

**ANALISIS KINERJA POMPA PADA SISTEM PENIRISAN
PADA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT. BUKIT ASAM, Tbk
UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG ENIM (UPTe)
PROVINSI SUMATERA SELATAN**

SKRIPSI



OLEH :

DINI HARTINA NAINGGOLAN

DBD 115 053

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS PALANGKARAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN
2020**

**ANALISIS KINERJA POMPA PADA SISTEM PENIRISAN
PADA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT. BUKIT ASAM, Tbk
UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG ENIM (UPTe)
PROVINSI SUMATERA SELATAN**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Strata 1
Pada Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan**



OLEH :

DINI HARTINA NAINGGOLAN

DBD 115 053

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS PALANGKARAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN
2020**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : DINI HARTINA NAINGGOLAN

NIM : DBD 115 053

JURUSAN/PRODI : TEKNIK PERTAMBANGAN

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya di daftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam Penulisan dan Penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Palangka Raya, 18 Januari 2020

Penulis,



DINI HARTINA NAINGGOLAN
NIM. DBD 115 053

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA POMPA PADA SISTEM PENIRISAN PADA PENAMBANGAN
BATUBARA DI PT. BUKIT ASAM, TBK UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG
ENIM (UPTe) PROVINSI SUMATERA SELATAN**

Oleh :

DINI HARTINA NAINGGOLAN
DBD 115 053

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal Selasa, 18 Januari 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Tim Dosen Penguji :

- | | | |
|--|------------|---|
| 1. <u>Ir. YULIAN TARUNA, M.Si</u>
NIP. 19580705 198903 1 019 | KETUA |  |
| 2. <u>LISA VIRGIYANTI, S.T., M.T.</u>
NIP. 19770904 200801 2 011 | SEKRETARIS |  |
| 3. <u>FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T.</u>
NIP. 19791215 200812 1 001 | ANGGOTA |  |
| 4. <u>DODY A.K WIJAYA, S.Hut., M.Si</u>
NIP. 19831207 201212 1 001 | ANGGOTA |  |
| 5. <u>NOVALISAE, S.T., M.T.</u>
NIP. 19881110 201903 2 015 | ANGGOTA |  |



Menyetujui,
Ketua Jurusan/Program Studi
Teknik Pertambangan



FAHRUL INDRAJAYA S.T., M.T.
NIP. 19791215 200812 1 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

∞ MAZMUR 37 : 5 ∞

.Serahkanlah Hidupmu Kepada Tuhan, Dan Percayalah Kepada-Nya, Dan Ia Akan Bertindak.

Terimakasih Tuhan untuk kasih dan setiamu dalam hidupku, Terimakasih Tuhan untuk semua yg terjadi di hidupku yang membentuk aku menjadi seorang Dini yang sekarang, Terimakasih Tuhan untuk pemeliharaanmu yg sempurna dalam hidupku, Terimakasih Tuhan sudah menjadi Bapa dan Sahabat yg tau semua tentang aku dan tetap mengasihi aku.

Skripsi ini kupersembahkan

Untuk bapakku Salmon Nainggolan dan Mamaku Somina Sianturi, hai orang-orang hebatku.. maaf jika aku telah banyak merenggut kebahagiaan kalian, bahkan di usia kalian yg sudah lanjut kalian masih harus berjuang demi aku. Doaku Tuhan masih memberi aku kesempatan untuk membahagiakan kalian, **TUNGGU AKU SUKSES PAK MAK**. Air mata dan keringan kalian gak akan sia-sia.

Untuk Saudara ku K'Ellys, B'Sadar, K'Novida terimakasih untuk dukungan dan doa kalian selama ini. Terkhusus untuk seorang idolaku B' Jhonatan, terimakasih untuk semua yg udah abang kasi ke aku. Orang yg sangat membantuku selama kuliah, abang yg lebih memikirkan keinginanku dari pada kebutuhannya. Biar Tuhan yg membalas

Untuk sahabat - sahabat ku Risma dan Romasta, ingat kita harus sukses banyak mulut orang yg harus kita tutup dengan kesuksesan kita.

Untuk Maria Rafa Rointo, terimakasih untuk hampir 5 tahun ini kalian banyak menolong aku dan yg selalu tau cerita tentang aku, yg selalu nyemangatin aku, yg udah lihat aku senangis nangisnya cerita tentang semua masalah ku. Kalian luar biasa

Untuk my Family yg katanya Eksklusif hehe Vibung. Fina yg lebih khawatir tentang aku bahkan daripada aku mengkhawatirkan diriku. Yohannes orang yg paling ku bebaskan untuk tugas tugas kuliah ku. Elistia my ukhti yg jadi teman pertamaku di kampus. Destry my bii yg sampai sekarang Bii itu hanya kita yg tau wkwk n the last my bro Andreyan, Teman seperjuangan ngeasprak sampe subuh haha. I love you guys

Untuk BFA palangkaraya, Youtshakers, dan FC Lea yg mempertemukan aku dengan Rumah dan Keluarga Rohani ku.

And Spesial to ma boy Martin Harianja, yg selalu ada dengar curhatku, yg selalu ngalah untuk keras kepala dan egois ku, yg tau semua tentang keluarga dan kekuranganku tapi tetap bertahan. I hope you will be my future n stay with me boy

SARI

Pengeringan *sump* di pit 3 Barat Banko Barat harus dilakukan agar dipergunakan untuk tempat penimbunan. Kinerja pompa akan sangat berperan dalam proses pengeringan ini seperti mengetahui jumlah debit air yang masuk, system pemompaannya dan lama waktu pemompanya. Metode yang digunakan yaitu kuantitatif-deskriptif dengan menggunakan rumus untuk mengetahui debit air limpasan dan menggunakan metode gumbel dalam menganalisis data curah hujan. Lalu metode statistic-deskriptif dimana penulis menyajikan informasi dalam bentuk tabel seperti tabel curah hujan dan dalam grafik waktu pengeringan *sump*. Hasil penelitian yang didapatkan adalah curah hujan maksimum sebesar 120,92 mm/tahun, curah hujan rencana dengan menggunakan metode gumbel didapatkan sebesar 179,536 mm/hari, rata-rata curah hujan 1,39 jam, intensitas curah hujan 50,415 mm/jam, luas catchment 31,77 Ha, total debit air yang masuk ke pit sebesar 20.088, 949 m³/hari, debit limpasan sebesar 20.016 m³/hari, debit air tanah sebesar 86,4 m³/hari, evapotranspirasi sebesar 13,451 m³/hari dan total volume *sump* April-Mei sebesar 4.408.247 m³. System pemompaan pada pit 3 Barat Banko Barat adalah *single stage*. Head total pompa 385 KW sebesar 46,13977 m, efisiensi kerja pompa adalah 77% dan jumlah pompa yang dibutuhkan adalah 3. Sehingga kesimpulannya pengeringan menggunakan satu pompa akan membutuhkan waktu 16 bulan 7 hari, dengan 2 pompa membutuhkan 8 bulan 3 hari, dan dengan 3 pompa membutuhkan waktu 5 bulan 12 hari.

Kata kunci: Pengeringan, Sump, Pompa, Curah Hujan, Debit Air.

ABSTRACT

Drying sump in West Banko West pit 3 must be done so that it can be used for landfill. Pump performance will do a very important role in the drying process, such as knowing the amount of incoming water debit, the pumping system and the pumping time. The method used is quantitative-descriptive by using a formula to determine run-off water discharge and using the gumbel method in analyzing rainfall data. Then the statistical-descriptive method in which the writer presents information in the form of tables such as rainfall tables and in sump drying time graphs. The results of this research are maximum rainfall of 120.92 mm / year, plan rainfall using the gumbel method is 179.536 mm / day, average rainfall of 1,39 hours, rainfall intensity of 50.415 mm / hour, catchment area of 31, 77 Ha, total water debit entering the pit is 20,088, 949 m³ / day, runoff discharge is 20,016 m³ / day, groundwater debit is 86.4 m³ / day, evapotranspiration is 13.451 m³ / day and April-May sump volume is total of 4,408,247 m³. pumping system at pit 3 West Banko West is single stage. The total head of the pump is 385 KW of 46,13977 m, the working efficiency of the pump is 77% and the number of pumps needed is 3. So that the conclusion drying using one pump will take 16 months 7 days, with 2 pumps need 8 months 3 days, and with 3 pumps need 5 months 12 days.

Keyword: Drying, Sump, Pump, Rainfall, Water Discharge.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan KasihNya, Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Laporan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian di lapangan yang dilakukan di PT. Bukit Asam, Tbk pada tanggal 08Maret 2019 hingga 17 Mei 2019 dengan judul ” **Analisis Kinerja Pompa Pada Sistem Penirisan Pada Penambangan Batubara di PT. Bukit Asam, Tbk. Unit Pertambangan Tanjung Enim (Upte) Provinsi Sumatera Selatan**”.

Kegiatan ini merupakan kebutuhan dan kewajiban mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya untuk melaksanakan menyelesaikan studi perkuliahan dan meraih gelar Sarjana. Selain itu, Skripsi ini diharapkan mampu memperkenalkan lingkungan kerja dan mempersiapkan mahasiswa agar berkualifikasi siap terjun ke dunia kerja.

Dalam penyelesaian laporan ini, Penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Bapak Fahrul Indrajaya S.T., M.T Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
3. BapakYossa Yonathan Hutajulu, S.T., M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Ir.Yulian Taruna,M.Si, Dosen Pembimbing Satu
5. Ibu Lisa Virgiyanti S.T., M.T Dosen Pembimbing ke Dua

Seperti kata pepatah bahwa tiada gading yang tak retak, penulis menyadari sepenuhnya di dalam laporan ini masih banyak terdapat kekurangan baik dalam

penulisan ataupun keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf sekaligus mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Sehingga laporan skripsi ini nantinya dapat bermanfaat bagi kita semua.

Palangkaraya, Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
SARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.3.1 Maksud	3
1.3.2 Tujuan	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	4

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Siklus Hidrologi.....	6
2.3 Evapotranspirasi.....	8
2.4 Sistem Penyaliran Tambang	9

2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran	15
2.6 Analisis Data Curah Hujan	19
2.7 Sistem Penyaliran.....	28
2.8 Sumuran (<i>Sump</i>)	29
2.9 Pipa Dan Pompa.....	30
2.9.1 Pipa	30
2.9.2 Pompa	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Profil Dan Sejarah Perusahaan	37
3.2 Struktur Organisasi Perusahaan	42
3.3 Lokasi Dan Kesampain Daerah.....	43
3.4 GambaranUmum Wilayah Penelitian	43
3.5 Kondisi Geologi	45
3.5.1 Fisiografi	45
3.5.2 Stratigrafi.....	46
3.5.3 Struktur Geologi	48
3.6 Geologi Daerah Penelitian	48
3.6.1 Morfologi Pit 3 Barat Banko Barat	49
3.6.2 Litologi.....	49
3.6.3 Struktur Geologi	52
3.7 Alat dan Bahan	53
3.8 Tata Laksana Penelitian	53
3.8.1 Langka Kerja	53
3.8.2 Metode Penelitian	54
3.8.3 Metode Pengolahan Data	55
3.9 Bagan Alir	56
3.10 Waktu Penelitian	57

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil.....	58
4.1.1 Jumlah Debt Air YangMasuk Ke <i>Sump</i> Pt 3 Barat Banko Barat	58
4.1.2 Kinerja Pompa Pada Sistem Penirisan <i>Sump</i> Pit 3 Barat Banko Barat	76
4.2 Pembahasan	89
4.2.1 Jumlah Debit Air YangMasuk Ke <i>Sump</i> Pt 3 Barat Banko Barat	90
4.1.2 Kinerja Pompa Pada Sistem Penirisan <i>Sump</i> Pit 3 Barat Banko Barat	96

BAB IV PENUTUP

5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	104

Daftar pustaka

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi.....	8
Gambar 2.2 Metode <i>Siemens</i>	11
Gambar 2.3 Metode <i>Deep well pump</i>	11
Gambar 2.4 Metode <i>electro osmosis</i>	12
Gambar 2.5 Metode <i>Small Pipe With Vacuum Pump</i>	13
Gambar 2.6 Kolam Terbuka.....	14
Gambar 2.7 Penampang Saluran Bentuk Trapesium	29
Gambar 2.8 Pengukuran Debit Pompa Dengan Metode <i>Discharge</i>	31
Gambar 2.9 Ilustrasi Pipa Isap dan Pipa Tekan.....	32
Gambar 3.1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	42
Gambar 3.2 Peta Lokasi PT. Bukit Asam, Tbk	44
Gambar 3.3 WIUP PT. Bukit Asam, Tbk	45
Gambar 3.4 Penampang Litologi Pit Barat Banko Barat	50
Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian	56
Gambar 4.1 Kurva Performa Pompa.....	84
Gambar 4.2 Grafik Pengeringan <i>Sump</i> Dengan Menggunakan 1 Pompa	88
Gambar 4.3 Grafik Pengeringan <i>Sump</i> Dengan Menggunakan 2 Pompa	89
Gambar 4.4 Grafik Pengeringan <i>Sump</i> Dengan Menggunakan 3 Pompa	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga Koefisien Limpasan	18
Tabel 2.2	Parameter Statistik Untuk Menentukan Jenis Distribusi	22
Tabel 2.3	Periode Ulang Hujan Untuk Sarana Penyaliran Pada Daerah Tambang	26
Tabel 2.4	Hubungan Antara Curah Hujan dengan Intensitas Curah Hujan	27
Tabel 2.5	Koefisien Kekerasan Pipa	33
Tabel 2.6	Koefisien Kerugian Dari Berbagai Katup.....	34
Tabel 3.1	Waktu Penelitian	57
Tabel 4.1	Data Curah Hujan Banko Barat PT Bukit Asam Tahun 2009 – 2018.....	58
Tabel 4.2	Dispersi Statistik Untuk Menentukan Distribusi Curah Hujan Tahun 2009 - 2018.....	59
Tabel 4.3	Dispersi Statistik Logaritma Untuk Menentukan Distribusi Curah Hujan Tahun 2009 - 2018	61
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Dispersi.....	62
Tabel 4.5	Perhitungan Dispersi Statistik	62
Tabel 4.6	Perhitungan PUH Dengan Distribusi Gumbel	64
Tabel 4.7	Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Empat Jenis Distribusi	69
Tabel 4.8	Parameter Syarat Penentuan Jenis Metode Distribusi	70
Tabel 4.9	Penentuan PUH	70
Tabel 4.10	Harga Koefisien Limpasan	72
Tabel 4.11	Perhitungan Volume Aktual <i>Sump</i> Pit 3 Barat.....	76
Tabel 4.12	Sitem Pemompaan	76
Tabel 4.13	Perhitungan Head Pompa	83
Tabel 4.14	Parameter Perhitungan Jumlah Pompa	85
Tabel 4.15	Parameter Perhitungan Waktu Pengeringan <i>Sump</i>	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Curah Hujan Pit 3 Barat Banko Barat

Lampiran B Data Jam Hujan Banko Barat

Lampiran C Tabel Pendukung Perhitungan Curah Hujan Rencana

Lampiran C.1 Nilai Reduksi Gauss untuk Distribusi Normal

Lampiran C.2 Faktor Frekuensi k Distribusi Log Normal 3

Lampiran C.3 Nilai k Distribusi Pearson Type III Untuk Koefisien
Kemencengan

Lampiran D Spesifikasi Pompa

Lampiran E Waktu Pengeringan *Sump*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seluruh aktivitas penambangan selalu berhubungan dengan keadaan cuaca. Kondisi cuaca yang hujan menyebabkan terganggunya aktivitas penambangan dilapangan, Air adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kegiatan penambangan. Air yang menggenangi lokasi penambangan merupakan masalah yang penting untuk ditangani bagi perusahaan penambangan. Hal ini dikarenakan air yang masuk ke lokasi penambangan dapat mengganggu aktivitas penambangan mulai dari lokasi front tambang yang tergenang air, berkurangnya kinerja dari alat mekanis dan kondisi lereng yang cenderung tidak aman sehingga dapat mempengaruhi produksi yang dihasilkan.

Penanganan yang baik dari sistem penyaliran dan pengeringan *sump* harus dilakukan terhadap air hujan yang masuk kedalam pit. Sistem penyaliran yang diterapkan ditambang batubara PT Bukit Asam Tbk adalah sistem penyaliran secara *mine drainage* dan *mine dewatering*. *Mine dewatering* merupakan metode sumuran yang membiarkan air masuk kedalam pit melalui aliran *drainage* untuk ditampung kedalam sumuran/ dan air yang terakumulasi dikeluarkan dari sump menggunakan pompa lalu secara *mine*

drainage yaitu upaya mencegahnya air masuk kedalam lokasi *Ring Canal* disekeliling *boundary* pit sehingga air yang ada dilokasi penambangan mengalir melalui *ring canal* menuju kolam pengendapan lumpur (KPL).

Dalam penelitian ini yang dibahas ialah mengenai analisis dari rencana pengeringan sump di pit 3 Barat Banko Barat. Pada *pit* 3 Barat Banko Barat yang merupakan daerah timbunan lapisan tanah penutup (*disposal*) terdapat *sump* dengan luasan 17,17 Ha yang akan dilakukan proses pengeringan. Hal tersebut dilakukan agar lahan bekas *sump* dapat dipergunakan untuk keperluan aktivitas produksi lainnya seperti tempat penimbunan (*disposal*) baru. Rencana pengeringan pada *sump pit* 3 Barat perlu dikaji mulai dari berapa jumlah debit air yang masuk ke dalam *sump*, sistem pemompaannya, berapa jumlah pompa, panjang pipa yang digunakan dan berapa lama waktu yang diperlukan untuk melakukan pengeringan terhadap *sump* tersebut. Data curah hujan merupakan data utama untuk mendapatkan perhitungan tentang jumlah debit air yang masuk serta perhitungan debit air limpasan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa jumlah debit air limpasan yang masuk ke *sump* di pit 3 Barat Banko Barat ?
2. Bagaimana kinerja pompa pada sistem penirisan *sump* Pit 3 Barat Banko Barat ?

1.3 Maksud dan Tujuan

1.3.1 Maksud

Adapun maksud dari skripsi ini adalah menganalisis kinerja pompa pada sistem penirisan pada penambangan batubara di pit 3 Barat Banko Barat di PT Bukit Asam.

1.3.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghitung besar debit air limpasan yang masuk ke *sump* pit 3 Barat Banko Barat.
2. Menganalisis kinerja pompa pada sistem penirisan *sump* pit 3 Barat Banko Barat.

