin besar pula asumsi rancangan *sump* rencana. Dampak erosi yang besar ini dapat mencakup penurunan kestabilan lereng (*slope stability*) pada *high wall* dan *low wall*, potensi longoran, dan potensi kontaminasi lingkungan akibat pengangkutan dan penyebaran material erosi. Oleh karena itu, tindakan pencegahan dan manajemen erosi yang efektif perlu diimplementasikan untuk

mengurangi risiko dan menjaga keberlanjutan operasional di lokasi pertambangan ini.

#### 4.1.2 Pompa

##### a. Kapasitas Pompa

Kapasitas Pompa adalah jumlah volume air atau fluida yang dapat dipompa oleh pompa tertentu dalam satu satuan waktu. Pompa yang digunakan oleh PT Adaro Indonesia yaitu 3 pompa Multiflo 420EXHV. Pompa yang digunakan memiliki ketersediaan pemakaian atau Use of Availability (UA) rata-rata sebesar 80% dengan debit maksimal performa pompa yang dapat tercapai untuk 1 pompa sebesar 320 l/s dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 1c. Dengan melakukan pengukuran menggunakan alat pengukur debit air aktual yaitu flowmeter, maka didapat debit air yang dikeluarkan oleh pompa terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Debit Air Pompa

Unit Pompa	Panjang X (m)	Debit Aktual (liter/s)	Debit Rencana (liter/s)
Multiflo 420EX	803	550	960

Kapasitas debit yang dapat dihasilkan oleh pompa ditentukan melalui work hour efektif (WH), yaitu waktu di mana pompa beroperasi secara efisien dan sesuai dengan rencana untuk menghasilkan debit air yang dibutuhkan, dan Debit aktual (Q) adalah jumlah sebenarnya dari air atau fluida yang dipompa oleh pompa pada waktu tertentu dengan menggunakan Persamaan 2.15. Hasil perhitungan didapatkan volume air yang dapat dikeluarkan oleh 3 pompa sebesar 72.576 m<sup>3</sup>/jam dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perhitungan Kapasitas Pompa

Aspek	Nilai	Satuan
Work Hour Efektif (WH)	21	Jam
Debit Aktual (Q)	3.456	m <sup>3</sup> /jam
Volume Pompa (V)	72.576	m <sup>3</sup> /jam

## b. Head Pompa

Head Pompa ditentukan berdasarkan data pompa PT Adaro Indonesia dan spesifikasi dari Pompa Multiflo 420EXHV terlihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 9 Spesifikasi Pompa Multiflo 420EXHV

Aspek	Nilai	Satuan
RPM Pompa	1450	RPM
<i>Flowrate max</i>	960	l/s
Debit Pompa (Q)	0,266	m <sup>3</sup> /s
Kapasitas Pompa	960	m <sup>3</sup> /jam
	0,201	m <sup>3</sup> /s
Jam Pompa Aktual	18	jam
Panjang Pipa (L)	803	m
Kecepatan Gravitasi Bumi (g)	9,8	m/detik
Diameter Pipa (D)	362	mm
	0,362	m
Jari-jari Pipa	0,14	m
<i>Suction</i>	2	m
Elevasi <i>Inlet</i>	- 12	mdpl
Elevasi <i>Outlet</i>	73	mdpl
<i>Efisiensi max</i>	80	%

*Head* total merupakan jumlah nilai dari *Head Static*, *Head Loss* Gesekan Pipa Keluar, *Head Loss* Gesekan Pipa Hisap, *Head Loss* Kecepatan di Katup Hisap, *Head* Kecepatan di Pipa Keluar.

1. *Head Static*

$$H_s = \text{Elevasi Outlet} - \text{Elevasi Inlet} = 73 - (-12) = 85 \text{ mdpl}$$

2. *Head Loss* Gesekan Pipa Keluar

$$H_{id} = \lambda \left( \frac{(L)(V)^2}{2(D)(g)} \right) = 0,021 \left( \frac{(803)(1,485)^2}{2(0,283)(9,8)} \right) = 67,15 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,020 + \left( \frac{0,0005}{D} \right) = 0,020 + \left( \frac{0,0005}{0,362} \right) = 0,021$$

$$V = \frac{0,201}{\frac{\pi}{4} \times (D^2)} = \frac{0,201}{3,14 \times (0,362^2)} = 1,485 \text{ m/detik}$$

3. *Head Loss* Gesekan Pipa Hisap

$$H_{is} = \lambda \left( \frac{(\text{Suction})(v)^2}{2(D)(g)} \right) = 0,021 \left( \frac{(2)(1,485)^2}{2(0,283)(9,8)} \right) = 0,08 \text{ m}$$

4. *Head Loss Gesekan di Katup Hisap*

$$H_f = F_v \frac{v^2}{2(g)} = 1,1 \frac{1,485^2}{2(9,8)} = 0,204 \text{ m}$$

5. *Head Kecepatan di Pipa Keluar (Velocity Head)*

$$H_v = \frac{v^2}{2(g)} = \frac{1,485^2}{2(9,8)} = 10,807 \text{ m}$$

6. *Head Total Pompa*

$$\begin{aligned} H_t &= H_s + H_{id} + H_{is} + H_f + H_v \\ &= 85 + 67,15 + 0,08 + 0,204 + 10,807 \\ &= 163,42 \text{ m} \end{aligned}$$