1.4 Manfaat

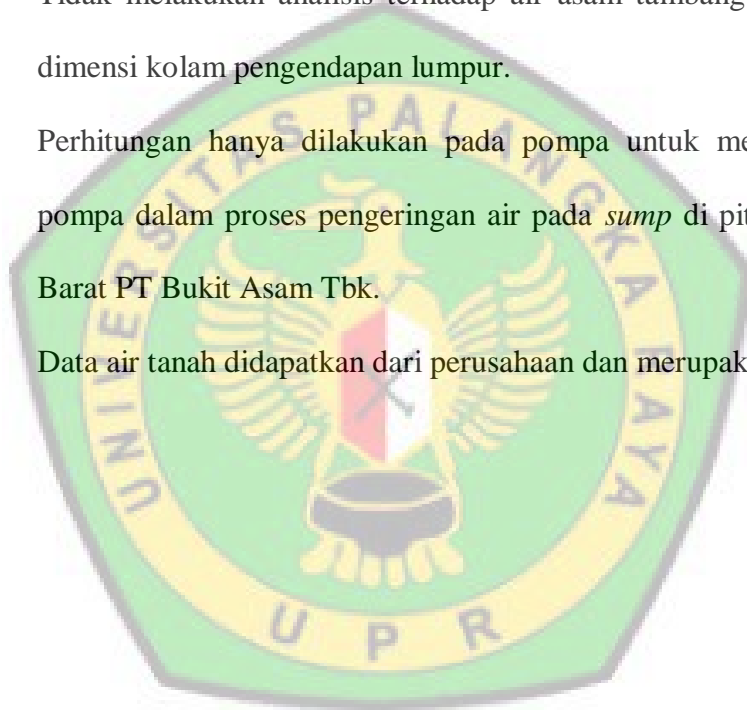
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menambah wawasan penulis dan pembaca mengenai sistem penyaliran air pada tambang terbuka.
2. Dapat memberikan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem penyaliran air tambang terbuka.
3. Dapat memberi rekomendasi kepada perusahaan terkait sistem penyaliran tambang di Pit 3 Barat Banko Barat.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dilakukan di pit 3 Barat Banko Barat PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim.
2. Tidak melakukan analisis terhadap air asam tambang dan perhitungan dimensi kolam pengendapan lumpur.
3. Perhitungan hanya dilakukan pada pompa untuk mengetahui kinerja pompa dalam proses pengeringan air pada *sump* di pit 3 Barat Banko Barat PT Bukit Asam Tbk.
4. Data air tanah didapatkan dari perusahaan dan merupakan data sekunder.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian M. Distyan Afriwijaya., (2017) yang dilaksanakan pada PT. Bukit Asam Tbk yang berlokasi di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Sistem pemompaan yang dianalisis adalah pada pemompaan *Sump* Pit 3 Timur Banko Barat. Data-data yang digunakan adalah data-data curah hujan selama 10 tahun, debit aktual pompa, dan dimensi aktual *sump*, dan luas tangkapan air hujan (*catchment area*). Dalam penelitian tersebut, pompa yang digunakan adalah pompa Sulzer WPP53-200 (*engine* 72), pompa tersebut memiliki debit aktual sebesar 7,24 m³/menit (1280 Rpm), dengan total head 76,71 m dan efisiensi sebesar 73 %. Pompa Sulzer WPP53-200 (*engine* 66) memiliki debit aktual sebesar 6,46 m³/menit (1230 Rpm), dengan total head 74,46 m dan efisiensi sebesar 73 %. Pada penelitian tersebut ditemukan bahwa RPM dan efisiensi pompa tidak sesuai *plan* dan secara teoritis lebih besar daripada aktual. Selain itu, bentuk *sump* Pit 3 Timur yang tidak beraturan menyulitkan untuk mengetahui volume aktual *sump* timur dua pada saat *monitoring* pengukuran elevasi air harian.

Penelitian Azura Ukraina., (2017) yang dilaksanakan pada PT. Bukit Asam Tbk yang berlokasi di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi

Sumatera Selatan menyatakan curah hujan rencana tahun 2017 adalah 199,43 mm/hari dengan intensitas curah hujan sebesar 34,15 mm/jam dengan waktu hujan 2,88 jam. *Catchment area* total tahun 2017 sebesar 79 Ha. Debit limpasan permukaan pada Tahun 2017 sebesar 19.440,005 m³/hari. Debit air tanah yang didapat sebesar 0,0501 m³/detik. Debit evapotranspirasi sebesar 59,13 m³/jam. Debit air total yang masuk ke *Sump* Pit 3 Timur Banko Barat sebesar 22.351,685 m³/hari. Debit pemompaan total yang didapat sebesar 822 m³/jam dengan total panjang buangan pada jalur yaitu 320 m. Dimensi kolam pengendapan lumpur adalah sebagai berikut : 48 m x 42 m x 3 m. Dimensi saluran terbuka berbentuk trapesium yaitu : lebar dasar saluran 0,0871 m, lebar atas saluran 1,75 m, dan tinggi 0,0871 m.

2.2 Siklus Hidrologi

Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km³ air: 97,5% adalah air laut, 1,75% berbentuk es dan 0,73% berada di daratan sebagai air sungai, air danau, air tanah dan sebagainya. Hanya 0,001% berbentuk uap di udara. Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi penguapan, presipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan. Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan bumi. Tidak semua bagian hujan yang jatuh ke

permukaan bumi mencapai permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan di mana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan ke permukaan tanah.

Sebagian air hujan yang tiba ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*). Bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Tidak semua butir air yang mengalir akan tiba ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar kembali segera ke sungai-sungai (disebut aliran intra : *interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (disebut *groundwater runoff* : limpasan air tanah). Jadi sungai itu mengumpulkan 3 jenis limpasan, yakni limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran intra (*interfiow*) dan limpasan air tanah (*groundwater runoff*) yang akhirnya akan mengalir ke laut. Singkatnya ialah: uap dari laut dihembus ke atas daratan (kecuali bagian yang telah jatuh sebagai presipitasi ke laut), jatuh ke daratan sebagai presipitasi (sebagian jatuh langsung ke sungai-sungai dan mengalir langsung ke laut). Sebagian dari hujan atau salju yang jatuh di daratan menguap dan meningkatkan kadar uap di atas daratan. Bagian yang lain mengalir ke sungai dan akhirnya ke laut. Seperti telah dikemukakan di atas, sirkulasi yang *continue* antara air laut dan

air daratan berlangsung terus. Sirkulasi air ini disebut siklus hidrologi, pada gambar 2.1 (*hydrological cycle*).



(Sumber : Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003 : 1)

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

2.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan bertanaman melalui evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses dimana air diubah menjadi uap air dan selanjutnya uap air tersebut dipindahkan dari permukaan bidang penguapan ke atmosfer. Evaporasi terjadi pada berbagai jenis permukaan seperti danau, sungai, lahan pertanian, tanah, maupun dari vegetasi yang basah. Transpirasi adalah proses penguapan melalui tumbuhan (Allen et.al. 1998). Mengingat faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi lebih banyak dan lebih sulit dari faktor yang mempengaruhi evaporasi, maka banyaknya evapotranspirasi tidak dapat diperkirakan dengan teliti. Salah satu rumus yang digunakan untuk menentukan evapotranspirasi adalah dengan menggunakan rumus *Turc Langbein Wundt* sebagai berikut:

$$ET = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P}{L(T)}\right)^2\right]^{0.5}}$$

Keterangan:

ET = Evapotranspirasi

P = Curah hujan tahunan rata-rata (mm/tahun)

T = Temperatur rata-rata (°C)

L (T) = Fungsi suhu = $300 + 25T + 0,05T^3$

2.4 Sistem Penyaliran Tambang

Sistem penyaliran tambang adalah suatu usaha atau kegiatan yang dilakukan untuk mencegah masuknya air atau mengeluarkan air yang telah masuk ke *front* penambangan. Kegiatan ini dimaksudkan untuk mencegah terganggunya aktivitas penambangan akibat adanya air dalam jumlah yang berlebihan terutama pada saat musim penghujan. Selain itu, sistem penyaliran tambang ini juga dimaksudkan untuk memperlambat kerusakan alat serta mempertahankan kondisi kerja yang aman, sehingga alat-alat mekanis yang digunakan pada daerah tersebut mempunyai umur yang lama. (Suyono, 2012)

Sumber air yang masuk ke lokasi penambangan dapat berasal dari permukaan tanah maupun dari air dibawah tanah. Air permukaan tanah merupakan air yang terdapat dan mengalir di permukaan tanah. Jenis air ini

meliputi, air limpasan permukaan, air sungai, rawa atau danau yang terdapat di daerah tersebut, air buangan (limbah), dan mata air. Sedangkan air di bawah tanah merupakan air yang terdapat dibawah permukaan tanah. Secara hidrologis air dibawah tanah tanah dapat dibedakan menjadi air pada daerah jenuh dan air pada daerah tak jenuh. Daerah tak jenuh pada umumnya terdapat pada bagian teratas dari lapisan tanah dicirikan oleh gabungan antara material padatan, air dalam bentuk air adsorpsi, air kapiler, dan air infiltrasi serta gas / udara. Daerah ini dipisahkan dari daerah jenuh oleh jaringan kapiler. Air yang berada pada daerah jenuh disebut air tanah.

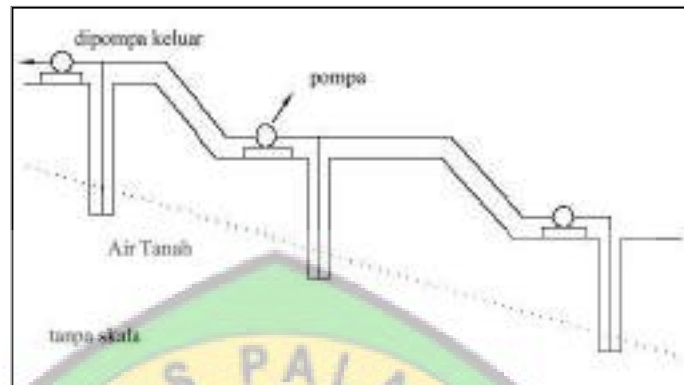
Penanganan masalah air dalam suatu tambang terbuka dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. *Mine Drainage* merupakan upaya untuk mencegah masuknya air ke daerah penambangan. Hal ini umumnya dilakukan untuk penanganan air tanah dan air yang berasal dari sumber air permukaan. Beberapa metode penyaliran *Mine Drainage* :

- a. *Metode Siemens*

Merupakan sistem penyaliran dengan membuat beberapa lubang bor di bagian luar daerah-daerah penambangan atau di jenjang. Pada tiap jenjang dari kegiatan penambangan dibuat lubang bor kemudian ke dalam lubang bor dimasukkan pipa dan disetiap bawah pipa tersebut diberi lubang-lubang. Bagian ujung ini masuk ke dalam lapisan akuifer, sehingga air tanah terkumpul pada bagian ini dan

selanjutnya dipompa ke atas dan dibuang ke luar daerah penambangan (Gambar 2.2).

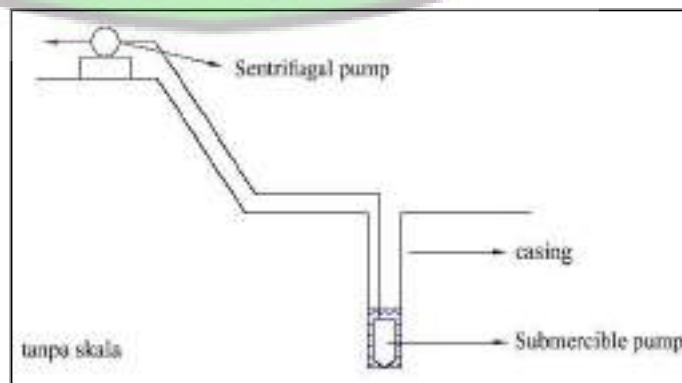


(Sumber : Arafah HK, 2006 : 23)

Gambar 2.2 Metode *Siemens*

b. Metode Pemompaan Dalam (*Deep Well Pump*)

Metode ini digunakan untuk material yang mempunyai permeabilitas rendah dan jenjang tinggi. Dalam metode ini dibuat lubang bor kemudian dimasukkan pompa ke dalam lubang bor dan pompa akan bekerja secara otomatis jika tercelup air. Kedalaman lubang bor 50 meter sampai 60 meter (Gambar 2.3).

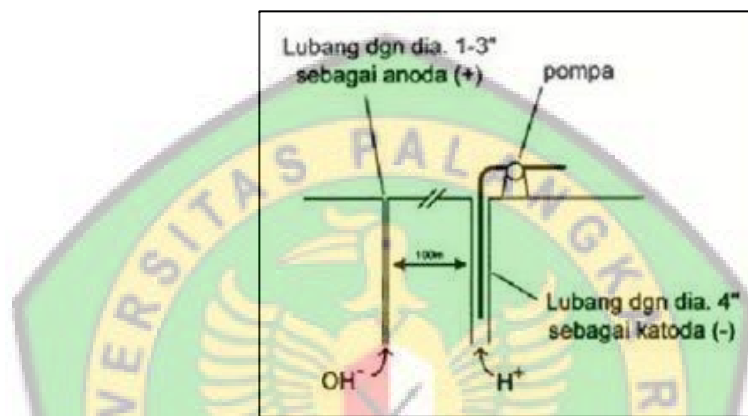


(Sumber : Arafah HK, 2006 : 24)

Gambar 2.3 Metode *Deep well pump*

c. Metode *Elektro Osmosis*

Pada metode ini digunakan batang anoda serta katoda. Bilamana elemen-elemen dialiri arus listrik maka air akan terurai, H^+ pada katoda (disumur besar) dinetralisir menjadi air dan terkumpul pada sumur lalu dihisap dengan pompa. (Gambar 2.4).



(Sumber : Arafah HK, 2006 : 24)

Gambar 2.4 Metode *electro osmosis*

d. Cara Paritan

Penyaliran dengan cara paritan ini merupakan cara yang paling mudah, yaitu dengan pembuatan paritan (saluran) pada lokasi penambangan. Pembuatan parit ini bertujuan untuk mengalirkan air limpasan yang menuju kolam penampungan yang di daerah penambangan. Air limpasan akan masuk ke saluran-saluran yang kemudian di alirkan ke suatu kolam penampung atau dibuang langsung ke tempat pembuangan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

e. *Small Pipe With Vacuum Pump*

Cara ini diterapkan pada lapisan batuan yang impermiabel (jumlah air sedikit) dengan membuat lubang bor. Kemudian dimasukkan pipa yang ujung bawahnya diberi lubang-lubang. Antara pipa isap dengan dinding lubang bor diberi kerikil-kerikil kasar (berfungsi sebagai penyaring kotoran) dengan diameter kerikil lebih besar dari diameter lubang. Di bagian atas antara pipa dan lubang bor di sumbat supaya saat ada isapan pompa, rongga antara pipa lubang bor kedap udara sehingga air akan terserap ke dalam lubang bor (Gambar 2.5)



(Sumber : Arafah HK, 2006 : 25)

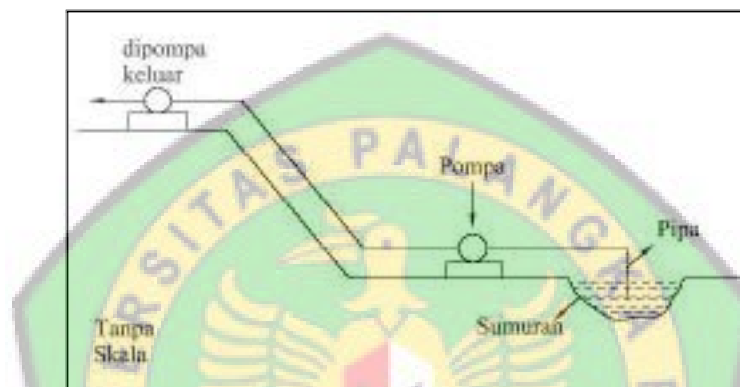
Gambar 2.5 Metode *Small Pipe With Vacuum Pump*

2. *Mine Dewatering*

.Upaya ini terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Beberapa metode penyaliran *mine dewatering* adalah sebagai berikut
Merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan:

1. Sistem Kolam Terbuka.

Sistem ini diterapkan untuk membuang air yang telah masuk ke daerah penambangan. Air dikumpulkan pada sumur (*sump*), kemudian dipompa keluar dan pemasangan jumlah pompa tergantung kedalaman penggalian (Gambar 2.6).



(Sumber : Arafah HK, 2006 : 26)

Gambar 2.6 Kolam Terbuka

2. Sistem Adit

Cara ini biasanya digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang mempunyai banyak jenjang. Saluran horizontal yang dibuat dari tempat kerja menembus ke shaft yang dibuat di sisi bukit untuk pembuangan air yang masuk ke dalam tempat kerja. Pembuangan dengan sistem ini biasanya mahal, disebabkan oleh biaya pembuatan saluran horizontal tersebut dan shaft.

2.5 Faktor –Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran

Faktor- faktor yang harus dipertimbangkan dalam mengkaji suatu sistem penyaliran adalah sebagai berikut :

a. Curah Hujan

Hujan merupakan air yang jatuh ke permukaan bumi dan merupakan uap air di atmosfer yang terkondensasi dan jatuh dalam bentuk tetesan air. Sistem penyaliran tambang dewasa ini lebih ditujukan pada penanganan air permukaan, ini karena air yang masuk ke dalam lokasi tambang sebagian besar adalah air hujan

Curah Hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada satu satuan luas, dinyatakan dalam satuan millimeter (Budiarto, 1997 : 19). 1 mm berarti pada luasan 1 m² jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 Liter. Sumber utama air permukaan pada suatu tambang terbuka adalah air hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor penting dalam suatu sistem penyaliran, karena besar kecilnya curah hujan akan mempengaruhi besar kecilnya air tambang yang harus diatasi. Besar curah hujan dapat dinyatakan sebagai volume air hujan yang jatuh pada suatu areal tertentu, oleh karena itu besarnya curah hujan dapat dinyatakan dalam meter kubik per satuan luas, secara umum dinyatakan dalam tinggi air (mm). Pengamatan curah hujan dilakukan oleh alat penakar curah hujan.

Berdasarkan Standard World Meteorological Organization, jarak meletakkan alat penakar hujan adalah sebagai persamaan berikut :

Keterangan :

$$D > 4H$$

H = Tinggi pohon/ bangunan (m)

D = Jarak dengan alat penakar hujan (m)

(Budiarto, 1997 : 21)

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm.

b. Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

Catchment area adalah suatu daerah tangkapan hujan yang dibatasi oleh wilayah tangkapan hujan yang ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya merupakan suatu poligon tertutup dengan pola yang sesuai dengan topografi dan mengikuti kecenderungan arah gerak air. Dengan pembuatan *catchment area* maka diperkirakan setiap debit hujan yang tertangkap akan terkonsentrasi pada elevasi terendah. Pembatasan *catchment area* dilakukan pada peta topografi, dan untuk merencanakan sistem

penyalirannya dianjurkan menggunakan peta rencana penambangan dan peta situasi tutupan tambang.

c. Air Limpasan (*Run Off*)

Air limpasan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau atau laut. Aliran itu terjadi karena curah hujan yang mencapai permukaan bumi tidak dapat terinfiltrasi, baik yang disebabkan karena intensitas curah hujan atau faktor lain misalnya kelerengan, bentuk dan kekompakan permukaan tanah serta vegetasi.

Penentuan besar debit air limpasan maksimum ditentukan dengan metode “Rasional”. Metode ini hanya berlaku untuk menghitung debit limpasan curah hujan yang dinyatakan dengan rumus :

$$Q = 0,00278. C. I. A$$

(Sumber : Suyono, 2012 : V-10)

Dimana :

Q = debit air limpasan maksimum (m³/detik)

C = koefisien limpasan(Tabel 2.1)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan hujan (ha)

Pengaruh rumus ini, mengasumsikan bahwa hujan merata diseluruh daerah tangkapan hujan, dengan lama waktu (durasi) sama dengan waktu konsentrasi (t_c).