Rencana untuk mengeluarkan air yang masuk ke lokasi penambangan maka dibutuhkan 3 pompa dengan Use of Availability (UA) aktual rata-rata pompa yang Multiflo 420EXHV sebesar 80%. Produktivitas 3 pompa Multiflo 420EXHV tersebut mampu bekerja selama 21 jam, dengan debit rencana pompa yang telah diukur dengan flowmeter yaitu 3.456 m<sup>3</sup>/jam. Maka didapatkan volume air yang dapat dikeluarkan oleh pompa sebesar 72.576 m<sup>3</sup>/hari.

i. *Water flow balance*

*Water flow balance* pada *sump pit North Wara* maka digunakan parameter seperti volume air yang masuk ke *sump* dalam hal ini yaitu air limpasan, nilai besarnya rembesan yang terjadi pada *sump*, besarnya evapotranspirasi, volume air yang dapat dipompakan, dan volume lumpur.

$$\begin{aligned} V &= \text{Volume Air Keluar} - \text{Rembesan} - \text{Evapotranspirasi} - (\text{Volume air masuk} + \\ &\quad \text{Lumpur}) \\ &= 72.576 \text{ m}^3/\text{hari} - 10.471,68 \text{ m}^3/\text{hari} - 126,263 \text{ m}^3/\text{hari} - (1.916.115,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &\quad + 997,259 \text{ m}^3/\text{hari}) \\ &= 1.180.911,07 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

4.1.3 Perancangan Dimensi *Sump*

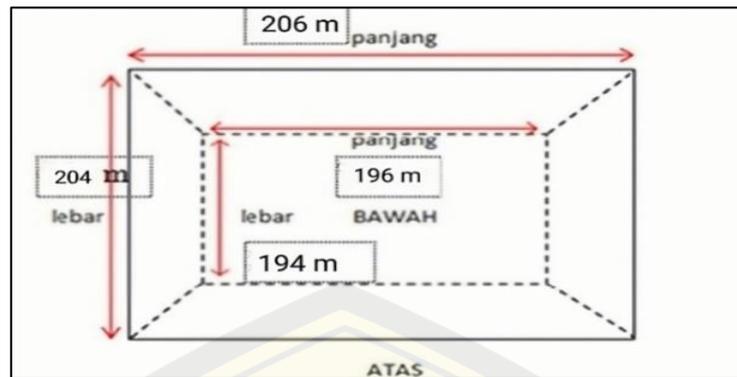
Pada tahun 2023, perencanaan volume dan dimensi *sump pit North Wara* di PT Adaro Indonesia dilakukan secara komprehensif dengan menggunakan data volume air harian tertinggi yang masuk ke *sump*, termasuk volume air limpasan, debit evapotranspirasi, kecepatan rembesan, dan volume lumpur. Setelah

mengurangi volume air yang dapat dikeluarkan oleh tiga pompa Multiflo 420EX diperoleh volume air yang perlu ditampung oleh *sump* sebesar 1.180.911,07 m<sup>3</sup>/hari. Dimensi *sump* direncanakan berbentuk trapesium dengan metode Trial and Error.

Pemilihan bentuk *sump* trapesium agar dapat memudahkan akses operasional di dalam *sump* untuk pembersihan dan perawatan. Hal ini dikarenakan dengan ukuran volume *sump* yang diestimasi mencapai 1.200.220 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. Ketersediaan lahan sebesar 3.000 m<sup>2</sup> dengan asumsi luas lahan yang rencananya akan digunakan untuk pembangunan *sump* sekitar 2.000 m<sup>2</sup> atau 0,2 hektar dilakukan untuk memastikan lahan yang memadai untuk menampung *sump* dan fasilitas pendukung lainnya.

Penempatan *sump* rencana pada daerah yang ditentukan Gambar 4.5 dikarenakan daerah tersebut termasuk dalam elevasi terendah yaitu -18. Daerah rencana yang akan dibangun *sump* terkandung formasi batu bara, sehingga pembangunan *sump* di daerah tersebut dibarengi kegiatan pengambilan batu bara. Hal itu dilakukan agar perusahaan tidak mengalami kerugian.

$$\begin{aligned} V &= \frac{\text{Luas alas} + \sqrt{\text{luas alas} \times \text{luas permukaan}} + \text{luas permukaan}}{3} \times \text{Tinggi} \\ &= \frac{(196 \times 194) + \sqrt{(196 \times 194) \times (206 \times 204)} + (206 \times 204)}{3} \times 30 \\ &= 1.200.220 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Rencana Dimensi *Sump* Tampak Atas



Gambar 4. 4 Rencana Dimensi *Sump* Tampak Samping



Gambar 4. 5 Rencana Penempatan *Sump* dan Pompa

Berdasarkan perhitungan, diasumsikan bahwa dimensi rencana *sump* memiliki volume sebesar 1.200.220 meter kubik, yang akan mampu menampung volume air masuk dan lumpur dari lokasi pertambangan. Air yang dikeluarkan dari *sump* direncanakan akan dibantu oleh 3 pompa, yang akan membantu memastikan efisiensi dalam mengalirkan air dari *sump* ke tempat penampungan atau saluran yang ditentukan.

#### 4.14 Asumsi Waktu Kolam Penuh

Asumsi Waktu Kolam Penuh (*sump* tambang) mengacu pada perkiraan atau estimasi waktu yang diperlukan bagi kolam *sump* tambang untuk mencapai kapasitas maksimum atau titik penuh di mana tidak dapat menampung lebih banyak air. Hal ini penting dalam perencanaan teknis untuk mengelola air yang melimpah di lokasi pertambangan dan memastikan bahwa *sump* tambang berfungsi efektif dalam mengatasi luapan air dan menjaga keamanan operasional. Perhitungan umur *sump* dapat dimulai dengan menghitung kecepatan pengendapan menggunakan Persamaan 2.25.

##### a. Kecepatan pengendapan vertikal

$$V_t = \frac{g \times D^2 \times (p_p - p_a)}{18\mu}$$

$$V_t = \frac{9,8 \times (0,03125 \times 10^{-3})^2 \times (1100 - 995,7)}{18 \times 0,798 \times 10^{-3}}$$

$$V_t = 0,468 \text{ m/detik}$$

##### b. Kecepatan pengendapan Horizontal

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang} &= \text{Panjang dasar} \times \text{tinggi} \\ &= 196 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 5880 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_h &= \text{Debit air yang masuk ke kolam penampungan} : \text{Luas} \\ &= 1.261.391,624 : 5880 = 214,522 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Kecepatan pengendapan vertikal dan horizontal pada *sump* tambang mengacu pada laju atau kecepatan di mana partikel-partikel padatan dalam air akan mengendap secara vertikal (mengendap ke dasar) dan horizontal (mengapung) di dalam kolam *sump* tambang. Proses pengendapan ini berfungsi untuk memisahkan partikel-padatan dari air, sehingga air yang keluar dari *sump* memiliki kandungan padatan yang lebih rendah. Kecepatan pengendapan vertikal membutuhkan faktor seperti massa jenis air ( $p_a$ ) yang dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2d dan viskositas dinamik air ( $\mu$ ) dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2e. Berdasarkan perhitungan diperoleh pengendapan vertikal sebesar 0,468 m/detik dan horizontal sebesar 214,522 m/detik yang termasuk ke dalam

kecepatan pengendapan yang termasuk tinggi. Hal ini perlu diperhatikan karena kecepatan pengendapan yang tinggi dapat menyebabkan kolam *sump* lebih cepat mencapai kapasitas maksimum atau penuh.

c. Waktu pengendapan vertikal

$$t_v = \frac{h}{V_t} = \frac{30}{0,468} = 64,102 \text{ detik}$$

d. Waktu pengendapan horizontal

$$\begin{aligned} t_h &= \text{Lebar dasar kolam} : V_h \\ &= 194 : 214,5224 = 0,904 \text{ detik} \end{aligned}$$

Waktu pengendapan vertikal dan horizontal pada *sump* tambang adalah periode atau durasi yang diperlukan bagi partikel-partikel padatan dalam air yang masuk ke dalam kolam *sump* tambang untuk mengendap secara vertikal (mengendap ke dasar) dan mengapung secara horizontal. Hasil pengolahan data diperoleh waktu pengendapan vertikal 64,102 detik dan waktu pengendapan horizontal sebesar 0,904 detik yang menunjukkan bahwa waktu pengendapan pada *pit North Wara* tergolong cepat, sehingga perlu menjadi perhatian dalam manajemen *sump* tambang untuk mengantisipasi agar kolam *sump* tidak mencapai kapasitas dengan terlalu cepat dan juga menghindari potensi luapan air yang berlebihan. Nilai kecepatan pengendapan dan waktu pengendapan dapat dihitung persentase pengendapan menggunakan Persamaan 2.27.

e. Persentase sedimen terendapkan

$$\begin{aligned} \text{Persentase sedimen terendapkan} &= \frac{t_h}{(t_h + t_v)} \times 100\% \\ &= \frac{0,904}{(0,904 + 64,102)} \times 100\% \\ &= 65,09\% \end{aligned}$$

$$\text{Persentase tidak terendap} = 100\% - 65,09\% = 34,90\%$$

Persentase sedimen terendapkan mengindikasikan proporsi dari total sedimen yang mengendap dalam suatu medium. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa sebesar 65,09% dari sedimen dapat terendapkan, sementara 34,90% sisanya tidak terendapkan. Hal ini mengimplikasikan bahwa material di sekitar

*pit* memiliki tingkat erodibilitas tanah yang buruk dan dapat menyebabkan kolam penampungan mencapai kapasitas maksimum atau penuh dengan lebih cepat. Pompa hanya mampu mengeluarkan sedimen sebanyak 40% dari volume sedimen yang masuk. Maka dapat dihitung persentase sedimen yang tertinggal dan yang dapat diambil pompa menggunakan Persamaan 2.32.