Tabel 2.1 Harga Koefisien Limpasan

Kemiringan	Kegunaan Lahan	Koefisien Limpasan
< 3% Datar	- Sawah, rawa-rawa	0,2
	- Hutan, perkebunan	0,3
	- Perumahan	0,4
3% - 5% Sedang	- Hutan, perkebunan	0,4
	- Perumahan	0,5
	- Semak-semak agak jarang	0,6
	- Lahan terbuka, daerah timbunan	0,7
15% Curam	- Hutan	0,6
	- Perumahan	0,7
	- Semak-semak agak jarang	0,8
	- Lahan terbuka, daerah tambang	0,9

(Sumber : Rudy Sayoga, 1993 dalam Suwandhi, 2004 : 10)

d. Jenis dan Sifat Fisik Air Tanah

Semua jenis tanah terdiri dari butiran – butiran dan ruang antar butir yang disebut pori-pori. Sebagian besar pori-pori ini satu dengan yang lainnya saling berhubungan sehingga dapat dilalui oleh air. Peristiwa lengketnya air diantara ruang antar butir atau pori-pori ini

disebut rembesan. Sedangkan daya atau kemampuan tanah atau butiran untuk dilalui air disebut permeabilitas. Permeabilitas untuk setiap jenis tanah berbeda satu dengan yang lainnya. Disuatu tambang terbuka permeabilitas tersebut penting sekali diketahui untuk memperkirakan jumlah air yang akan masuk kedalam tambang tersebut.

e. Air Tanah

Untuk menghitung debit dari air tanah dapat menggunakan cara perhitungan fluida ($Q = V : t$), perhitungan menggunakan wadah dengan volume terukur dan *stopwatch*. Wadah ditempatkan di aliran air tanah lalu hitung waktu tempuh air tanah dalam memenuhi volume wadah, misalkan wadah berukuran 300 ml maka butuh berapa detik air tanah dapat memenuhi wadah tersebut. Setelah itu debit air tanah dapat di hitung dengan rumus :

$$Q = V : t$$

Keterangan :

Q = Debit air tanah (m^3 / detik)

V = Volume wadah air (m^3)

t = Waktu tempuh / alir (detik)

2.6 Analisis Data Curah Hujan

Dalam perencanaan sistem penyaliran untuk air permukaan pada suatu tambang, diperlukan suatu perkiraan hujan, yaitu curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu yang ditetapkan sebagai acuan dalam perancangan.

Untuk menentukan prakiraan curah hujan rencana, perlu dilakukan analisis frekuensi dari data curah hujan yang tersedia. Makin lama selang waktu pengukuran akan semakin akurat pula hasil analisis frekuensi. Data curah hujan yang akan dianalisis adalah besarnya curah hujan harian maksimum. Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan data curah hujan yang siap pakai untuk suatu perencanaan sistem penyaliran.

1. Analisis Frekuensi dan Distribusi Probalitas

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kata ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. (Suripin, 2003 : 32).

Dalam analisis frekuensi suatu kejadian (hujan atau debit) diperlukan seri data (hujan atau debit) selama beberapa tahun. Pengambilan seri data untuk tujuan analisis frekuensi dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu :

a. Seri Parsial (*Partical Duratioan Series*)

Metode ini digunakan apabila data yang tersedia kurang dari 10 tahun runtut waktu. Dalam metode ini, ditetapkan dulu batas bawah seri data. Kemudian semua besaran data yang

lebih besar dari batas bawah menjadi bagian seri data. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat. Caranya adalah mengambil semua besaran data yang lebih besar kemudian diurut dari besar ke kecil. Akibat dari metode pengambilan seri data parsial adalah dimungkinkannya dalam satu tahun diambil data lebih dari satu.

b. Data Maksimum Tahunan (*Annual Maximum Series*)

Metode ini digunakan apabila data yang tersedia lebih dari 10 tahun runtut waktu. Dalam metode ini, hanya data maksimum yang diambil untuk tiap tahunnya atau hanya ada satu data setiap tahun.

(I Made K, 2012 : 15-16)

2. Curah Hujan Rencana

Dalam perencanaan sistem penyaliran untuk air permukaan pada suatu tambang, hujan rencana merupakan kriteria utama karena berguna dalam menentukan debit air yang masuk ke *pit* penambangan (Suyono, 2012 : V-3)

Hujan rencana adalah hujan maksimum yang mungkin terjadi selama umur dari sarana penirisan tersebut. Periode ulang hujan adalah hujan maksimum yang diharapkan terjadi pada setiap n tahun.

Dalam analisis frekuensi data curah hujan guna memperoleh nilai hujan rencana dikenal dengan beberapa distribusi probabilitas yang sering digunakan yaitu gumbel, normal, log normal dan log pearson III.

Penentuan jenis distribusi probabilitas yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat masing-masing jenis distribusi seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter Statistik Untuk Menentukan Jenis Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s \leq 1,14$ $C_k \leq 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008 dalam I Made K, 2012 :27)

Keterangan Tabel 2.2 adalah sebagai berikut (I Made K, 2012 : 27-35):

Dari data di atas didapat perhitungan parameter statistik sebagai berikut:

1. Mean / nilai tengah

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2. Simpangan Baku / Standard Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

3. Koefisien Variansi / Variation Coefficient)

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}}$$

4. Asimetri / Kemencengan / Skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1).(n-2).S^3}$$

5. Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1).(n-2).(n-3).S^4}$$

a. Distribusi Probabilitas Normal

$$X_T = x + K_T.S$$

Keterangan :

X_T = Perkiraan harga untuk periode ulang T

$$x = \text{Rata-rata variasi} = \frac{X}{n}$$

K_T = Faktor frekuensi untuk periode ulang bergantung

nilai T (Lampiran B variable reduksi Gauss)

S = Standar deviasi dari X

$$= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

n = Jumlah data pengamatan

b. Distribusi Probabilitas Log Normal

$$\text{Log } X_T = \text{Log } x + K_T \cdot S \text{Log } x$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$ = Nilai Logaritma hujan rencanadengan periode ulang tertentu (mm)

$$\text{Log } x = \frac{\sum \log \bar{X}}{n}$$

n = Jumlah data

K_T = Variabel standart, besarnya dari T

$S \text{Log } x$ = Standar deviasi dari log x

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X - \log x)^2}{n-1}}$$

c. Distribusi Probabilitas Gumbel

$$X_T = x + k \times s$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu (mm)

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

k = Faktor frekuensi Gumbel

s = Standar deviasi dari data hujan (X)

d. Distribusi Probabilitas Log Pearson III

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{x} + K_T \cdot S \text{Log } x$$

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log } X - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang tertentu (mm)

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X}{n}$$

N = Jumlah data

K_T = Variabel standart, besarnya bergantung koefisien kepercengan (cs atau G)

$S \text{Log } x$ = Standar deviasi dari log x

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{log } X - \text{log } \bar{x})^2}{n-1}}$$

3. Periode Ulang Hujan

Periode ulang adalah waktu hipotetik dimana suatu kejadian dengan nilai tertentu, hujan rencana misalnya akan disamai atau dilampaui 1 kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut.

Menurut Kite G.W (1997), acuan untuk menentukan PUH dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Periode Ulang Hujan Untuk Sarana Penyaliran Pada Daerah Tambang

Keterangan	Periode Ulang Hujan (tahun)
Daerah terbuka	0,5
Sarana tambang	2-5
Lereng tambang & Penimbunan	5-10
Sumuran Utama	10-15
Penyaliran keliling Tambang	25
Pemindahan aliran sungai	100

(Sumber : Kamiana I Made “ Buku ajaran drainase, 2014)

Dari tabel diketahui bahwa Periode Ulang Hujan untuk beberapa daerah adalah berbeda satu dengan yang lainnya.

4. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh dalam area tertentu dalam jangka waktu yang relatif sangat singkat dinyatakan dalam mm / detik, mm/ menit atau mm/jam.

Seandainya curah hujan harian di daerah penelitian diketahui tidak terdistribusi merata setiap tahun, maka menurut Mononobe (1992), Intensitas curah hujan dapat dihitung dengan rumus perkiraan intensitas curah hujan untuk waktu lama waktu hujan sembarangan yang dihitung dari data curah hujan harian yaitu :

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

(Sumber : Suripin, 2003 : 68)

Keterangan :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lama Waktu Hujan (jam)

R₂₄ = Curah Hujan harian maksimum (mm)

Tabel 2.4 Hubungan Antara Derajat Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan

Derajat Hujan	Intensitas Hujan (mm/menit)	Kondisi
Hujan lemah	0,02-0,05	Tanah basah semua
Hujan normal	0,05-0,25	Bunyi hujan terdengar
Hujan deras	0,25-1,00	Air tergenang diseluruh

		permukaan dan terdengar bunyi dari genangan
Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan dan saluran pengairan meluap

(Sumber : Sayoga, 1993 dalam Suwandhi, 2004 : 10)

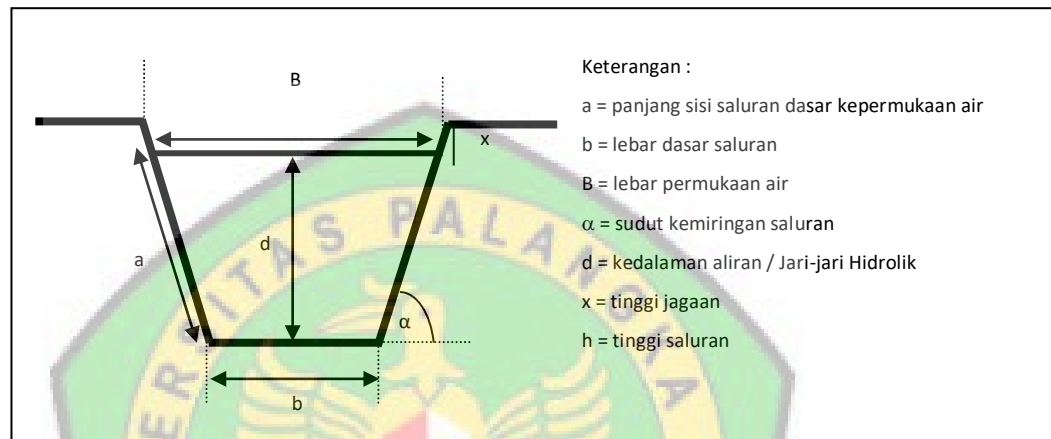
2.7 Sistem Penyaliran

a. Saluran Penyaliran

Saluran penyaliran berfungsi untuk menampung dan mengalirkan air ke tempat pengumpulan (kolam penampungan atau saluran) atau tempat lain. Bentuk penampang saluran, umumnya dipilih berdasarkan debit air, tipe material serta kemudahan dalam pembuatannya (lihat Gambar 2.11). Dalam merancang bentuk saluran penyaliran, beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain, dapat mengalirkan debit air yang direncanakan dan mudah dalam penggalian saluran serta tidak lepas dari penyesuaian dengan bentuk topografi dan jenis tanah. Bentuk dan dimensi saluran juga harus memperhitungkan efektivitas dan ekonomisnya.

Dalam merancang bentuk saluran air, saluran air terbentuk harus dapat memenuhi hal-hal sebagai berikut :

- Dapat mengalirkan debit air yang direncanakan
- Kecepatan air sedemikian sehingga tidak terjadi pengendapan
- Kecepatan air sedemikian sehingga tidak merusak saluran
- Mudah dalam menggali saluran



Gambar 2.7. Penampang Saluran Bentuk Trapesium

Keuntungan dari bentuk penampang trapesium :

- Dapat mengalirkan debit air yang besar
- Tahan terhadap erosi
- Tidak terjadi pengendapan di dasar saluran
- Mudah dalam pembuatan

2.8 Sumuran (*Sump*)

Sumuran berfungsi sebagai tempat penampungan air sebelum dipompa keluar tambang. Dengan demikian dimensi sumuran ini sangat tergantung dari jumlah air yang masuk serta keluar dari sumuran. Jumlah air yang masuk kedalam sumuran merupakan jumlah air yang dialirkan oleh saluran-saluran,

jumlah limpasan permukaan yang langsung mengalir kesumuran serta curah hujan yang langsung jatuh kesumuran, sedangkan jumlah air yang keluar dapat dianggap sebagai yang berhasil dipompa, karena penguapan dianggap tidak terlalu berarti.

Dimensi sumuran tambang tergantung pada kuantitas (debit) air limpasan, kapasitas pompa, waktu pemompaan, kondisi lapangan seperti kondisi penggalian terutama pada lantai tambang (*floor*) dan lapisan batubara serta jenis tanah atau batuan di bukaan tambang. Volume sumuran ditentukan dengan menggabungkan grafik intensitas hujan yang dihitung dengan teori Mononobe versus waktu, dan grafik debit pemompaan versus waktu.

2.9 Pipa dan Pompa

2.9.1 Pipa

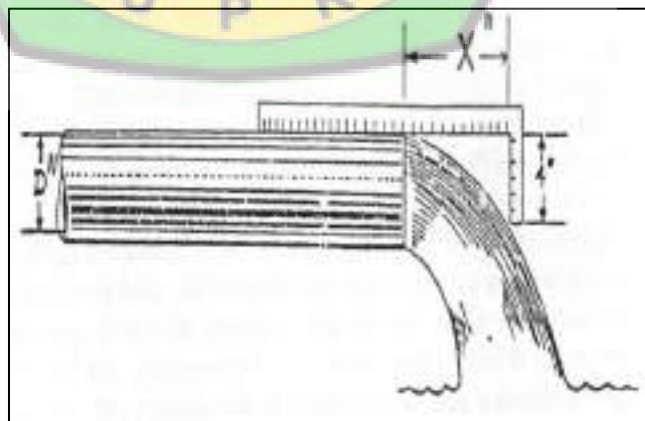
Pipa merupakan rangkaian instalasi pompa yang berfungsi untuk mengalirkan air atau lumpur hasil pemompaan untuk dialirkan ke kolam pengendap atau ke luar tambang. Pipa untuk keperluan pemompaan ditambang biasanya terbuat dari baja, dapat juga menggunakan bahan PVC untuk tambang yang tidak dalam. Pada dasarnya bahan apapun yang digunakan harus memperhatikan kemampuan pipa untuk menahan tekanan cairan di dalamnya.

Kehilangan energi aliran yang melalui pipa perlu dihitung untuk mendapatkan tinggi angkat yang diperlukan pemompaan. Kehilangan energi ini menyebabkan turunnya tekanan dalam pipa.

2.9.2 Pompa

Debit pompa dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi maupun dengan pengukuran aktual debit pompa yang ada. Debit berdasarkan spesifikasi pompa dapat diketahui berdasarkan pompa yang telah ada, berdasarkan kecepatan pompa, efisiensi dan head pompa yang dikehendaki, lalu kemudian faktor-faktor tersebut dihubungkan dalam grafik spesifikasi pompa.

Perkiraan debit pemompaan aktual dapat dilakukan dengan menggunakan Metode Discharge. Langkah kerja metode ini yaitu dengan membuat alat ukur berbentuk “L” seperti terlihat pada Gambar 2.8. Sisi yang pendek berukuran 4 inchi dan sisi yang lebih panjang merupakan panjang air yang keluar dari pipa (X) dinyatakan dalam satuan inchi.

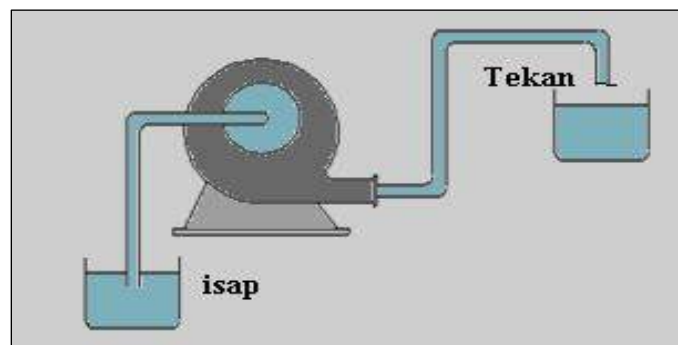


Sumber : Cassidy, Elements of Practical Coal Mining, 1973
Gambar 2.8. Pengukuran Debit Pompa dengan Metode *Discharge*

Debit pompa diukur dengan meletakkan sisi L yang panjang pada bagian atas pipa ketika air mengalir keluar dari pipa. Lalu pastikan sisi yang pendek menyentuh aliran air. Kemudian catat panjang X.

Head Pompa adalah energi yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang telah direncanakan. Terdiri dari head tekanan, head kecepatan dan head potensial yang merupakan energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat (1 kgf) zat cair yang mengalir dan dinyatakan dalam satuan panjang (tinggi).

Menurut Sularso (1983), *head* pompa adalah energi per-satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair (air) yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair (air), yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. *Head*total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.



Gambar 2.9 Ilustrasi pipa isap dan pipa tekan, Sulastro (1983)

Menurut Lubis (2010), penentuan *head total* (H_t) sangat dipengaruhi oleh desain pemasangan pompa dan sistem pemipaan. Untuk menghitung *head total* (H_t), maka beberapa langkah yang harus dilakukan adalah:

- a Menentukan nilai *Head* statis (H_s) dihitung dengan selisih ketinggian antara pipa isap dan pipa tekan, sebagai berikut:

$$H_s = H_2 - H_1$$

Keterangan:

H_s = *Head* statis (m).

H_2 = Elevasi pipa tekan (m).

H_1 = Elevasi pipa isap (m).

- b Menentukan nilai H_f atau menentukan beberapa kerugian (H_f) yang terjadi di dalam pipa pada pipa isap dan pipa tekan. Rumus ini umumnya digunakan untuk menghitung *head* gesekan pada pipa, dapat menggunakan persamaan Hazen-Williams dan nilai koefisien kekasaran pipa dapat dilihat pada (Tabel 2.4), sebagai berikut:

$$H_f = \frac{10,666 Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

Keterangan:

H_f = Julang kerugian (m). Q = laju aliran (m^3/s).

D = diameter pompa (m). L = panjang pipa (m).

C = koefisien kekasaran pipa.

Tabel 2.5 Koefisien Kekasaran Pipa

Jenis pipa	C
Pipa plastic	140
Pipa baja atau besi tuang baru	130
Pipa kayu atau beton biasa	120
Pipa baja berkeling baru, pipa gerabah	110
Pipa besi tuang lama, pipa bata	100
Pipa baja berkeling lama	95
Pipa besi tua berkarat	80
Pipa besi atau baja sangat berkarat	60

Sumber : Sulastro (1983)

- c Menentukan nilai Hfs dan kerugian aksesorisnya

Rumus ini umumnya digunakan untuk menghitung *head* gesekan pada aksesoris pipa, dengan cara menggunakan persamaan Hazen-Wiliams dan nilai koefisien kekasaran katup, serta kecepatan aliran pada aksesoris pipa dapat dilihat pada (tabel 2.4), berikut adalah rumus untuk menghitung *head* gesekan :

- Menghitung kecepatan aliran

$$v = \frac{Q}{A}$$

- Menentukan kekasaran pada aksesoris pipa

$$H_{fs} = \frac{v^2}{2g} \times f$$

Keterangan

Hfs = julang kerugian pada aksesoris (m).

Q = debit pompa (m³/detik).

V = kecepatan (m).

A = penampang pipa.

g = gravitasi.

f = koefisien kekasaran aksesoris

Tabel 2.6 Koefisien Kerugian dari Berbagai Katup

JENIS KATUP	DIAMETER (mm)											
	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
Katup sorong	0,14	0,12										
Katup kupu- kupu	0,6 – 0,16 (bervariasi menurut konstruksi dan diameter)											
Katup putar	0,09- 0,026 (bervariasi menurut diameter)											
Katup cegah jenis ayun			1,2	1,15	1,1	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88
Katup cegah tutup cepat jenis tekanan			1,2	1,15	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Katup cegah jenis angkatbebas	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 kepak	0,5											
Katup Isap saringan	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72							
Katup pintu			0,4									
Reducer			0,03									

Sumber : Sulasro dan Tahara (1991)

d Menghitung *head loss velocity* (Hv)

Penentuan nilai *head loss velocity* atau kecepatan aliran fluida (Hv) dapat dihitung dengan hukum Bernoulli (tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat), sebagai berikut:

$$H_v = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Keterangan:

H_v = *head loss velocity* (m).

v = kecepatan (m/s).

g = gravitasi 9,8 (m/s).

e menghitung *head* kerugian lainnya (HI)

Perhitungan penjumlahan kerugian pada pipa yang dilakukan secara kualitatif melalui estimasi terhadap kerugian lain pada pompa akibat lengkungan, asfluter, elbow dan lain-lain, sebagai berikut :

$$HI = \text{Head friction pipa (HF)} + \text{Head friction aksesoris (HF's)}$$

f Mengetahui total *head* (Ht)

Dalam pemompaan dikenal istilah julang (*head*), yaitu energi yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah air pada *sump* ke kolam pengendapan (*settling pond*). Semakin besar debit air pada *sump* dipompa, maka *head* juga akan semakin besar. *Head* total pompa untuk mengalirkan sejumlah air pada *sump* seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa tersebut, sehingga penentuan nilai *head total* dapat dihitung, sebagai berikut:

$$H_t = H_s + H_v + H_I$$

Keterangan:

H_s = *Head* statis (m).

H_v = *Head loss velocity* (m).

H_I = kerugian gesek lainnya (m).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Profil dan Sejarah Perusahaan

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim mengawali kegiatan eksplorasi pada tahun 1915 sampai tahun 1918 dan mulai memproduksi pada tahun 1919 dengan menggunakan metode penambangan terbuka (*open pit*) di wilayah operasi pertama, yaitu di TAL (Tambang Air Laya).

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. adalah Badan Usaha Milik Negara yang didirikan pada tanggal 2 Maret 1981 berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 1980 dengan Kantor Pusat di Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

Pengelolaan tambang batubara di Tanjung Enim telah mengalami beberapa kali perubahan pengurus, lembaga-lembaga yang mengurus adalah:

1. Tahun 1919 -1942 oleh Pemerintah Hindia Belanda.
2. Tahun 1942 - 1945 oleh Pemerintah Militer Jepang.
3. Tahun 1945 - 1947 oleh Pemerintah Republik Indonesia.
4. Tahun 1947 - 1949 oleh Pemerintah Belanda (Agresi II).
5. Tahun 1949 - sekarang oleh Pemerintah Republik Indonesia.
6. Tahun 1959 - 1960 oleh Biro Urusan Perusahaan Tambang Negara (BUPTAN).

7. Tahun 196 - 1967 oleh Badan Pimpinan Umum (BPU) Perusahaan Tambang Batubara.
8. Tahun 1968 - 1980 oleh PN. Tambang Batubara.
9. Tahun 1981 – 26 November 2018 oleh PT.Bukit Asam (Persero).
10. 27 November 2018 – sekarang karena PTBA melakukan *holding* dengan PT. Antam, PT. Timah, PT. Inalum sehingga berganti nama menjadi PT. Bukit Asam, Tbk.

Tahun 1981- sekarang oleh PT. Bukit Asam (Persero)Tbk. Tanjung Enim dalam Repelita III Pemerintah Indonesia membuat Proyek Pengembangan Pertambangan dan Pengangkutan Batubara, yang meliputi kegiatan:

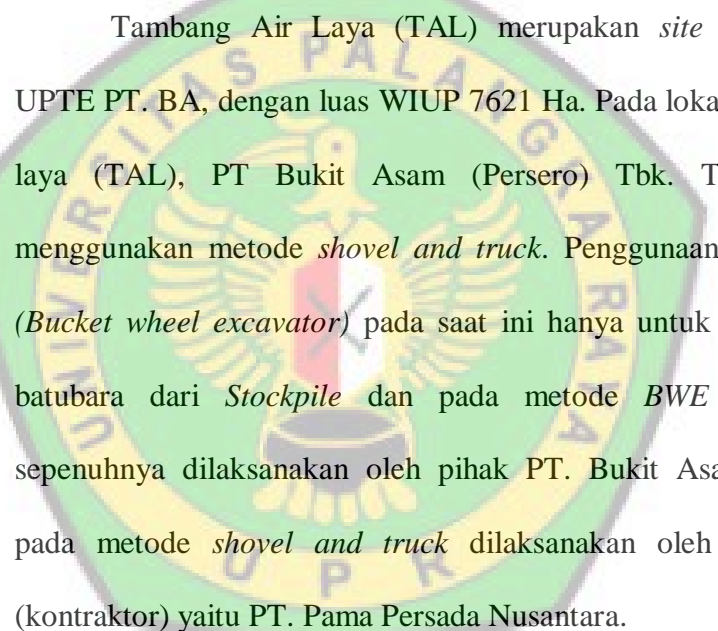
1. Pengembangan Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA).
2. Pengembangan Pelabuhan Batubara (PTBA).
3. Pengembangan Angkutan Darat (Perumka).
4. Pengembangan Angkutan Laut (PT. PANN / PT. Pelayaran Bahtera Adhiguna).

Maka sesuai dengan program pengembangan ketahanan energi nasional, pada 1993 Pemerintah menugaskan Perseroan untuk mengembangkan usaha briket batubara, dan pada desember 2002, Perseroan mencatatkan diri sebagai perusahaan public di Bursa Efek Indonesia dengan kode “PTBA”

Tujuan proyek ini terutama untuk memasok kebutuhan batubara bagi PLTU Suralaya Jawa Barat. Selain itu juga untuk memenuhi industri lainnya baik di dalam negeri maupun luar negeri.

Dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut, maka dikembangkan beberapa *site* di wilayah IUP PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim, antara lain :

1. Tambang Air Laya (TAL)



Tambang Air Laya (TAL) merupakan *site* terbesar pada UPT PT. BA, dengan luas WIUP 7621 Ha. Pada lokasi tambang air laya (TAL), PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim menggunakan metode *shovel and truck*. Penggunaan *BWE System* (*Bucket wheel excavator*) pada saat ini hanya untuk pengangkutan batubara dari *Stockpile* dan pada metode *BWE system* ini sepenuhnya dilaksanakan oleh pihak PT. Bukit Asam sedangkan pada metode *shovel and truck* dilaksanakan oleh pihak ketiga (kontraktor) yaitu PT. Pama Persada Nusantara.

Metode *continuous mining* menggunakan *BWE system* ini merupakan metode andalan PT. Bukit Asam karena yang memiliki alat ini di Indonesia hanyalah PT.BA yang di beli dari Jerman. Semua hasil penggalian batubara dari TAL dan MTB akan di tampung di *stockpile* dan kemudian dikirim ke TLS (*Train Loading Station*) 1 dan TLS (*Train Loading Station*) 2. Melalui TLS ini kemudian batubara di muat ke gerbong untuk kemudian di pasarkan

melalui pelabuhan Tarahan (Lampung) dan dermaga Kertapati (Palembang) menggunakan kereta api dengan rangkaian 50 gerbong ke Tarahan dan 35 gerbong ke Kertapati. Tetapi pada saat ini *BWE system* pada lokasi Tambang Air Laya hanya berfungsi sebagai *reclaimer* saja.

2. Muara Tiga Besar (MTB)

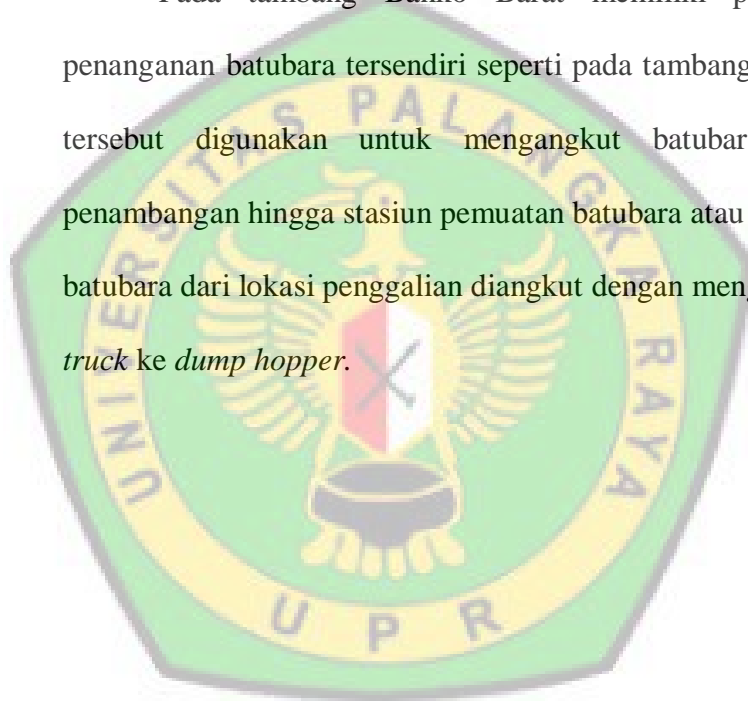
MTB memiliki luas area 3300 Ha. Pada tambang ini, operasi penambangan dilakukan dengan menggunakan metode *shovel-truck* dan *BWE system* untuk mengangkut batubara dari *Stockpile*. Pada Muara Tiga Besar dibagi menjadi dua yaitu Muara Tiga Besar Utara dan Muara Tiga Besar Selatan, dimana pada Muara Tiga Besar Utara penambangan dikerjakan oleh PT. Bukit Asam menggunakan peralatan *BWE system* dan pada Muara Tiga Besar Selatan dikelola oleh PT. Pama Persada Nusantara yang diawasi oleh PT. Bukit Asam.

3. Banko Barat

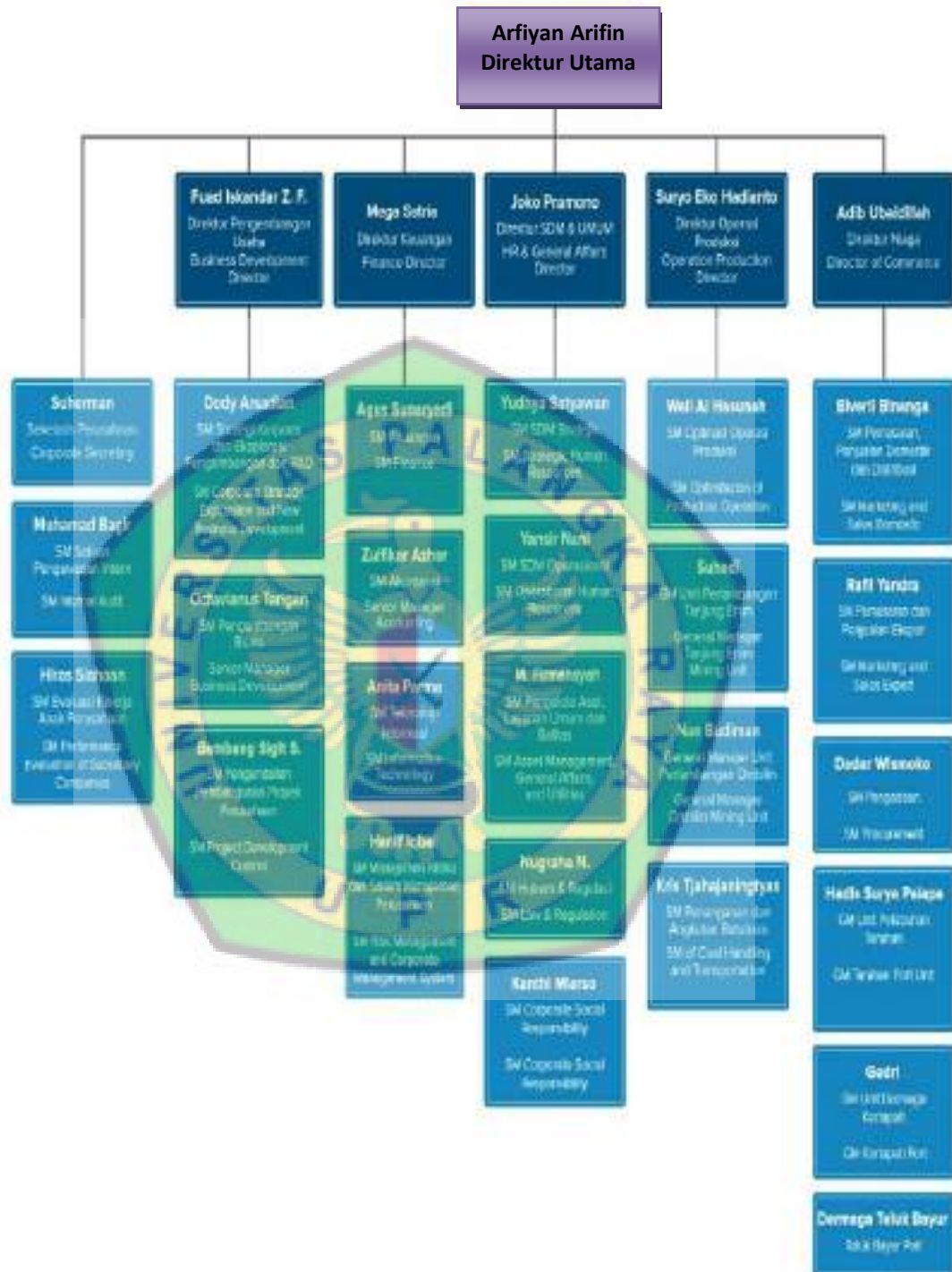
Tambang Banko Barat memiliki Luas WIUP 4500 Ha. Tambang Banko Barat saat ini terdiri atas tiga lokasi penambangan, yaitu Pit-1, Pit 2 dan Pit-3 dimana penambangan pada Pit-3 barat dan Pit-1 baik pada bagian barat maupun bagian timur dikelola sendiri (swakelola) dengan menggunakan jasa PT. Bangun Karya Pratama Lestari (PT. BKPL) dalam hal peminjaman alat berat dengan sistem sewa per jam. Sedangkan pada Pit-3 timur pekerjaan penambangan

batubara dilakukan dengan menggunakan jasa kontraktor PT. Satria Bahana Sarana dengan sistem *contract mining* yang diawasi oleh PT. Bukit Asam. Proses penambangan yang dilakukan menggunakan metode kombinasi antara *shovel and truck*. Nilai kalori batubara yang terdapat di Banko Barat berkisar antara 5.900-6.300 kkal/kg (adb).

Pada tambang Banko Barat memiliki peralatan untuk penanganan batubara tersendiri seperti pada tambang MTB, fasilitas tersebut digunakan untuk mengangkut batubara dari lokasi penambangan hingga stasiun pemuatan batubara atau TLS 3. Adapun batubara dari lokasi penggalian diangkut dengan menggunakan *dump truck* ke *dump hopper*.



3.2 Struktur Organisasi Perusahaan



Gambar 3.1 Struktur Organisasi Di PT. Bukit Asam Tbk

3.3 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Lokasi pertambangan PT. Bukit Asam Tbk berada di wilayah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dengan jarak ± 186 km Barat Daya dari pusat kota Palembang. Wilayah IUP PT. Bukit Asam Tbk secara astronomis terletak pada posisi $103^{\circ} 45' 00''$ BT - $103^{\circ} 50' 10''$ BT dan $3^{\circ} 42' 30''$ LS - $3^{\circ} 47' 30''$ LS. Lokasi dapat ditempuh dari kota Palangka Raya dengan cara :

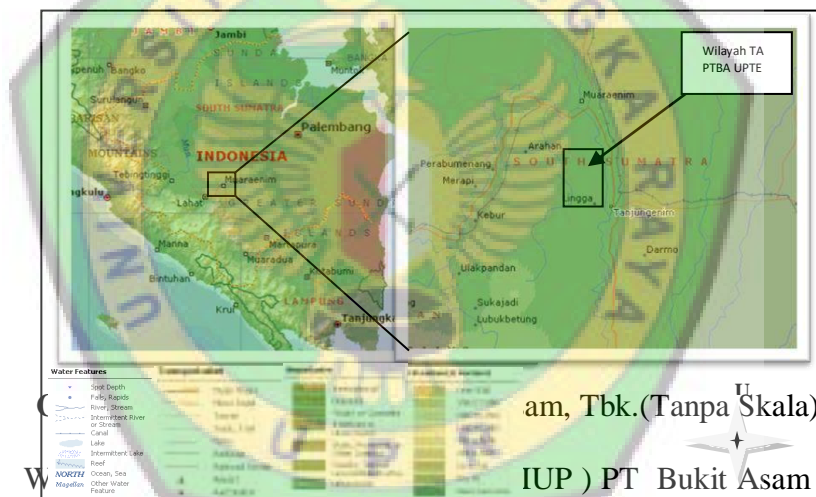
- a. Palangka Raya – Jakarta, dengan menggunakan pesawat, dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih 1 jam 40 menit perjalanan.
- b. Jakarta – Palembang, dengan menggunakan pesawat, dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih 1 jam 10 menit perjalanan.
- c. Palembang – Tanjung Enim, dengan menggunakan kendaraan roda 4 (empat), dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih 6 jam perjalanan.
- d. Menuju lokasi penelitian di Bangko dapat menggunakan sarana transportasi perusahaan berupa kendaraan roda empat atau bus karyawan dengan waktu tempuh ± 25 menit.

3.4 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Lokasi Penambangan PT Bukit Asam (persero), Tbk terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan dengan jarak kurang lebih 186 km Barat Daya dari pusat kota Palembang.

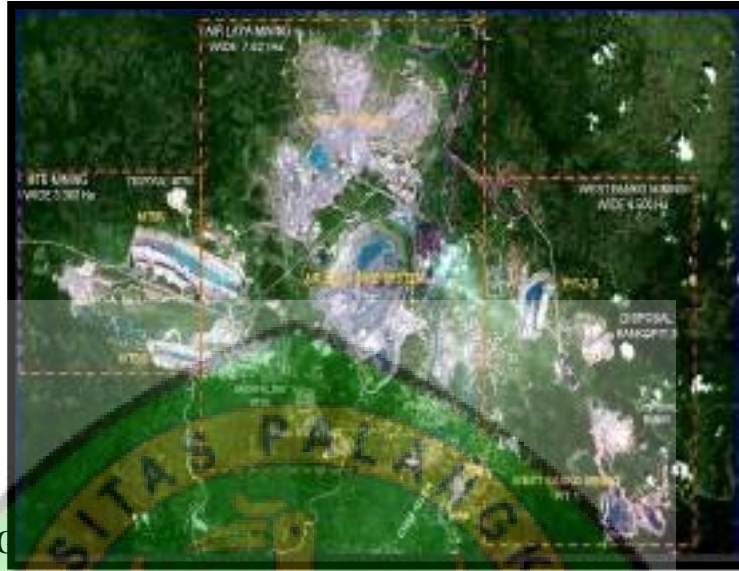
Daerah operasional penambangan Bangko Barat adalah salah satu wilayah operasional PT Bukit Asam, yaitu sekitar 7 km dari Tanjung Enim ke arah timur. Secara administratif daerah Bangko Barat termasuk daerah lokasi kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan.

Pada umumnya kondisi topografi di daerah Banko Barat umumnya bergelombang dengan ketinggian 60 m sampai 110 m diatas permukaan air laut, terdiri atas sungai, hutan, lembah dan beberapa areal pertanian, perkebunan karet dan daerah perumahan penduduk.



Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan dengan ketercapaian jarak kurang lebih 186 km Barat Daya dari pusat kota Palembang. Wilayah IUP PT Bukit Asam terletak pada posisi $103^{\circ}45' BT - 103^{\circ}50' BT$ dan $3^{\circ}42'30'' LS - 4^{\circ}47'$. Aliran sungai Muara Enim melalui daerah penambangan yang berbukit dan landai. Dasar sungai mempunyai elevasi terendah kurang lebih 40 m dari permukaan air

laut dan elevasi tertinggi berada pada puncak Bukit Asam dengan elevasi kurang lebih 282 m diatas permukaan air laut.



3.5 Kondisi C

3.5.1 Fisiografi

Daerah penyelidikan termasuk dalam Cekungan Sumatera Selatan, yang dipengaruhi oleh system penunjaman lempeng yang terdapat di sebelah barat Pulau Sumatera, yaitu antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng India-Australia.