$$\text{Volume Sedimen} = 40\% \times \text{hasil sedimen 1 hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Sedimen} &= 40\% \times 4.873,009 \\ &= 1949,2 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\text{Sedimen Terbawa Pompa} = \frac{V.\text{debit air}}{V.\text{Pompa}} \times \text{sedimen 24 jam} \times \% \text{ sedimen tidak terendap}$$

$$\begin{aligned}\text{Sedimen Terbawa Pompa} &= \frac{1.262.060,505}{72576} \times 1949,2 \times 0,3490 \\ &= 10751,12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sedimen Tertinggal} &= \text{Sedimen terbawa pompa} - \text{sedimen 1 hari} \\ &= 10.751,12 - 1.949,2 \\ &= 8.801,92 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka dapat dihitung waktu kolam penuh atau umur *sump* rencana dengan Persamaan 2.34.

$$\begin{aligned}\text{Tampungan Sedimen} &= \text{Volume kolam penampungan} - \text{volume sisa} \\ &= 1.200.000 - 1.178.953,149 \\ &= 82.438,48 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu kolam penuh} &= \frac{82.438,48}{8.801,92} \\ &= 9,36 \text{ Bulan}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan waktu kolam penuh dapat diasumsikan terjadi setelah pengoperasian *sump* selama 9,36 bulan. Rencananya pada bulan ke-9 akan dilakukan pengurasan untuk mencegah terjadinya peluapan air yang tidak dapat ditampung lagi. Semua perencanaan ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja *sump* dalam mengatasi masalah air di *pit North Wara* dan memastikan keberlanjutan operasionalnya.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Curah hujan rencana periode ulang 10 tahun sebesar 137,10 mm, intensitas curah hujan sebesar 44,011 mm/jam, debit air limpasan sebesar 1.263.057 m<sup>3</sup>/hari, debit evapotranspirasi sebesar 96,274 m<sup>3</sup>/hari, luas area penambangan sebesar 201,4 ha, debit laju erosi sebesar 997,25 ton/hari dan menghasilkan debit total air beserta lumpur sebesar 1.180.911,07 m<sup>3</sup>/hari.
2. Salah satu upaya yang digunakan untuk mengatasi permasalahan air yang masuk pada *pit North Wara* adalah dengan merencanakan dimensi dan volume *sump* untuk menampung air dan lumpur yang tidak dikeluarkan pompa dalam waktu 1 hari (sisa). *Sump* yang direncanakan dengan menggunakan 3 pompa memiliki bentuk trapesium dengan volume sebesar 1.200.000 m<sup>3</sup>.
3. Pompa yang digunakan oleh PT. Adaro Indonesia yaitu Multiflo 420EXHV. Pompa Multiflo 420EX dengan ketersediaan pemakaian atau *Use of Availability* (UA) aktual rata-rata sebesar 80%. Dan berdasarkan perhitungan, pompa Multiflo 420EXHV tersebut dapat mengeluarkan volume air sebesar 72.576 m<sup>3</sup>/hari
4. Waktu perkiraan kolam penuh yang dihasilkan dari perhitungan laju erosi menggunakan Metode *MUSLE* adalah 9,36 bulan. Perencanaan pengurasan *sump* pada bulan ke-9.