Berdasarkan konsep tektonik lempeng, kedudukan cekungan batubara tertier di Indonesia bagian barat berkaitan dengan system busur kepulauan. Dalam system ini dikenal adanya cekungan busur belakang, cekungan busur depan, dan cekungan intramontana atau cekungan antar busur.

Masing - masing cekungan tersebut memiliki karakteristik endapan batubara antara satu dengan yang lainnya. Sedangkan menurut Koesoemadinata dkk (1978), semua cekungan batubara tertier di Indonesia digolongkan cekungan paparan karena berhubungan dengan kerak benua pada semua sisinya.

Pada peta geologi regional terdapat bahwa Bagian Utara lebih rendah dari pada bagian Selatan dimana air sungai mengalir dari selatan ke utara

3.5.2 Stratigrafi

Geologi regional daerah PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. (Gambar 2.4) termasuk ke dalam Sub Cekungan Palembang yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan dan terbentuk pada zaman *tersier*. Sub Cekungan Sumatera Selatan yang diendapkan selama zaman *kenozoikum* terdapat urutan litologi yang terdiri dalam 2 (dua) kelompok, yaitu Kelompok Telisa dan Kelompok Palembang. Kelompok Telisa terdiri dari Formasi Lahat, Formasi Talang Akar, Formasi Batu Raja dan Formasi Gumai. Kelompok Palembang terdiri dari Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim dan Formasi Kasai.

Endapan Tersier pada Cekungan Sumatera Selatan dari yang tua sampai dengan yang muda dapat dipisahkan menjadi beberapa formasi, yaitu antara lain:

1. Formasi Gunung Api Muda

Di daerah penelitian penyebaran satuan batuan ini hanya sedikit terdapat di sebelah timur laut bukit merdanau, bagian hulu sungai lengi. Proses pelapukan sangat kuat dan daerah ini menjadi daerah hutan dan semak belukar. litologi terdiri dari breksi dan tufa. Breksi terutama terdiri dari komponen andesit, batu apung, dan massa dasar tufa pasir. Tufa berwarna kelabu, putih kekuningan dengan komposisi terdiri dari mineral gelas, feldspar, hornblende dan sebagainya.

2. Formasi Air Bekanat

Formasi Air Bekanat diendapkan selaras diatas Formasi Gumai yang berumur miosen tengah tersusun oleh batu lempung pasir dan batupasir Glaukonitan. Formasi Air Bekanat diendapkan pada

lingkungan laut neritik dan berangsur menjadi laut dangkal, dengan ketebalan antara 100 – 800 meter.

3. Formasi Muara Enim

Formasi Muara Enim diendapkan selaras diatas formasi bekanat. Formasi ini berumur miosen atas yang tersusun oleh batupasir lempungan dan batubara. Formasi ini merupakan pengendapan lingkungan laut neritik sampai rawa, dengan ketebalan berkisar antara 150 – 750 meter.

4. Formasi Andesit

Batuan ini menerobos batuan formasi muara enim yang mengandung batubara (muara enim *coal formation*), sehingga dapat meningkatkan mutu batubara tersebut. Singkapan nya terdapat di bukit asam dan di bukit malaluteh sebelah barat pulau panggung. Di bukit malaluteh andesit tersebut menerobos batuan formasi kasai. Kenampakan di lapangan berupa bongkah (in-situ) berserakan berukuran 3 - 4m. diduga andesit berwarna kelabu tua , pejal, tekstur porfiritik. Komposisi mineralnya terdiri dari hornblende, pireksin, plagioklas dan mineral gelap lainnya. Batuan terobosan ini berumur plistosen

5. Formasi Kasai

Formasi Kasai diendapkan selaras diatas Formasi Muara Enim. Formasi ini tersusun oleh batubara tuffan yang dicirikan bewarna

putih, batu lempung dan sisipan batubara tipis seperti yang tersingkap di daerah suban. Lingkungan pengendapan formasi ini adalah darat sampai transisi.

3.5.3 Struktur Geologi

A. Lipatan

Secara regional daerah penelitian terletak dalam Cekungan Sumatera Selatan. Posisinya terhadap cekungan terletak di tepi barat bagian selatan yang terendapkan dalam zaman tersier. Lapisannya miring rata – rata ke arah barat sebesar $15^{\circ} - 20^{\circ}$.

B. Sesar

Sesar di daerah ini sukar dikenali, karena pelapukan berlangsung sangat kuat. Tanah penutupnya tebal, dan terdapat kelurusan topografi aliran batuan dan perubahan arah kemiringan lapisan batuan, maka dapat menduga adanya sesar.

3.6 Geologi Daerah Penelitian

Sebagian besar daerah penelitian merupakan daerah yang telah mengalami perubahan morfologi yang disebabkan oleh kegiatan penambangan dan penimbunan sementara material sisa penambangan.

3.6.1 Morfologi Pit 3 Barat Banko Barat

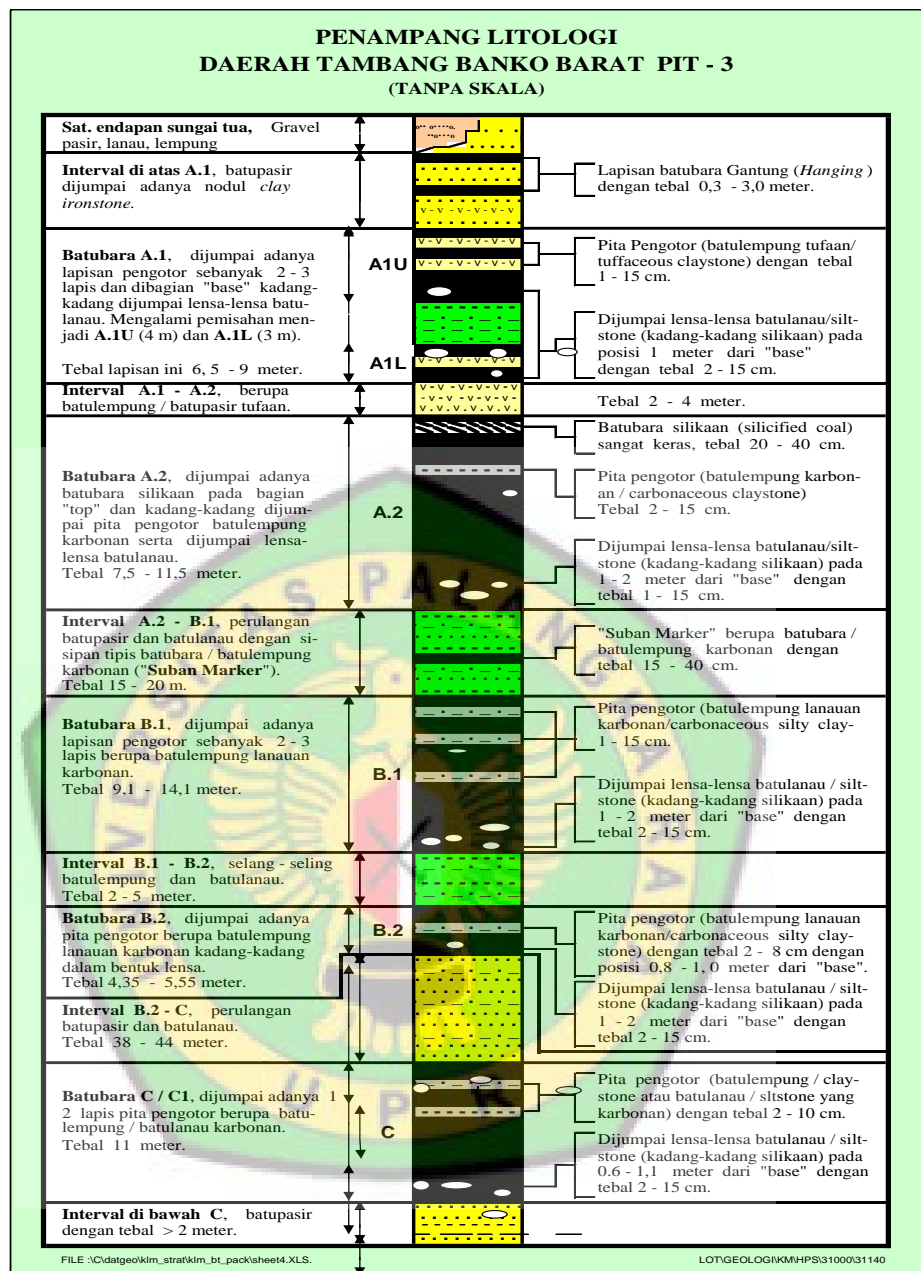
Secara umum daerah tambang PT. Bukit Asam, Tbk mempunyai bentuk permukaan yang bervariasi mulai dari dataran rendah hingga perbukitan. Pada bagian selatan tambang terdapat dataran rendah, yaitu daerah yang terdapat aliran sungai kecil yang bermuara di ungai

enim dan sungai lematan dengan ketinggian kurang lebih 50 m di atas permukaan laut. Sedangkan daerah perbukitan terdapat dibagian barat dengan elevasi tertinggi kurang lebih 282 m diatas permukaan laut jugaerdapat sungai lawai. Pada kedua daerah ini banyak dijumpai vegetasi yang sebagian besar merupakan tumbuhan hutan tropika dan semak belukar.

3.6.2 Litologi

Litologi yang dijumpai di daerah penambangan Banko Barat adalah litologi yang berada di Formasi Muara Enim. Perlapisan di tambang Banko Barat terdiri dari tiga lapisan Batubara, yaitu Manggus , Sugan dan Petai.





(Sumber : Satuan Kerja Eksplorasi dan Geologi PT. Bukit Asam, Tbk)

Gambar 3.4 Penampang Litologi Pit 3 Barat Banko Barat

Adapun penjelasan gambar diatas adalah sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Penutup (*overburden*)

Tanah penutup terdiri dari endapan sungai tua (pasir dan kerikil) batu lempung dan lapisan lanau yang *silicified*, juga terdapat *iron stone nodules* serta lapisan gantung (*hanging seam*). Dapat dijelaskan bahwa

lapisan ini merupakan lapisan yang terdiri dari tanah liat, bentonite, dan campuran lumpur serta batu pasir halus, pada bagian ini dapat dijumpai nodul-nodul clay ironstone yang berbentuk cakram pada gantung batubara dengan ketebalan rata-rata diatas 0.25 m sampai 0.80 m.

2. Lapisan Batubara A1 (Mangus Atas)

Umumnya lapisan batubara ini dapat dicirikan dengan adanya material- material pengotor berupa tiga lapisan tanah liat yang disebut dengan *clayband*, adapun ketebalan dari lapisan batubara A1 adalah 7,3 m.

3. Lapisan Interburden A1 – A2

Lapisan ini dicirikan oleh adanya material Tufaan berwarna putih dan abu-abu. Secara keseluruhan lapisan ini memperlihatkan adanya struktur *graded bedding* dengan batu pasir konglomerat pada bagian dasar, batu lanau, dan batu lempung.

4. Lapisan Batubara A2

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan 4,5 m.

5. Lapisan Interburden A2 – B

Lapisan ini dicirikan dengan batu lempung, serta sisipan batu pasir.

6. Lapisan Batubara B1

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan 12,7 m dan terdapat sisipan batu lempung.

7. Lapisan Interburden B1 – B2

Lapisan ini mengandung batu lempung dan batu lanau yang tipis.

8. Lapisan Batubara B2

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan 4,5 m.

9. Lapisan Interburden B2 – C

Lapisan ini mengandung batu lanau, batu pasir, dan sisipan batu lanau serta terdapat mineral Glaukonitan.

10. Lapisan Batubara C

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan 11,5 m dengan sisipan tipis batu lempung dan dibawahnya terdapat batu lempung dan batu lanau.

3.6.3 Struktur Geologi

Berdasarkan survey lapangan, lapisan batuan yang berada pada daerah penelitian memiliki jurus per lapisannya berorientasi barat laut – tenggara dengan kemiringan lapisan relative ke utara dan selatan dari data tersebut diproyeksikan ke geologi regional sehingga dari data tersebut di dapatkan bahwa di daerah penelitian ada control struktur antiklin.

3.7 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan saat melakukan penelitian ialah :

- Alat : Handphone, Meteran, Laptop, kalkulator, Alat Tulis
- Bahan : Data Curah Hujan, Peta Situasi

3.8 Tata Laksana

3.8.1 Langkah Kerja

Adapun Langkah kerja yang dilakukan dalam dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut :

1. Tahapan Persiapan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan usulan *Time frame* selama melakukan penelitian dengan mempelajari buku-buku literatur dan hasil skripsi penulis terdahulu yang berkaitan dengan system penyaliran pada tambang, kapasitas *sump* dan pengendapan lumpur.

2. Tahap Pengambilan data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini mencakup data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara penelitian langsung dilapangan dan wawancara dengan pembimbing dan karyawan perusahaan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari perusahaan, meliputi pengumpulan keadaan regional geologi daerah penelitian, peta lokasi penelitian, peta geologi lokal, dan lain – lain.

Sumber data sekunder yaitu studi pustaka dan perusahaan..

a. Data Primer

- 1) Pengukuran diameter pipa
- 2) Jumlah dan Jenis Pompa

b. Data Sekunder

- 1) Peta lokasi penambangan PT. Bukit Asam, Tbk
- 2) Data curah hujan daerah Bangko Barat

3) Spesifikasi pompa dan kurva efisiensi pompa

3.8.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam melakukan penelitian skripsi ialah :

1. Metode Observasi (pengamatan)

Metode ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung dilapangan.

2. Metode *Interview* (wawancara)

Metode ini dilakukan dengan cara mencari data melalui penjelasan secara langsung dilapangan dari pihak perusahaan PT.Bukit Asam, Tbk.

3. Metode Pustaka

Dilakukan dengan cara mencari literatur mengenai kegiatan Produksi, baik berupa data yang diberikan pihak perusahaan, materi yang didapat dari kampus.

3.8.3 Metode pengolahan data

Metode pengolahan data yang digunakan dalam melakukan penelitian skripsi ialah :

1. *Metode kuantitatif Deskriptif*

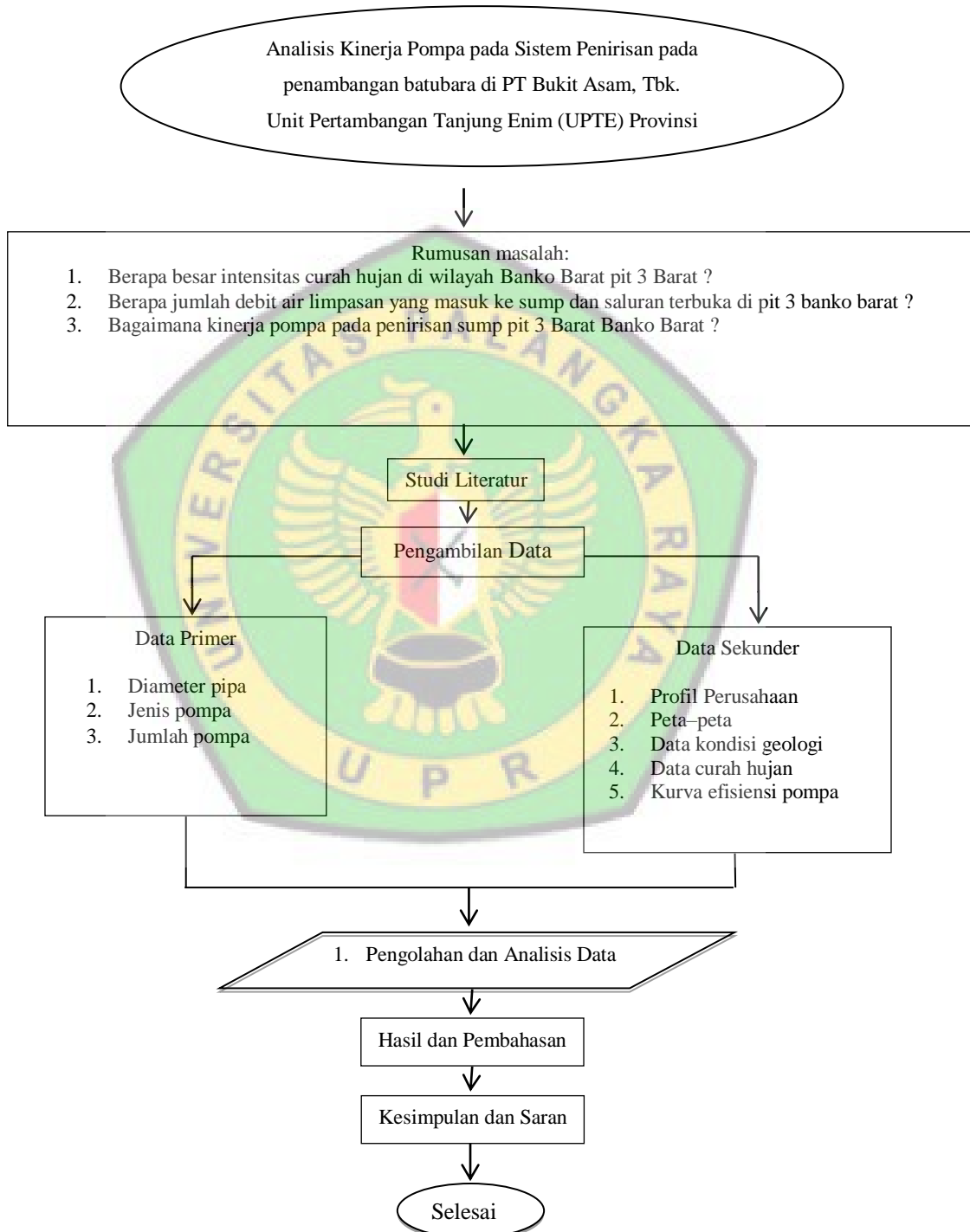
Dimana penulis dalam pengolahan data menggunakan rumus untuk mengetahui debit air limpasan yang masuk ke dalam sump dan menggunakan metode gumbel dalam menganalisis data curah hujan.

2. Metode Statistik Deskriptif

Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode statistik deskriptif. Metode statistik deskriptif merupakan metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna. Beberapa contoh statistik deskriptif yang sering muncul adalah tabel, diagram, grafik. Beberapa data tabel yang digunakan dalam penelitian ini, misalnya : tabel curah hujan, tabel perhitungan curah hujan dan lain-lain. Sedangkan grafik yang digunakan dalam penelitian ini, misalnya : grafik waktu pengeringan sump

3.9 Bagan Alir Penelitian

Secara keseluruhan kegiatan penelitian dapat dijabarkan ke dalam bagan alir pada **Gambar 3.5** sebagai berikut :



Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian Skripsi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Jumlah Debit Air Yang Masuk Ke Sump Pit 3 Barat Banko Barat

A. Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan 10 Tahun yaitu dari Tahun 2009 hingga Tahun 2019 yang diukur menggunakan alat pengukur curah hujan yaitu *Hillman Automatic Rainrecorder*. Curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan maksimum, curah hujan maksimum yang didapatkan sebesar 120,92 mm/tahun. (Lampiran A).

Tabel 4.1 Data Curah Hujan Banko Barat PT Bukit Asam Tahun 2009 – 2018

Bulan	DATA CURAH HUJAN MAKSIMUM HARIAN PT. BUKIT ASAM Tbk 2010 – 2019 (mm/hari)										
	Rata Rata Hujan Harian (mm)										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Januari	46,2	134,5	45	57	84,4	37,1	34,2	68	27,5	65,9	
Februari	35,9	64,3	46,7	71,2	87	82,6	71,5	56,8	97,4	47,2	
Maret	32,9	54,8	58,2	66,3	81	86,5	59,7	147,3	43,9	75,6	
April	73,3	61,5	43,6	32	91,2	62,5	47,8	177,2	85,2	142,6	
Mei	39,8	124,3	47,7	31,7	128,9	50,2	13,3	79	115,8	36,9	
Juni	27,7	37,7	15	33	50,5	78,4	27	73,3	34	26	
Juli	38,7	54,5	12,5	16,1	143,4	32,6	9,4	60,9	77	3	
Agustus	24,2	37,5	28,6	19,4	54,7	55	79,5	26,8	64,8	77	
September	76,4	85,7	24,2	18,4	91,5	15,1	41	37,58	69,5	29,2	
Oktober	64,5	37,2	64,6	62,8	42,6	20,4	16,2	71,7	59,7	50,6	
November	31,5	82,4	71,2	116,5	75,3	87	63,5	73,7	40,6	70,3	
Desember	71,8	45,4	90,1	147,5	89,9	102,2	35,5	6	73,7	72,2	
Min (mm)	24,2	37,2	12,5	16,1	42,6	15,1	9,4	6	27,5	3	
Max (mm)	76,4	134,5	90,1	147,5	143,4	102,2	79,5	177,2	115,8	142,6	120,92

(Sumber : Satuan Kerja Rencana Siklus Hidrologi PT. Bukit Asam Tbk)

B. Curah Hujan Rencana

Data curah hujan digunakan dalam menganalisis penelitian ini adalah curah hujan harian maksimum pada daerah penelitian yang datanya dari Satker Rensihid, curah hujan rencana dihitung dari curah hujan selama 10 tahun dan dihitung menggunakan metode parameter statistik (pengukuran dispersi). Besarnya dispersi dapat diketahui dengan pengukuran dispersi yakni melalui perhitungan parameter statistik untuk $(X_i - X)$, $(X_i - X)^2$, $(X_i - X)^3$, $(X_i - X)^4$ terlebih dahulu.

Keterangan :

X_i = Besarnya curah hujan daerah (mm)

X = Rata – rata curah hujan maksimum daerah (mm)

Berikut merupakan tabel dispersi statistik dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Dispersi Statistik Untuk Menentukan distribusi Curah Hujan tahun 2009 – 2018

No	Tahun	Rh rencana (mm) (X_i)	Rh Rata-rata (X)	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
1	2009	76,4	120,92	-44,52	1982,03	-88239,99	3928444,507
2	2010	134,5	120,92	13,58	184,42	2504,375	34009,40859
3	2011	90,1	120,92	-30,82	949,87	-29275,067	902257,5763
4	2012	147,5	120,92	26,58	706,50	18778,674	499137,163
5	2013	143,4	120,92	22,48	505,35	11360,277	255379,0268

6	2014	102,2	120,92	-18,72	350,44	-6560,207	122807,0722
7	2015	79,5	120,92	-41,42	1715,62	-71060,831	2943339,632
8	2016	177,2	120,92	56,28	3167,44	178263,433	10032666,02
9	2017	115,8	120,92	-5,12	26,21	-134,218	687,1947674
10	2018	142,6	120,92	21,68	470,02	10190,086	220921,0565
Jumlah		1209,2		0,000	10057,90	25826,528	18939648,65

Dari tabel diatas dilakukan pengukuran dispersi statistik sebagai

berikut:

a. *Mean / rerata*

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1209,2}{10} = 120,92 \text{ mm/hari}$$

b. *Simpangan Baku / Standar Deviasi*

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{10057,90}{10 - 1}} = 33,43$$

c. *Koefisien Variasi/ Variation Coefficient*

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{33,43}{120,92} = 0,2764$$

d. *Asimetri / Kemencengan / Skewness*

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3} = \frac{(10)(25826,528)}{(10 - 1)(10 - 2)(33,43)^3}$$

$$= 0,096$$

e. *Ukuran Keruncingan (Kurtosis)*

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} = \frac{\left(\frac{1}{10}\right)(18939648,65)}{(33,43)^4}$$

$$= 1,516$$

Tabel 4.3 Dispersi Statistik Logaritma Untuk Menentukan distribusi Curah Hujan tahun 2009 – 2018

Tahun	Xi	Log Xi	X	Log Xi - X	Log Xi - X ²	(Log Xi X) ³	(Log Xi X) ⁴
2009	76.4	1.883	2.0667991432	-0.183705785	0.033747815	-0.006199669	0.00113892
2010	134.5	2.129	2.0667991432	0.061923141	0.003834475	0.000237443	0.00001470
2011	90.1	1.955	2.0667991432	-0.112074352	0.012560660	-0.001407728	0.00015777
2012	147.5	2.169	2.0667991432	0.101992877	0.010402547	0.001060986	0.00010821
2013	143.4	2.157	2.0667991432	0.089750008	0.008055064	0.000722942	0.00006488
2014	102.2	2.009	2.0667991432	-0.057348247	0.003288821	-0.000188608	0.00001082
2015	79.5	1.900	2.0667991432	-0.166432015	0.027699615	-0.004610103	0.00076727
2016	177.2	2.248	2.0667991432	0.181664574	0.033002018	0.005995297	0.00108913
2017	115.8	2.064	2.0667991432	-0.003090584	0.000009552	-0.000000030	0.00000000
2018	142.6	2.154	2.0667991432	0.087320382	0.007624849	0.000665805	0.00005814
	1209.2	20.668			0.140225417	-0.003723665	0.00340984
	120.9	2.067					

Pengukuran dispersi berdasarkan perhitungan parameter statistik logaritma (Log) antara lain sebagai berikut:

- a. Nilai Rata-Rata Varian ($\text{Log } \bar{x}$)

$$\text{Log } x = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} = \frac{20,668}{10} = 2,067 \text{ mm}$$

- b. Standar Deviasi ($\text{Sd log } x$)

$$\text{Sd } (\text{log } x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{log } x_i - \text{log } \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,140}{9}} = 0,12 \text{ mm}$$

- c. Koefisien *Skewness* ($\text{Cs log } x$)

$$\begin{aligned}
 C_s(\log x) &= \frac{\sum_{n-1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (Sd \log x)^3} \\
 &= \frac{10 \times 0,003}{(10-1) \cdot (10-2) \cdot (0,12)^3} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Koefisien *Kurtosis* ($C_k \log x$)

$$\begin{aligned}
 C_k(\log x) &= \frac{n^2 \sum_{n-1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^4}{Sd^4} \\
 &= \frac{1}{10} \times 0,00341 \\
 &= \frac{0,12^4}{0,12^4} \\
 &= 1,156 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

e. Koefisien *Variasi* ($C_v \log x$)

$$C_v(\log x) = \frac{Sd}{\log \bar{x}} = \frac{0,12}{2,067} = 0,058 \text{ mm}$$

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Dispersi

No	Dispersi	Hasil Dispersi		
		Parameter Statistik	Parameter Logaritma	Satistik
1	X	120,92	2,067	
2	Sd	33,43	0,12	
3	Cv	0,2764	0,058	
4	Cs	0,096	0,24	
5	Ck	1,516	1,156	

a. Menentukan Jenis Distribusi Curah Hujan

1. Metode Distribusi Gumbel

Perhitungan dengan metode gumbel dihitung berdasarkan perhitungan dispersi statistik seperti pada Tabel 4.5 dibawah.

Tabel 4.5 Perhitungan Dispersi Statistik

TAHUN	CHM	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	N	M	Yn	Yn̄	$(Yn - Yn̄)^2$
-------	-----	-----------	-----------------	---------------------	---	---	----	-----	----------------

2009	76.40	120.920	-44.520	1982.030	10	1	2.351	0.495	3.443
2010	134.50	120.920	13.580	184.416	10	6	0.238	0.495	0.066
2011	90.10	120.920	-30.820	949.872	10	3	1.144	0.495	0.421
2012	147.50	120.920	26.580	706.496	10	9	-0.533	0.495	1.058
2013	143.40	120.920	22.480	505.350	10	8	-0.262	0.495	0.573
2014	102.20	120.920	-18.720	350.438	10	4	0.794	0.495	0.089
2015	79.50	120.920	-41.420	1715.616	10	2	1.606	0.495	1.234
2016	177.20	120.920	56.280	3167.438	10	10	-0.875	0.495	1.876
2017	115.80	120.920	-5.120	26.214	10	5	0.501	0.495	0.000
2018	142.60	120.920	21.680	470.022	10	7	-0.012	0.495	0.257
JUMLAH	1209.20			10057.896					9.018
RATA-RATA	120.92								

- Harga rata-rata (*mean*)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1209,2}{10} = 120,92 \text{ mm/hari}$$

- Hitung *Standard Deviasi*

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{10057,97}{10 - 1}} = 33,43$$

Dengan jumlah data (n) adalah sebanyak 10 data curah hujan yang terdiri dari data curah hujan sebanyak 10 Tahun (2009 sampai dengan Tahun 2018, m pada tabel didapatkan dengan mengurutkan berdasarkan $x_i - \bar{x}$ dai terkecil hingga terbesar.

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

$$y_n = -\ln\left(-\ln\left(\frac{(10+1)-1}{10+1}\right)\right)$$

$$y_n = 2,351$$

- $Y_{\bar{n}} = \frac{\sum y_n}{n}$

$$Y_{\bar{n}} = \frac{4,952}{10}$$

$$Y_{\bar{n}} = 0,495$$

- $$(y_n - Y_{\bar{n}})^2$$

$$= (2,351 - 0,495)^2$$

$$= 3,443$$

Tabel 4.6 Perhitungan PUH dengan Distribusi Gumbel

PERIODE ULANG (TAHUN)	2	5	10
Y_t	0.367	1.500	2.250
Y_{n̄}	0.495	0.495	0.495
S_n	1.001	1.001	1.001
K	-0.129	1.004	1.753
\bar{x}	120.920	120.920	120.920
S	33.430	33.430	33.430
X_t	116.622	154.475	179.536

- $$y_t = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)$$

$$= -\ln\left(-\ln\left(\frac{2-1}{2}\right)\right)$$

$$= 0,367$$

- $$S_n = \sqrt{\frac{\sum(y - y_n)^2}{n-1}}$$

$$S_n = \sqrt{\frac{9,018}{10-1}}$$

$$S_n = 1,001$$

- $$k = \frac{Y_n - Y_{\bar{n}}}{S_n}$$

$$k = \frac{0 - 0,495}{0}$$

$$k = -0,129$$

Perhitungan curah hujan periode 2 tahun :

- $X_t = \bar{x} + (k \times s)$

$$X_t = 120,92 + (-0,129 \times 33,43)$$

$$X_t = 116,622 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan curah hujan periode 5 tahun :

- $X_t = \bar{x} + (k \times s)$

$$X_t = 120,92 + (1,004 \times 33,43)$$

$$X_t = 154.475 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan curah hujan 10 tahun:

- $X_t = \bar{x} + (k \times s)$

$$X_t = 120,92 + (1.753 \times 33,43)$$

$$X_t = 179.536 \text{ mm/hari}$$

2. Distribusi Probabilitas Normal

Langkah perhitungan distribusi Normal adalah sebagai

berikut :

1. Hitung parameter statistik seperti pada Tabel 4.2 diatas.

Nilai Rata-Rata Varian (\bar{x})= 120,92 mm

Standar Deviasi (Sd)= 33,43 mm

2. Hitung Nilai Faktor Koreksi (K_T) berdasarkan nilai T dan umumnya sudah tersedia dalam tabel nilai variabel reduksi *Gauss* (*Variabel reduced Gauss*) pada Tabel C.1 Lampiran C.

$$K_T \text{ PUH 2, 5, 10 Tahun} = 0,000 ; 0,840 ; 1,280$$

3. Hitung nilai curah hujan rencana

- PUH 2 tahun $= \bar{x} + K_T \cdot Sd$
 $= 120,92 + (0,000 \cdot 33,43)$
 $= 120,92 \text{ mm}$

- PUH 5 tahun $= \bar{x} + K_T \cdot Sd$
 $= 120,92 + (0,840 \cdot 33,43)$
 $= 149,001 \text{ mm}$

- PUH 10 tahun $= \bar{x} + K_T \cdot Sd$
 $= 120,92 + (1,280 \cdot 33,43)$
 $= 163,710 \text{ mm}$

3. Distribusi Probabilitas Log Normal

Langkah perhitungan distribusi Log Normal adalah sebagai berikut:

1. Hitung parameter statistik logaritma seperti pada Tabel

4.3.

$$\text{Nilai Rata-Rata Varian (Log } \bar{x} \text{)} = 2,067 \text{ mm}$$

$$\text{Standar Deviasi (Sd Log x)} = 0,12 \text{ mm}$$

Koefisien Kemencengan ($C_s \text{ Log } x$) = 0,24 mm

2. Hitung Nilai Faktor Koreksi (K_T) untuk Koefisien Kemencengan (C_s) berdasarkan tabel nilai variabel standar yang terlampir pada Tabel C.2 Lampiran C.

K_T PUH 2, 5, 10 Tahun = -0,039 ; 0,8263 ; 1,3027

3. Hitung nilai curah hujan rencana

- $$\begin{aligned} \text{PUH 2 tahun (Log } x_2) &= \text{Log } \bar{x} + K_T \cdot S_d \text{ Log } x \\ &= 2,067 + (-0,039 \cdot 0,12) \\ &= 2,062 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, $CH_{\text{Rencana}} (x_2) = 160,768 \text{ mm}$

- $$\begin{aligned} \text{PUH 5 tahun (Log } x_5) &= \text{Log } \bar{x} + K_T \cdot S_d \text{ Log } x \\ &= 2,067 + (0,8263 \cdot 0,12) \\ &= 2,166 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, $CH_{\text{Rencana}} (x_5) = 164,664 \text{ mm}$

- $$\begin{aligned} \text{PUH 10 tahun (Log } x_{10}) &= \text{Log } \bar{x} + K_T \cdot S_d \text{ Log } x \\ &= 2,067 + (1,3027 \cdot 0,12) \\ &= 2,223 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, $CH_{\text{Rencana}} (x_{10}) = 166,839 \text{ mm}$

4. Distribusi Probabilitas Log *Pearson* Tipe III

Langkah perhitungan distribusi Log *Pearson* adalah sebagai berikut:

1. Hitung parameter statistik logaritma seperti pada Tabel 4.3.

$$\text{Nilai Rata-Rata Varian (Log } \bar{x}) = 2,067 \text{ mm}$$

$$\text{Standar Deviasi (Sd Log } x) = 0,12 \text{ mm}$$

$$\text{Koefisien Kemencengan (Cs Log } x) = 0,24 \text{ mm}$$

2. Hitung Faktor Koreksi (K_T) berdasarkan nilai T dan Cs Log x, umumnya sudah tersedia dalam tabel nilai faktor frekuensi k distribusi Log Normal 3 parameter pada Tabel C.3 Lampiran C.

$$K_T \text{ PUH 2, 5, 10 Tahun} = -0,033 ; 0,830 ; 1,301$$

3. Hitung nilai curah hujan rencana

- PUH 2 tahun ($\text{Log } x_2$) = $\text{Log } \bar{x} + K_T \cdot \text{Sd Log } x$

$$= 2,056 + (-0,033 \cdot 0,12)$$

$$= 2,052 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi, } CH_{\text{Rencana}} (x_2) = 160,398 \text{ mm}$$

- PUH 5 tahun ($\text{Log } x_5$) = $\text{Log } \bar{x} + K_T \cdot \text{Sd Log } x$

$$= 2,056 + (0,830 \cdot 0,12)$$

$$= 2,155 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi, } CH_{\text{Rencana}} (x_5) = 164,247 \text{ mm}$$

- $$\begin{aligned} \text{PUH 10 tahun}(\text{Log } x_{10}) &= \text{Log } \bar{x} + K_T \cdot S_d \text{ Log } x \\ &= 2,056 + (1,301 \cdot 0,12) \\ &= 2,212 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, $CH_{\text{Rencana}}(x_{10}) = 166,417 \text{ mm}$

Hasil perhitungan rekapitulasi curah hujan rencana maksimum dengan empat jenis distribusi ditunjukkan pada Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Empat Jenis Distribusi

Periode Tahun	Probabalitas Gumbel	Probabalitas Normal	Probabalitas Log normal	Probabalitas Log Pearson III
2	116,622	120,92	160,768	160,398
5	154,475	149,001	164,664	164,247
10	179,536	163,710	166,839	166,417

Dalam penentuan distribusi curah hujan rencana yang akan dipilih dengan periode tahun, terdapat parameter yang harus dipenuhi. Berdasarkan perhitungan parameter statistika, jenis distribusi yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di wilayah penelitian adalah distribusi gumbel. Berikut tabel yang akan menunjukkan syarat serta pemilihan jenis distribusi berdasarkan parameter distribusi statistik.

C_s untuk distribusi log normal yaitu sebagai berikut:

$$C_s = C_v^3 + 3C_v = (0,058)^3 + 3(0,058) = 0,00019 + 0,174 = 0,17419$$

$$\begin{aligned}
Ck &= Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3 \\
&= (0,058) + 6(0,058)^6 + 15(0,058)^4 + 16(0,058)^2 + 3 \\
&= 0,058 + 0,0228^{-5} + 0,169^{-3} + 0,053 + 3 \\
&= 1,833
\end{aligned}$$

Tabel 4.8 Parameter Syarat Penentuan Jenis Metode Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Normal	$Cs = 0$ $Ck = 3$	$Cs = 0,096$ $Ck = 1,516$	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
2	Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	$Cs = 0,17419$ $Ck = 1,833$	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
3	Gumbel	$Cs \leq 1,14$ $Ck \leq 5,4$	$Cs = 0,096$ $Ck = 1,516$	Memenuhi Memenuhi
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas	$Cs = 0,24$ $Ck = 1,156$	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi

Sumber : Bambang Triatmodjo, 2008 dalam I Made K, 2011 : 27

C. Intensitas Curah Hujan

Berdasarkan perhitungan data curah hujan rencana dan dari data rata-rata jam hujan yang didapatkan dari Satker Rensihid (Lampiran B) maka dapat dihitung intensitas curah hujan dengan menggunakan rumus manonobe. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan rencana dengan periode 10 tahun sesuai dengan kriteria pemilihan periode ulang hujan pada Tabel 4.9 dan melihat bahwa *sump*

Pit 3 Barat Banko Barat terletak di daerah *disposal* atau tempat penimbunan.

Tabel 4.9 Penentuan PUH

Keterangan	PUH (tahun)
Daerah terbuka	0,5
Sarana tambang	2 - 5
Lereng tambang dan penimbunan	5 - 10
Sarana utama	10 - 15
Penyaliran keliling tambang	25
Pemindahan aliran sungai	100

Sumber : Dr.Ir.Suripin,M.Eng,2004)

$$\text{PUH 10 Tahun} = 179,536 \text{ mm/hari}$$

$$\text{Rata-rata jam hujan (t)} = 1,39 \text{ jam}$$

Maka dapat dihitung intensitas curah hujan dengan periode ulang 10 Tahun yaitu;

Rumus Manonobe :

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

(Sumber :I Made Kamiana, 2011)

$$\begin{aligned} I_{10} &= \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \\ &= \frac{179,536}{24} \left(\frac{24}{1,39} \right)^{2/3} \\ &= 50,415 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

D. *Catchment Area*

Catchment area diketahui dengan menggunakan software surfac dan didapatkan luas *catchment area sump* adalah 31,77 Ha atau 0,3177 km² (lampiran E).

E. Debit Limpasan

Debit limpasan didapatkan menggunakan perhitungan metode rasional dengan koefisien limpasan 0,9 (Tabel 4.10), intensitas curah hujan dan luas *catchment area*.