### 5.2 Saran

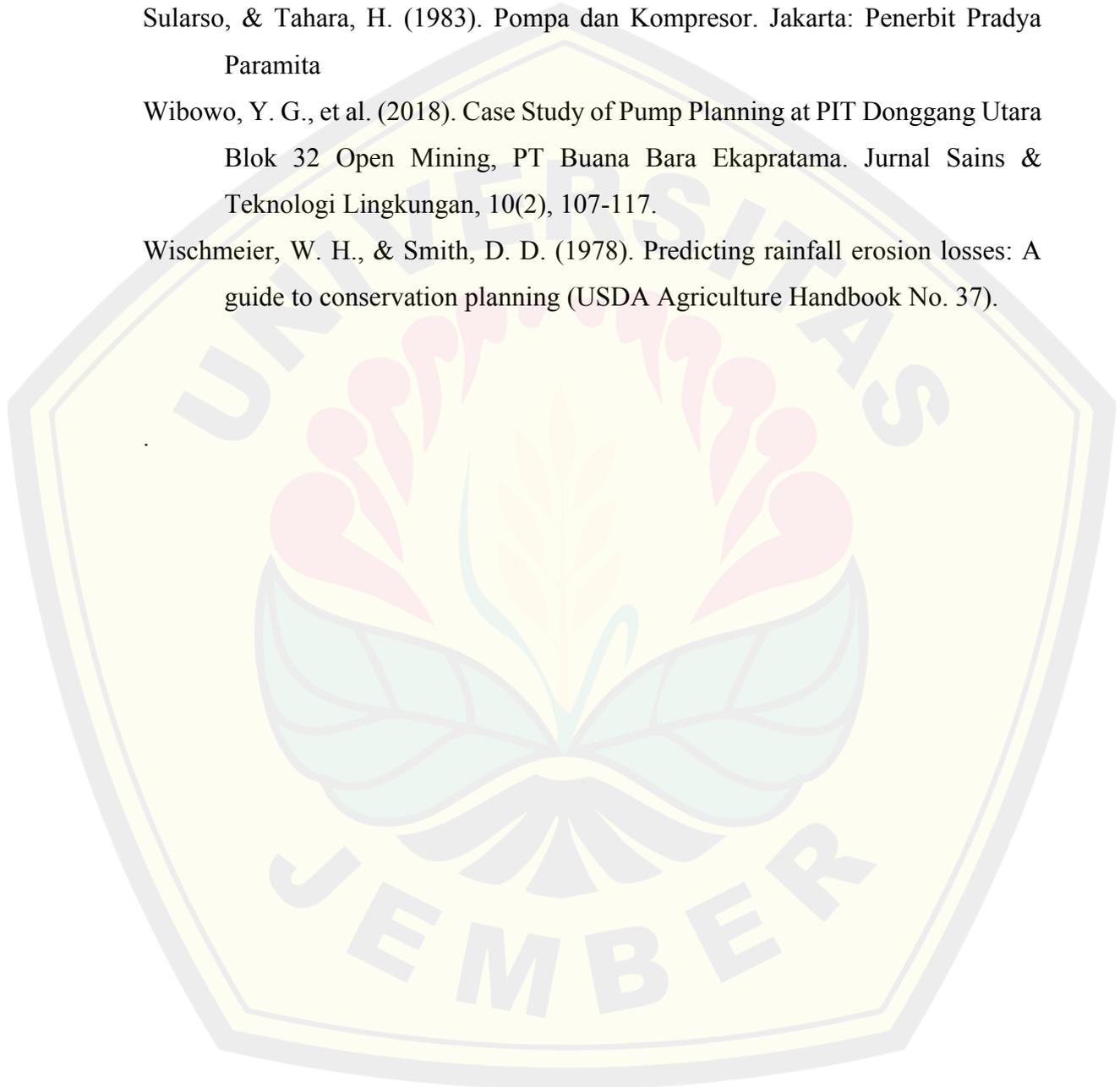
Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Tanggul dan ring *canal* dapat menjadi pilihan untuk memperkecil *catchment area* sehingga debit air yang masuk ke dalam tambang dapat dikurangi.
2. Penerapan penjadwalan jam hidup pompa yang direncanakan dapat memaksimalkan fungsi dari 3 pompa

## DAFTAR PUSTAKA

- Adaro Resources Report. (1999). Stratigrafi Cekungan Barito. Kalimantan: PT Adaro Indonesia.
- Asdak, C. (2002). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Gadjah Mada University Press.
- Fajryanti, M. (2020). Perencanaan Sistem Penyaliran Dan Pemompaan Pada Tambang Terbuka Di PT Mitra Sejahters Mandiri Desa Tegalega, Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. (Undergraduate thesis). Universitas Islam Bandung.
- Firdaus, A. (2020). Sistem Penirisan Tambang. Lampung: Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Lampung.
- Badhurahman, A. (2017). Materi Praktikum Sistem Dewatering Tambang Terbuka (Pemompaan dan Sumuran). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Priyana, Y. (2018). Pengantar Meteorologi Dan Klimatologi. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Lucien, T. (1951). Calculation of The Water Balance Aseessment as a Function of Precipitation & Temperatures. France.
- Maulana, A. (2020). Perencanaan Teknis Geometri Sump di Pit 1 Timur, Banko Barat, Jobsite Tjmo, PT Satria Bahana Sarana, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Jakarta: Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Mohajerani, H. (2021). Understanding The Water Balance And Its Estimation Methods. Calculation of The Water Balance Aseessment as a Function of Precipitation & Temperatures.
- Perpustakaan Nasional Republik Indonesia. (2023). Kondisi Geologi Regional Pulau Indonesia. OPAC Perpustakaan Nasional. <https://opac.perpusnas.go.id>.
- PT Adaro Energy Tbk. (2014). Laporan Bulanan Kegiatan Eksplorasi. Kalimantan: PT Adaro Indonesia.
- Ramadandika, M., & Putri, A. (2015). Perencanaan Sump Di Pit Selatan PT.

- Pamapersada Nusantara Job Site Bmtb (Baramartha Banjar) Rantau Nangka, Kalimantan Selatan. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, 3-13.
- Soewarno. (2014). *Aplikasi metode Statistika Untuk Analisis Data Hidrologi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sularso, & Tahara, H. (1983). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Penerbit Pradya Paramita
- Wibowo, Y. G., et al. (2018). Case Study of Pump Planning at PIT Donggang Utara Blok 32 Open Mining, PT Buana Bara Ekapratama. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 10(2), 107-117.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning (USDA Agriculture Handbook No. 37)*.



LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. [Kondisi Geologi Regional](#)



Gambar 1 a. Peta Geologi Sampanahan

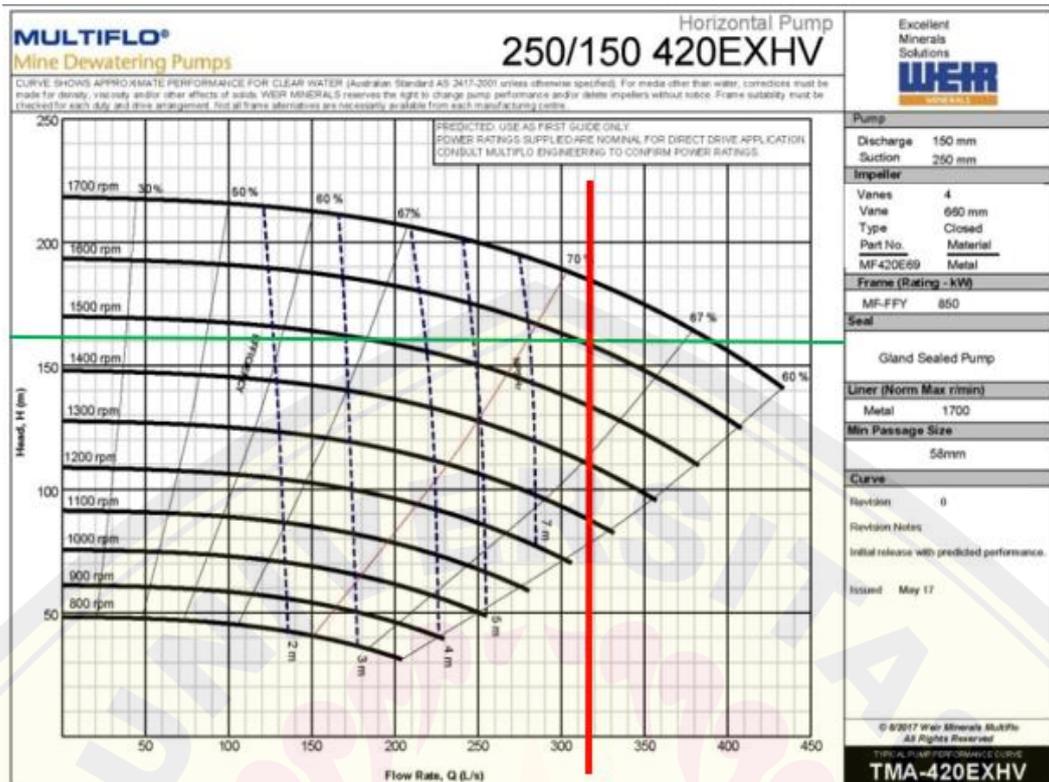
(Sumber : [opac.perpusnas.go.id](http://opac.perpusnas.go.id))

**STRATIGRAFI CEKUNGAN BARITO**  
(ADARO RESOURCES REPORT, 1999)

UMUR	STRATIGRAFI	KOLOM STRATIGRAFI	LITOLOGI	FASIES	TEBAL (m)	
KUARTER	ALLUVIUM		Deposit sungai dan rawa			
PLIOSEN	FORMASI DAHOR		Batuan Mastik konglomerat, batupasir, batulanau dan batulempung	LOWER DELTA PLAIN	lebih dari 840	
		ANGGOTA ATAS BATUBARA	Seam batubara berketebalan 30-40m, interbedded dari batulempung calcareous dan pasir halus	UPPER DELTA PLAIN	850	
	MIOSEN	FORMASI TENGAH	ANGGOTA PASIR ATAS	Lapisan tebal dari sangat halus hingga kasar, lanau, batulempung dan beberapa seam batubara, konglomerat	LOWER DELTA PLAIN	500
			ANGGOTA PASIR BAWAH	Interkalasi dan pasi halus, batulanau, batulempung dan beberapa seam batubara	LOWER DELTA PLAIN	600
		WARUKIN	ANGGOTA LEMPUNG	Serpih kadang-kadang calcareous pasir halus dan marl	DELTA FRONT	450
			ANGGOTA MARL ATAS	Marl lempung lanau dan, berisi pita-pita batubara	PRODELTA	225
	OLIGOSEN	FORMASI BERAJ	ANGGOTA BATUGAMPING	Batugamping kristalin, interbedded	PRODELTA	600
			ANGGOTA MARL BAWAH	Marl batugamping serpih, lanau dan beberapa interbedded seam batubara	PRODELTA	250
	EOSEN	FORMASI TANJUNG	ANGGOTA ATAS	Interkalasi dari serpih dan seam batubara tipis	MARINE	900
			ANGGOTA BAWAH	Serpih pasir	DELTA FRONT	
PRATERSIER	BASEMENT PRATERSIER		Serpih kuarsit dan batuan beku			

Gambar 1 b. Stratigrafi Cekungan Barito

(Sumber: Adaro Resources Report, 1999)



Gambar 1 c. Grafik Performa Pompa  
(Sumber: PT Putra Perkasa Abadi)