Tabel 4.10 Harga Koefisien Limpasan

	Kegunaan Lahan	Koefisien Limpasan
< 3%	Sawah, Rawa	0,2
	Hutan, Perkebunan	0,3
	Perumahan dengan Kebun	0,4
3% - 5%	Hutan, perkebunan	0,4
	Perumahan	0,5
	Tumbuhan yang jarang	0,6
	Tanpatumbuhan, daerah penumbuhan	0,7
> 15%	Hutan	0,6
	Perumahan, kebun	0,7
	Tumbuhan yang jarang	0,8
	Tanpa tumbuhan, daerah tambang	0,9

(Sumber Suripin, 2004)

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

(Sumber Dr. Ir. Suripin, M.Eng, 2004)

Keterangan :

C = Koefisien limpasan

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan Hujan (Ha)

Maka :

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

$$Q = 0,00278 \cdot 0,9 \cdot 50,415 \cdot 31,77$$

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan menggunakan rumus metode rasional diatas, dan jam hujan pada Lampiran E yaitu rata-rata jam hujan yang sudah dihitung, dan dengan nilai debit limpasan sebesar 4 m³/detik didapatkan Q sebagai berikut:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{detik} \times 1,39 \text{ jam/hari}$$

$$= 4 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik} \times 1,39 \text{ jam/hari}$$

$$= 20.016 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit limpasan yang didapatkan akan dikalikan dengan jumlah rata rata jam hujan per hari sehingga didapatkan total debit limpasan adalah 20.016 m³/hari

F. Debit Air Tanah

Berdasarkan data dari satuan kerja Rensihid didapatkan 4 sumber air tanah yang mengalir pada *sump* Pit 3 Barat Banko Barat. Maka di dapatkan total debit air tanah yang mengalir sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{air tanah}} &= 0.001 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0.001 \times 60 \text{ (menit)} \times 60 \text{ (jam)} \times 24 \text{ (hari)} \\ &= 86.4 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

G. Evapotranspirasi

$$ET = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P}{L(T)} \right)^2 \right]^{0.5}}$$

Keterangan

ET = Evapotranspirasi

P = Curah hujan tahunan rata-rata (mm/tahun)

T = Temperatur rata-rata (°C)

L(T) = Fungsi suhu = $300 + 25T + 0,05T^3$

Didapat :

$$\begin{aligned} L(T) &= 300 + 25 (28) + 0,05 (28)^3 \\ &= 300 + 700 + 1097,6 \\ &= 2097,6 \end{aligned}$$

Maka,

$$E = \frac{247,67}{\left[0,9 + \left(\frac{247,67}{2097,6}\right)^2\right]^{0,5}}$$

$$E = \frac{247,67}{[0,9 + (0,1181)^2]^{0,5}}$$

$$E = \frac{247,67}{0,956}$$

$$E = 259,069 \text{ mm/tahun} = 21,589 \text{ mm/bulan}$$

$$E = 2,99 \times 10^{-4} \text{ mm /jam}$$

$$\% ET = \frac{E}{I} \times 100\%$$

$$\% ET = \frac{2,99}{5,0415} \times 100\% = 0,59\%$$

$$\% ET \times A = 0,59\% \times 3117.700 = 1874,43 \text{ m}^2$$

Dari 31,77 Ha luas daerah tangkapan hujan, hanya 1.874,3 m² yang memungkinkan terjadinya evapotranspirasi.

Jadi,

$$QET = 1.874,3 \text{ m}^2 \times 2,99 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$QET = 0,56045457 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$QET = 13.451 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Maka debit evapotranspirasi adalah sebesar 13,451 m³/hari.

H. Total Debit Air yang Masuk ke Pit 3 Barat Banko Barat

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{limpasan}} + Q_{\text{Airtanah}} - Q_{\text{Evapotranspirasi}}$$

$$Q_{\text{Total}} = 20.016 + 86,4 - 13,451$$

$$Q_{\text{Total}} = 20.088,949 \text{ m}^3/\text{har}$$

4.1.2 Kinerja Pompa Pada Sistem Penirisan Sump 3 Barat Banko Barat

A. Sump

Tabel 4.11 Perhitungan Volume Aktual *Sump* Pit 3 Barat

No	Parameter	Nilai
1	Eleveasi Terendah (m)	+8
2	Elevasi Tertinggi(air) (m)	+46,6
3	Daya Tampung Maksimal (m ³)	5.566.909,532
4	Total Volume <i>Sump</i> (m ³)	4.408.247

(sumber : Satuan Kerja Renopshid)

Perkiraan volume air yang masuk ke dalam *sump* dalam 1 hari tanpa dilakukan kegiatan pemompaan adalah sebesar 20.088.949 m³/hari. Sehingga daya tampung *sump* minimal sebesar 40.177,898 m³ dengan asumsi hujan deras selama 1 hari dan daya tampung *sump* maksimal 2 hari.

B. Sistem Pemompaan

Tabel 4.12 Sistem Pemompaan

	<ul style="list-style-type: none">• Pompa Sulzer 385 KW engine <p>Merupakan pompa yang di <i>sumppit</i> 3 Barat yang digunakan untuk memompa air dari <i>sump</i> ke KPL.</p>
	<ul style="list-style-type: none">• Pipa HDPE DN 200 (Diameter 16,25 cm)• Pipa HDPE DN 250 (Diameter 20,34 cm)• Pipa HDPE DN 400 (Diameter 33,50 cm) <p>Merupakan pipa yang digunakan untuk menyalirkan air dari <i>sump</i> ke KPL</p>
	<p>KPL</p> <p>Merupakan kolam yang menampung air dari <i>sump</i> yang kemudian akan dialirkan ke sungai.</p>

(Sumber) : Dokumentasi Lapangan 2019

Sistem pemompaan yang digunakan pada pit 3 Barat Banko Barat adalah *single stage* menggunakan pompa Sulzer 385 KW Engine dimana pompa akan beroperasi selama 21 jam/hari. Pompa Sulzer ini memiliki pipa isap (Rubber Hose) DN 250 mm dengan panjang 6 meter, kemudian air yang keluar dari pompa menggunakan pipa tekan HDPE DN 200 mm dengan total panjang pipa yang terpasang sepanjang 200 m, disambung dengan pipa HDPE 400mm dengan panjang 550 m yang menuju saluran terbuka untuk dialirkan ke KPL.

Pada pengamatan sistem pemompaan ini, terdapat beberapa aksesoris. Pada ujung pipa isap ditambahkan *Strainer*, *swing check valve*, dan *Reducer*.

C. Perhitungan Head Pompa

Untuk mendapatkan *head* total pompa maka harus terlebih dahulu perlu menghitung *head* statis, *head* lose, dan *head* velocity.

Head total pompa

$$H_t = H_s + H_L + H_v$$

Keterangan

H_t = *Head total*

H_s = *Headstatis*

H_L = *Head loss*

$H_v = \text{Head velocity}$

1. *Head Statis (Hs)*

$$H_s = t_2 - t_1$$

Keterangan :

t_1 = elevasi pada sisi isap air ujung pipa

t_2 = elevasi pada sisi keluar air ujung pipa

$$H_s = (+53) - (+46) = \underline{7 \text{ meter}}$$

2. *Head friction total pada pipa*

C = Koefisien kekerasan pipa = 140 (Tabel 2.5)

D = Diameter DN 250 = 20,34 cm = 0,2034 m

DN 200 = 16,25 cm = 0,1625 m

DN 400 = 33,50 cm = 0,3350 m

L = Panjang pipa

= Pipa isap DN 250 = 6m

= Pipa tekan DN 200 = 200 m

= Pipa tekan DN 400 = 550 m

a. H_f pipa isap

$$= \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times L$$

$$= \frac{10,666 (0,12067)^{1,85}}{(140)^{1,85} \times (0,2034)^{4,87}} \times 6 \text{ m}$$

$$= \frac{0,21328}{4,12894} \times 6 \text{ m}$$

$$= 0,3099 \text{ m}$$

b. Hf pipa tekan Hf DN 200

$$= \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times L$$

$$= \frac{10,666(0,12067)^{1,85}}{(140)^{1,85} \times (0,1625)^{4,87}} \times 200 \text{ m}$$

$$= 0,15345 \times 200 \text{ m}$$

$$= 30,69 \text{ m}$$

Hf DN 550

$$= \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times L$$

$$= \frac{10,666(0,12067)^{1,85}}{(140)^{1,85} \times (0,335)^{4,87}} \times 550 \text{ m}$$

$$= 0,00459 \times 550 \text{ m}$$

$$= 2,5245 \text{ m}$$

Maka nilai Hf totalnya adalah

$$\text{Hf total} = \text{Hf DN250} + \text{Hf DN200} + \text{Hf DN400}$$

$$= 0,3099 + 30,69 + 2,5245$$

$$= \underline{33,5244 \text{ m}}$$

4. *Headfriction* pada aksesoris pipa

f = koefisien kekerasan aksesoris (Tabel 2.6)

Ball valve pipa isap DN 250 = 1,3 (Katub cegah jenis angkat bebas)

Swing check valve pipa DN 200 = 1,2 (Katub cegah jenis ayun)

Reducer pada pipa DN 400 = 1 (Katub cegah tutup cepat tekanan)

v = Kecepatan (m)

Q = Debit Pompa (m³/detik)

A = Penampang pipa

a. Pada aksesoris pipa isap

$$\begin{aligned}
 v \text{ DN 250} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,12067 \text{ m}^3/\text{detik}}{3,14 \times (0,2034/2)^2 \text{ m}^2} \\
 &= \frac{0,12067}{0,032476} \\
 &= 3,715 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Hfs Ball valve} &= \frac{v^2}{2 \times g} \times f \\
 &= \frac{3,715^2}{2 \times 9,8} \times 1,3 \\
 &= 0,70414 \times 1,3 \\
 &= 0,91538 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Pada aksesoris pipa tekan DN200

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,12067}{3,14 \times (0,1625/2)^2 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 5,822 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Hfs swing chek valve} &= \frac{V^2}{2 \times g} \times f \\ &= \frac{(5,822)^2}{2 \times 9,8} \times 1,2 \\ &= 2,07524 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DN400} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,12067}{3,14 \times (0,3350/2)^2 \text{ m}^2} \\ &= 1,369 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hfs reducer} &= \frac{V^2}{2 \times g} \times f \\ &= \frac{(1,369)^2}{2 \times 9,8 \text{ m/detik}} \times 1 \\ &= 0,09562 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka nilai Hfs totalnya adalah

$$\begin{aligned} \text{Hfs total} &= \text{Hfs ball valve} + \text{Hfs swing chek valve} + \text{Hfs reducer} \\ &= 0,91538 + 2,07524 + 0,09562 \\ &= 3,08624 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Headloss (H_L)

$$\begin{aligned} H_L &= H_f \text{ total pada pipa} + H_{fs} \text{ total pada aksesoris} \\ &= 33,5244 \text{ m} + 3,08624 \text{ m} \\ &= 36,61064 \text{ m} \end{aligned}$$

5. *Head* kecepatan (H_v)

$$H_v = \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$a. \quad H_v \text{ DN250} = \frac{(3,715)^2}{2 \times 9,8} = 0,70414 \text{ m}$$

$$b. \quad H_v \text{ DN200} = \frac{(5,822)^2}{2 \times 9,8} = 1,72937 \text{ m}$$

$$c. \quad H_v \text{ DN300} = \frac{(1,369)^2}{2 \times 9,8} = 0,09562 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_v \text{ total} &= H_v \text{ pipa isap DN250} + H_v \text{ DN200} + H_v \text{ DN300} \\ &= 0,70414 \text{ m} + 1,72937 \text{ m} + 0,09562 \text{ m} \\ &= 2,52913 \text{ m} \end{aligned}$$

6. *Head* total (H_t)

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= H_s + H_L + H_v \\ &= 7 \text{ m} + 36,61064 \text{ m} + 2,52913 \text{ m} \\ &= 46,13977 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan didapatkanlah hasil dari *head* total pompa 385 kW (*engine*70) yaitu sebesar 46,13977 m

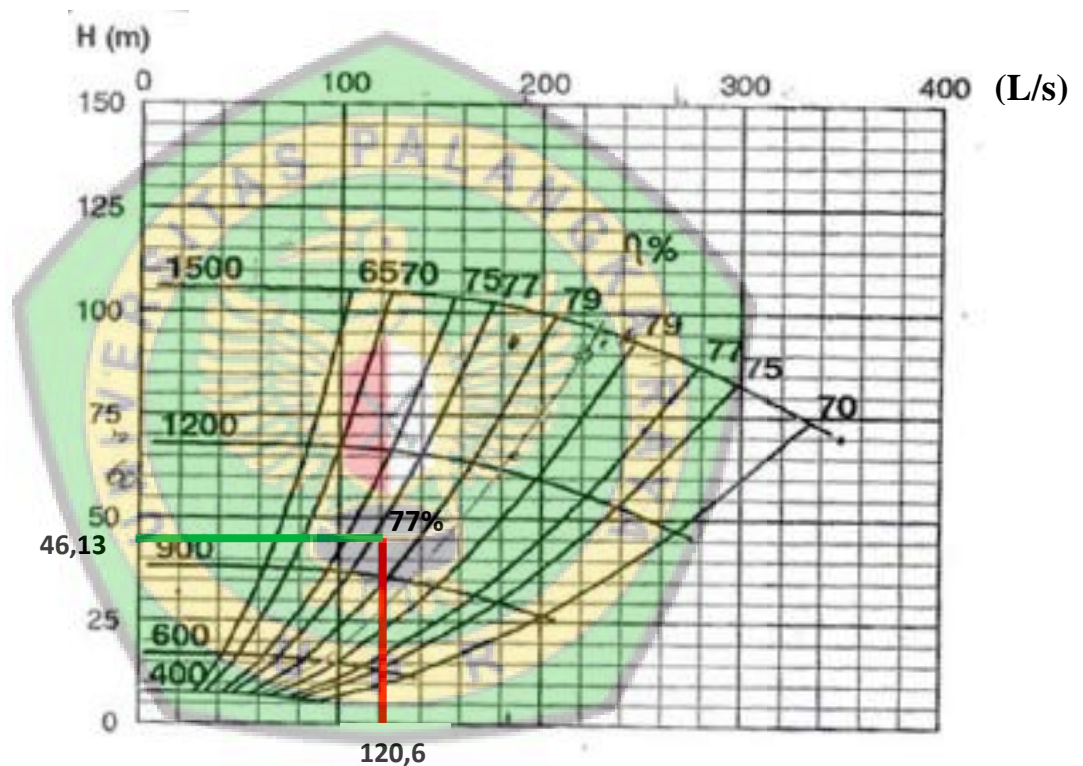
Hasil dari perhitungan *head* dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Perhitungan Head Pompa

Perhitungan Head Loss Total System Pompa SZ 355 KW	
Static head (H_s)	7 m
<i>Head</i> gesekan pipa keluar (H_f) (DN400) (DN200)	2,5245 m 30,69 m

<i>Head</i> kerugian pipa hisap (H_f) (DN250)	0,3099 m
<i>Head</i> gesekan aksesoris (H_{fs})	
Katup	0,91538 m
Pipa hisap (DN250)	2,07524 m
Ball Valve	0,09562 m
<i>Head</i> kecepatan di pipa keluar	1,72937 m
<i>Head</i> kecepatan di pipa keluar	0,70414 m
Head Total Pompa (H_{total})	46,13977 m

D. Analisis Debit Optimal Pompa



Gambar 4.1 Kurva Performa Pompa

Sumber : *Handbook* Pompa Sulzer 385 KW

Hasil perhitungan *head* total dapat digunakan untuk menentukan debit optimal Sulzer 385 KW (*engine* 70) dengan memplotkan data yang telah dihitung bersamaan dengan data parameter *head* total dan juga rpm (*revolution per minute*) atau putaran per menit.

Pada kurva performa pompa di atas dapat dilihat bahwa secara horizontal kurva menunjukkan besarnya debit yang dihasilkan pompa, dan secara vertikal kurva menunjukkan besarnya *head* pompa, sehingga ketika debit aktual pompa adalah 7,24 m³/menit atau dalam L/s adalah 210.6 L/s dan total head sebesar 46,13 m maka hasil plot pada kurva tersebut juga akan menghasilkan efisiensi mesin pompa dalam memompakan air yang terdapat pada *sump* maka nilai efisiensi pompa yaitu 77%.

E. Jumlah Pompa

Kebutuhan jumlah pompa dapat dihitung dengan menggunakan parameter yaitu:

Tabel 4.14 Parameter Perhitungan Jumlah Pompa

Q total masuk <i>sump</i>	20.088.949 m ³ /hari
Q pompa SZ 385 KW	7,24 m ³ /menit
t pompa	21 jam

Jumlah pompa yang dibutuhkan :

$$= \frac{q \text{ total}}{q \text{ pompa} \times t \text{ pompa}}$$

$$= \frac{20.088.949}{434,4 \times 21}$$

$$= 2,20 \sim 3 \text{ pompa}$$

F. Pengeringan Sump

Perencanaan pengeringan *sump* dilakukan dengan beberapa parameter, mulai dari menghitung total air yang masuk ke dalam *sump* yaitu dengan curah hujan 10 tahun hingga kinerja pompa (lampiran j). Berikut dibawah ini perhitungan dalam mencari waktu pengeringan *sump*.