## Lampiran 2. Perhitungan Sistem Penyaliran Tambang

Tabel 2 a. Koefisien Skewness

Skew Coeff.	1.0101	1.0526	1.1111	1.25	2	5	10	20	50
0	-2,326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1,282	1,645	2,054
-0.1	-2,400	-1.673	-1,292	-0.836	0.017	0.846	1,270	1,616	2,000
-0.2	-2,472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1,258	1,586	1,945
-0.3	-2,544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1,245	1,555	1,890
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.067	0.855	1.231	1,524	1,834
-0.5	-2,686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.857	1.216	1.491	1,777
-0.6	-2,755	-1.797	-1.329	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.458	1,720
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.423	1,663
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.389	1.606
-0.9	-2,957	-1.859	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.353	1.549
-1.0	-3.023	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.317	1,492
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1,280	1.435
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.733	0.195	0.844	1.086	1.243	1.379
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.206	1.324
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.168	1,270
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.691	0.240	0.825	1.018	1.131	1.217
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.093	1.166
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.056	1.116
-1.8	-3,499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.020	1.069
-1.9	-3,553	-1.989	-1.311	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.984	1.023
-2.0	-3.605	-1.996	-1.303	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.949	0.980
-2.1	-3,656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.915	0.939
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.882	0.900
-2.3	-3,753	-2,009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.850	0.864
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.819	0.830
-2.5	-3,845	-2,012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.790	0.798
-2.6	-3,889	-2,013	-1.238	-0.499	0.369	0.696	0.747	0.762	0.768
-2.7	-3,932	-2,012	-1.224	-0.479	0.376	0.681	0.724	0.736	0.740
-2.8	-3,973	-2,010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.711	0.714
-2.9	-4.013	-2,007	-1.195	-0.440	0.390	0.651	0.681	0.688	0.689
-3.0	-4.051	-2,003	-1.180	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.665	0.666
-3.1	-4.089	-1,999	-1.164	-0.401	0.400	0.621	0.641	0.644	0.645
-3.2	-4.125	-1,993	-1.148	-0.381	0.405	0.606	0.622	0.624	0.625
-3.3	-4.159	-1,987	-1.131	-0.361	0.408	0.591	0.604	0.606	0.606
-3.4	-4.193	-1,980	-1.113	-0.341	0.411	0.577	0.587	0.588	0.588

Tabel 2 b. Intensitas Curah Hujan

T (menit)	T (jam)	Periode Ulang				
		2	5	10	25	50
5	0,083333333	175,9382484	211,7794787	230,68416	250,1354	262,162201
10	0,166666667	110,8341513	133,4127116	145,32191	157,5754	165,151838
15	0,25	84,5822877	101,8129541	110,90138	120,2525	126,034441
20	0,333333333	69,82114013	84,04474183	91,54707	99,26629	104,039138
45	0,75	40,6629227	48,94656309	53,315821	57,81139	60,5910393
60	1	33,56650312	40,4044976	44,011241	47,72225	50,0168009
120	2	21,14557193	25,45323852	27,725344	30,06314	31,5086101
150	2,5	18,22270148	21,93493601	23,892977	25,90763	27,1532971
180	3	16,13709157	19,42445643	21,158398	22,94247	24,0455699
210	3,5	14,56109617	17,5274074	19,092007	20,70184	21,6972094
240	4	13,32087559	16,0345355	17,465872	18,93859	19,8491806
270	4,5	12,3149057	14,82363462	16,146879	17,50838	18,3502042
300	5	11,47958259	13,81814381	15,051633	16,32078	17,1055053
360	6	10,16573067	12,23664077	13,328955	14,45285	15,1477598
720	12	6,404009032	7,708600644	8,3967157	9,104724	9,54249073

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 2 c. Perhitungan Lumpur Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*)

Qp (m3/s)	Vq (m3)	R (m3/s)	K (HW)	K (LW)	LS (HW) (14°=24,93%)	LS (LW) (8°=14,05%)	C	P	SY HW(ton)	SY LW(ton)	SDR	EA (ton/th)	EA(ton/hari)
16,91400138	29213070	871812,7207	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	111990,103	38773,58035	0,44	254522,9613	697,3231817
16,91400138	19035223,55	685886,7916	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	97913,82515	33900,04533	0,44	222531,4208	609,6751255
16,91400138	20093255,71	706981,6541	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	99588,96339	34480,01717	0,44	226338,5532	620,1056251
16,91400138	21159084	727743,2954	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	101216,2984	35043,43842	0,44	230037,0417	630,2384705
16,91400138	16706130	637544,4209	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	93987,15483	32540,54066	0,44	213607,1701	585,2251235
16,91400138	24651360	792740,1691	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	106183,2308	36763,10606	0,44	241325,5246	661,1658209
16,91400138	21094913,79	726506,5141	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	101119,9342	35010,07489	0,44	229818,0322	629,6384444
16,91400138	34544647,74	957619,9834	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	118035,0106	40866,46806	0,44	268261,3877	734,9627059
16,91400138	21880671,43	741538,8872	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	102286,3432	35413,91284	0,44	232468,9617	636,901265
16,91400138	20068071,43	706485,2959	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	99549,80242	34466,45873	0,44	226249,551	619,8617834
16,91400138	31575492	910617,6016	0,24	0,18	4,25	1,8	0,9	1	114754,793	39730,78039	0,44	260806,3477	714,537939
16,91400138	27889871,99	849473,8645	0,16	0,18	4,25	1,8	0,9	1	73582,64657	38214,03745	0,44	167233,2877	458,1733908
16,91400138	38052516	1010915,048	0,16	0,18	4,25	1,8	0,9	1	81113,21255	42124,92329	0,44	184348,2104	505,06359
<b>Rata-rata</b>									100101,6398	36717,49105	<b>Maks</b>	<b>268.261,3877</b>	<b>734,9627059</b>

Tabel 2 d. Massa Jenis Air

Temperatur (t°C)	Berat Jenis	Temperatur (t°C)	Berat Jenis
20	0,9982	30	0,9957
21	0,9980	31	0,9954
22	0,9978	32	0,9951
23	0,9976	33	0,9947
24	0,9973	34	0,9944
25	0,9971	35	0,9941
26	0,9968	36	0,9937
27	0,9965	37	0,9934
27,5	0,9964	38	0,9930
28	0,9963	39	0,9926
29	0,9960	40	0,9922

Tabel 2 e. Viskositas Dinamik Air

Temperature (C)	Specific Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Dynamic Viscosity <sup>b u</sup> (x 10 <sup>-3</sup> kg/m-s)	Kinematic Viscosity v (x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Surface Tension (N/m)	Modulus of Elasticity E (x 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup> )	Vapor Pressure Pv (kN/m <sup>2</sup> )
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0765	1.98	0,61
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	2.05	0.87
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	2.10	1.23
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	2.15	1.70
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.17	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	2.22	3.17
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	2.25	4.24
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	2.28	7.38
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	2.29	12.33
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.28	19.92
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	2.25	31.16
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	2.20	47.34
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	2.14	70.10
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	2.07	101.33

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Lampiran 3. Hasil Uji Lab (*Material Properties*)

**PT. ADARO INDONESIA**  
**GEOTECHNICAL DEPARTMENT**  
**TECHNICAL SERVICE DIVISION**

Hauling Road Adaro KM 67 Wara Tanjung Tabalong, South Kalimantan  
 PO.BOX 110 TTB Tanjung 71500 Telp 62.526.2021998 Fax 62.526.2021996



## A. Index Properties

LABORATORIUM TEST RESUME																	
Client :		Rizqi Narendra Utomo												Date received : 3/13/2023			
Project :		Perhitungan % Erosi Pit Wara												Date tested : 3/13/2023			
Location :		Pit Wara															
No.	Hole	Depth	Sample ID	MC (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )		GS	Atterberg Limit (%)			Particle Size Distribution (%)					PERM* (K)	SLG*
					WD	DD		LL	PL	PI	Gravel	Sand	Silt	Clay	Finer		
1.			Stasiun Wara 01	28,87	-	-	2,60	-	-	-	3,25	11,38	84,68	0,69		9.86 x 10 <sup>-5</sup>	-
2.			Stasiun Wara 02	11,47	-	-	2,62	-	-	-	8,52	17,23	74,25	0,00		2.5 x 10 <sup>-7</sup>	-

## Lampiran 4. LoA (Letter of Acceptance)

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

	<b>APPROVAL FORM</b> TECHNICAL SERVICES DIVISION	Date :	16 February 2020
		Company :	PT Adaro Indonesia
		Subject :	Request Data for Academic Purpose Only
<i>Data Request ( Permintaan Data) v</i> *Must be Filled		<i>Data Submission ( Pengumpulan Data) <input type="checkbox"/></i>	

**I. Personal Information**

Name : Mardhiyah Zahra  
 University : Jember  
 Division/Dept. : Mine Readiness Department  
 Status : Magang

**II. Purpose**

Request data for final year assignment titled "Analisis Uji Ketahanan Sump Pit Wara Menggunakan Perbandingan Curah Hujan Dengan Kapasitas Sump Pada PT.Adaro Indonesia" (Academic Purpose Only)

**III. Description**

Description of data Requested:

- Rainfall & Rainhour Pit Wara from 2010 to 2022
- Topography of Actual Wara January 2023
- Pump Specification
- Aerial Photography of Wara January 2023
- Deisgn of Wara Pit 2023

Acknowledge by,			Approved by,		
 Digitally signed by Mohamad Nuhnaradita Saleh Date: 2023.02.16 15:03:40 +08'00'	 Digitally signed by M Anurian Anjar Date: 2023.02.21 12:58:56 +08'00'	 Digitally signed by Iwan Ridwan Date: 2023.02.27 08:15:19 +08'00'	 Digitally signed by Wahyu Sulistiyo	 Digitally signed by Wahyu Sulistiyo	
Moh. Nuhnaradita Saleh Mine Readiness Dept. Head	M. Anurian Anjar Mine Planing Dept. Head	Iwan Ridwan Technical Support Dept. Head	Wahyu Sulistyو Deputy Technical Services Div. Head	Technical Services Division Head	Suhermono Kepala Teknik Tambang