Tabel 4.15 Parameter Perhitungan Waktu Pengeringan *Sump*

Q _{Total}	5.002,822 m ³ /jam
V <i>sump</i>	4.408.247 m ³
Q pompa	434,4 m ³ /jam
Q total + V <i>sump</i>	4.413.249,822

1. Intensitas

$$\begin{aligned} \text{Waktu 1 jam} &= \frac{179,536}{24} \times \left(\frac{24}{1}\right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 62,9 \text{ mm/jam} = 0,0629 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

2. Koefisien limpasan

Menurut tabel koefisien limpasan nilai dari C adalah 0,9

3. Luas penampang atau daerah (A)

$$\text{Luas (catchment area)} = 31,77 \text{ Ha} = 317.700 \text{ m}^2$$

4. Q limpasan (m³/s) = 0,278 × C × I × A

$$\text{Dalam 1 jam} = 0,278 \times 0,9 \times 0,0629 \times 317.700$$

$$= 5000,049 \text{ m}^3/\text{jam}$$

5. Q total = Q limpasan + Q air tanah – Q evapotranspirasi

$$\text{Q total} = 5000,049 + 3,60 \times 1 - (0,827 \times 1)$$

$$= 5.002,822 \text{ m}^3$$

6. $V \text{ air total} = Q \text{ total} + V \text{ air sekarang}$

$$V \text{ total} = 5.002,822 + 4.408.247$$

$$= 4.413.249,822 \text{ m}^3$$

7. $Q \text{ pompa} = Q \text{ pompa (m}^3/\text{jam)}$

a. 1 unit pompa = 434,4 = 434,4 m³/jam

b. 2 unit pompa = 434,4 x 2 = 868,8 m³/jam

c. 3 unit pompa = 434,4 x 3 = 1.303,2 m³/jam

8. $\text{Debit sisa} = V \text{ air total} - V \text{ pompa}$

a. 1 unit pompa = 4.413.249,822 m³ - 434,4 m³
= 4.412.815,422 m³

b. 2 unit pompa = 4.424.747,754 m³ - 868,8 m³
= 4.412.401,022 m³

c. 3 unit pompa = 4.418.649,769 m³ - 1.303,2 m³
= 4.417.346,569 m³

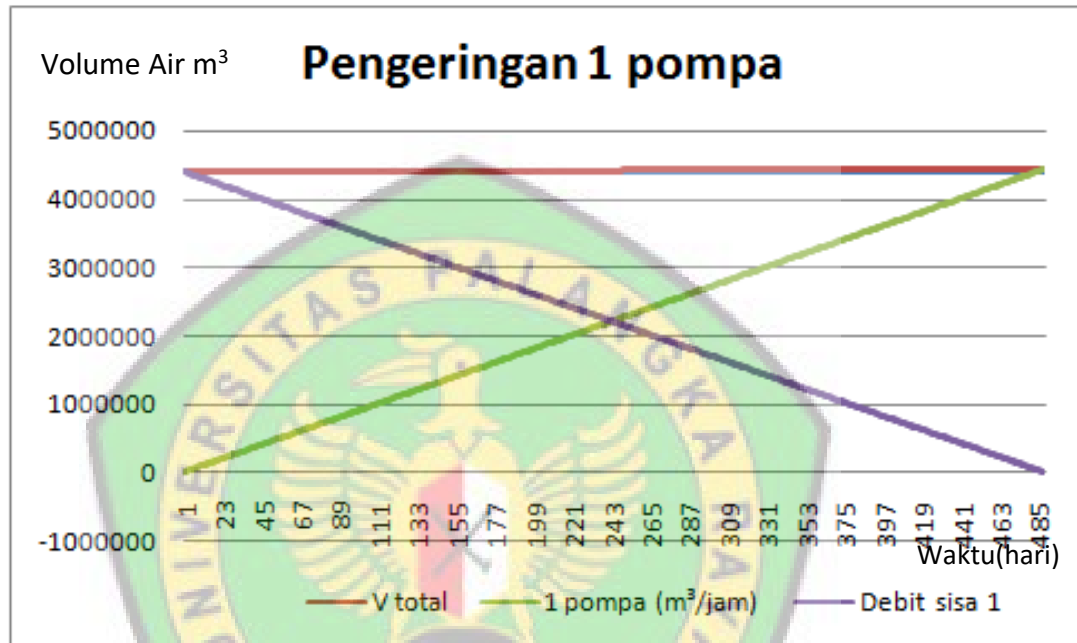
t pengeringan

$$1 \text{ pompa} = \frac{10.228 \text{ jam}}{21 \text{ jam/hari}} = 487 \text{ hari} = 16 \text{ bulan } 7 \text{ hari}$$

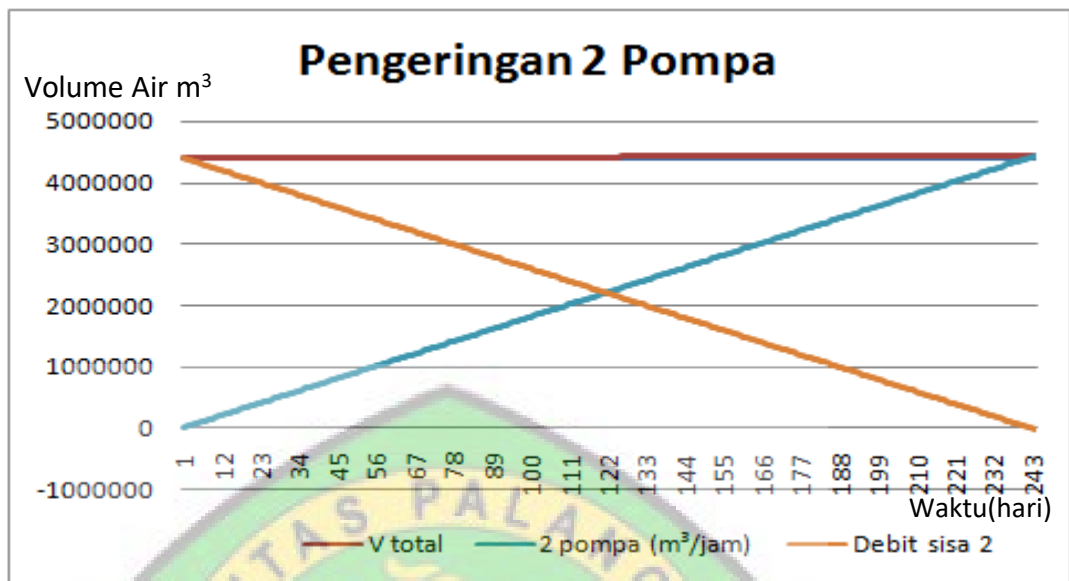
$$2 \text{ pompa} = \frac{5.104 \text{ jam}}{21 \text{ jam/hari}} = 243 \text{ hari} = 8 \text{ bulan } 3 \text{ hari}$$

$$3 \text{ pompa} = \frac{3.403 \text{ jam}}{21 \text{ jam/hari}} = 162 \text{ hari} = 5 \text{ bulan } 12 \text{ hari}$$

Gambar 4.2 Grafik Pengeringan *Sump* Dengan Menggunakan 1 Pompa

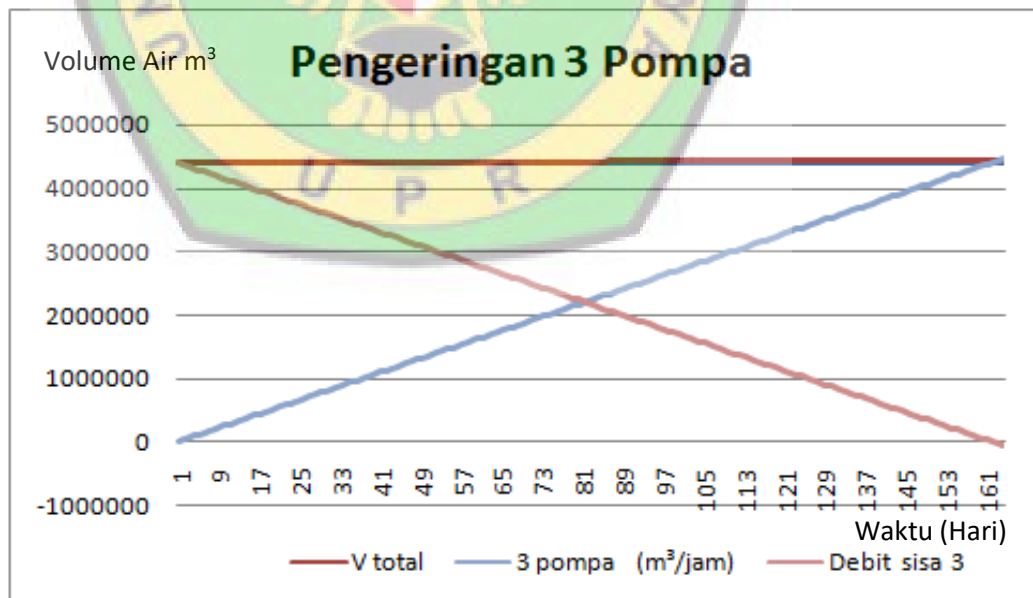


Dengan menggunakan 1 pompa maka *Sump* Pit 3 Barat Banko Barat dapat dikeringkan dengan waktu 487 hari atau 16 bulan 7 hari.



Gambar 4.3 Grafik Pengerinan *Sump* Dengan Menggunakan 2 Pompa

Dengan menggunakan 2 pompa maka *sump* Pit 3 Barat Banko Barat membutuhkan 243 hari atau 8 bulan 3 hari untuk kering.



Gambar 4.4 Grafik Pengerinan *Sump* Dengan Menggunakan 3 Pompa

Dengan menggunakan 3 pompa maka sump pit 3 barat banko barat akan kering dalam 162 hari atau 5 bulan 12 hari

4.2 Pembahasan

4.2.1 Intensitas Curah Hujan di Wilayah Pit 3 Barat Banko Barat

A. Curah Hujan

Tingkat curah hujan pada wilayah penambangan PT. Bukit Asam Tbk setiap bulannya dari Tahun 2009 sampai dengan Tahun 2018 dengan satuan mm/hari diukur menggunakan alat penakar hujan yang ada di Pit tersebut. Dalam pengamatan kali ini, data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan tertinggi harian. Berdasarkan perhitungan seperti yang terlampir, maka curah hujan harian rata-rata setiap bulannya adalah 120,92 mm/hari.

Data curah hujan ini akan digunakan untuk mengetahui banyaknya debit air hujan yang jatuh ke permukaan tanah sehingga meningkatkan nilai intensitas curah hujan di wilayah Pit 3 Barat Banko Barat. Semakin tinggi curah hujan maka intensitas curah hujan juga akan semakin tinggi dan total debit air yang masuk ke dalam *sump* akan semakin tinggi dan jika curah hujan rendah maka total debit air yang di tampung *sump* akan semakin kecil.

B. Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana berguna untuk mengetahui periode ulang hujan yang terjadi pada daerah pengaliran. Data curah hujan yang dianalisis adalah data maksimum karena curah hujan yang tersedia pada daerah pengamatan adalah data curah hujan harian maksimum.

Dalam analisis data curah hujan rencana (CHR) pada penelitian ini, penulis menggunakan nilai curah hujan rencana harian maksimum, karena ketika curah hujan yang digunakan adalah rata-rata dari curah hujan atau pun curah hujan minimum maka jika pada suatu saat periode curah hujan yang terjadi melampaui data curah hujan rata-rata maka perusahaan akan sulit mengantisipasinya sehingga sering terjadi *sump* banjir ataupun target pengerigan tidak akan tercapai, namun bila yang digunakan adalah rata – rata curah hujan maksimum maka akan lebih kecil kemungkinan untuk *sump* banjir karena perusahaan sudah terlebih dahulu mengantisipasinya.

Penulis menggunakan parameter statistik dalam menentukan metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana. Hasil dari analisis ini yaitu mengetahui nilai kemencengan dan kurtosisnya, dari nilai tersebut penulis dapat menentukan metode apa yang sesuai dalam perhitungan curah hujan. dari empat jenis distribusi probabilitas (Normal, Gumbel, Log Normal dan Log-Pearson III) dapat dilihat

pada Lampiran B dan Lampiran C. Dengan nilai C_s yaitu 0,096 dan nilai C_k 1,516 maka nilai tersebut memenuhi syarat metode gumbel namun tidak memenuhi syarat metode lainnya.

Pada penelitian ini periode ulang yang digunakan adalah periode ulang 10 tahun untuk sumuran utama (*sump*). Berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran C menggunakan Distribusi probabilitas Gumbel didapatkan nilai curah hujan rencana untuk periode ulang 10 tahun sebesar 179,536 mm/hari.

Dengan nilai curah hujan rencana sebesar 179,536 mm/hari akan berpengaruh dalam perhitungan intensitas curah hujan dan total debit air yang masuk ke dalam *sump*. Semakin tinggi nilai curah hujan rencana maka akan semakin tinggi juga nilai intensitas curah hujan sehingga total air yang masuk ke *sump* juga akan semakin tinggi, sebaliknya semakin rendah nilai curah hujan rencana maka akan semakin rendah nilai intensitas curah hujan dan air limpasan yang akan masuk ke dalam *sump* pun akan semakin kecil.

C. Intensitas Curah Hujan

Untuk mengetahui nilai debit air permukaan yang terjadi, maka dilakukan perhitungan periode ulang debit air permukaan suatu daerah. Perhitungan curah hujan dengan menggunakan data curah hujan dalam

rentang waktu 10 Tahun terakhir dari Tahun 2009 hingga Tahun 2018 yang di dapat dari Satker Rencana Siklus Hidrologi

Dengan menggunakan rumus perhitungan intensitas curah hujan manonobe, maka didapat intensitas curah hujan sebesar 50,415 mm/jam. Intensitas curah hujan ini cukup tinggi untuk daerah penambangan maka dibutuhkan penanganan seperti desain *sump* yang cukup untuk dapat menampung sejumlah intensitas curah hujan ini.

D. Catchment Area

Catchment area atau daerah tangkapan hujan diperlukan untuk mengetahui debit air yang masuk ke dalam tambang. *Catchment area* menentukan seberapa luas wilayah tangkapan hujan pada *sump* Pit 3 Barat Banko Barat. *Cathment area* dapat ditentukan berdasarkan peta topografi ataupun dengan penentuan berdasarkan elevasi dan arah aliran air yang mengalir dipermukaan hingga menjadi suatu poligon tertutup, kemudian dibantu dengan *software surfac*. luas *catchment area sump* Pit 3 Barat Banko Barat adalah 31,77 Ha atau 317.700 m². (Lampiran E).

Semakin luas *catcment area* maka akan semakin tinggi juga jumlah curah hujan yang akan ditampung oleh *sump*, dan nilai total debit air juga akan semakin besar

4.2.2 Jumlah Debit Air yang Masuk ke Sump Pit 3 Barat Banko Barat

A. Debit Limpasan

Koefisien pengaliran limpasan berdasarkan kondisi wilayah tambang daerah studi adalah 0,9 (tanpa tumbuhan, daerah tambang) sebagai dasar dalam perhitungan debit limpasan, berdasarkan data-data yang diperoleh dalam pengolahan data sebelumnya, antara lain intensitas curah hujan sebesar 50,415 mm/jam, *catchment area* seluas 31,77 Ha maka dengan menggunakan rumus metode rasional diperoleh nilai debit limpasan pada sump pit 3 Barat sebesar 4 m³/detik dapat dilihat pada (lampiran F).

Dengan jumlah debit limpasan tersebut menjadikan debit ini merupakan faktor terbesar yang mempengaruhi total debit air yang masuk ke dalam *sump*. Semakin tinggi debit limpasan maka akan semakin besar total debit air yang harus ditampung *sump* dan semakin banyak air yang harus dikeluarkan oleh pompa.

B. Debit Air Tanah

Berdasarkan data dari Satuan Kerja Rensihid didapatkan total debit air tanah yang mengalir sebesar 86,4 m³/hari. Besar debit ini akan mempengaruhi jumlah debit air yang terhitung yang akan mempengaruhi perhitungan pengeringan pada *sump* pit 3 Barat Banko Barat. Debit air tanah ini tidak terlalu signifikan mempengaruhi total

air yang akan masuk ke *sump* namun tetaplah penting sehingga tetap dihitung.

C. Evapotranspirasi

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan dari sebelumnya, kemudian diolah untuk menghitung evapotranspirasi dengan menggunakan rumus Turc di dapatkan 0.59 % dari luas *catchment area* atau sebesar 1.874,43 m² yang mengalami evapotranspirasi. Maka debit evapotranspirasi adalah sebesar 13,451 m³/hari. Debit evapotranspirasi ini akan menjadi pengurang dalam perhitungan total debit air yang masuk pada sump pit 3 Barat Banko Barat.

Semakin besar nilai debit evapotranspirasi maka akan membantu pengeringan *sump*, karena nilai penguapan yang terjadi baik dari tanah maupun tumbuhan akan menurangi jumlah air yang ada di sekitar *catchment area*, maka proses pengeringan akan semakin cepat.

D. Total Debit Air yang Masuk ke Sump Pit 3 Barat Banko Barat

Total volume debit air yang masuk kedalam sump merupakan total debit air limpasan yang dialirkan oleh *catchment area*, ditambahkan dengan debit air tanah yang memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan, kemudian dikurangi dengan debit evapotranspirasi sehingga didapatkan total debit air yang masuk ke dalam *sump* pit 3 Barat Banko Barat sebesar 20.088,949 m³/hari.

Jumlah air tersebut akan ditambahkan dengan volume air sekarang yang ada di *sump*, sehingga akan diketahui total keseluruhan volume air yang akan dikeringkan menggunakan pompa pada *sump* tersebut. Semakin tinggi total debit air maka akan semakin lama pompa akan bekerja dan akan semakin lama proses pengeringan *sump* dilakukan sebaliknya semakin kecil jumlah debit total air yang masuk ke *sump* maka akan semakin cepat proses pengeringan *sump* tersebut.

4.2.3 Kinerja Pompa pada Sistem Penirisan Sump Pit 3 Barat Banko Barat

A. *Sump*

Berdasarkan analisis antara *input* (masukan) dan *output* (keluaran), maka dapat ditentukan volume dari *sump*. Perkiraan volume air yang masuk ke dalam *sump* dalam 1 hari tanpa dilakukan kegiatan pemompaan adalah sebesar 40.830 m³/hari (Lampiran F) yang didapatkan dari hasil perhitungan total debit air yang masuk ke dalam *sump*. *Sump* berukuran 17,17 Ha tersebut harus mampu menampung 40.830 m³/hari agar *sump* tidak banjir dan tidak mengganggu pekerjaan di daerah disposal tersebut, oleh karena itu digunakan pompa dalam proses pengeluaran air. Semakin besar total air yang berada di *sump* maka akan semakin lama pengeringan di lakukan.

B. Sistem Pemompaan

Sistem pemompaan yang digunakan pada pit 3 Barat Banko Barat adalah *single stage*, pengeringan yang akan dilakukan pada sump pit 3 Barat Banko Barat menggunakan pompa Sulzer 385 KW Engine dimana pompa akan beroperasi selama 21 jam/hari. Pompa Sulzer ini memiliki pipa isap (Rubber Hose) DN 250 mm dengan panjang 6 meter, kemudian air yang keluar dari pompa menggunakan pipa tekan HDPE DN 200 mm dengan total panjang pipa yang terpasang sepanjang 200 m, disambung dengan pipa HDPE 400 mm dengan panjang 550 m yang menuju saluran terbuka untuk dialirkan ke KPL.

Pada pengamatan sistem pemompaan ini, terdapat beberapa aksesoris. Pada ujung pipa isap ditambahkan *Strainer*, selain katub isap ditambahkan juga pada pipa keluar yaitu aksesoris *swing check valve*, dan terdapat juga *reducer*.

C. Perhitungan Head Pompa

Perhitungan *Head Loss Total System* Pompa SZ355KW

$$a. \text{ Static head } (H_s) = 7 \text{ m}$$

Static head didapatkan dengan mengurangkan elevasi pada ujung pipa keluar dengan elevasi pada ujung pipa isap.

b. *Head* gesekan pipa keluar (H_f) (DN400) = 2,5245 m

(DN200) = 30,69 m

Head pada gesekan pipa keluar ini berbeda antara yang berbeda berdasarkan tipe dan diameter pipa nya. Pipa DN 400 memiliki gesekan lebih kecil dibandingkan dengan pipa DN 200 yang memiliki diameter lebih kecil.

c. *Head* kerugian pipa hisap (H_f) (DN250) = 0,3099 m

Rumus yang digunakan ada perhitungan *head* pipa isap sama dengan rumus pada perhitungan pada pipa keluar namun yang membedakannya adalah diameter pipanya.

d. *Head* gesekan aksesoris (H_{fs})

- Katup = 0,91538 m
- Pipa hisap (DN250) = 2,07524 m
- *Ball Valve* = 0,09562 m
- *Head* kecepatan di pipa keluar = 1,72937 m
- *Head* kecepatan di pipa hisap = 0,70414 m

Aksesoris yang digunakan dalam membantu sistem penyaliran ini juga memiliki energi yang keluar sehingga akan dihitung total *head* nya.

e. *Head* total pompa (H_{total}) = 46,1377 m

Head total didapatkan dengan menambahkan *head statis* dengan *head lose* ditambah dengan *head velocity*. Nilai dari total *head* ini akan digunakan dalam mencari nilai efisiensi pompa yang dimana nilai ini akan di plot di kurva efisiensi pompa sulzer 385 KW. Untuk nilai *head* 46,047 m termasuk baik, artinya kinerja pompa juga akan semakin baik.

Semakin tinggi nilai *head* pompa maka akan semakin rendah kinerja pompa, dan semakin kecil nilai *head* pompa maka akan semakin baik kinerja dari pompa, sehingga semakin tinggi *head* pompa akan semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam proses pegeringan.

D. Analisis Debit Optimal Pompa

Dengan debit 120,6 L/detik dan *head* total sebesar 46,13977 dan diplot pada kurva tersebut maka di dapatkan nilai efisiensi pompa yaitu 77%, nilai efisiensi ini artinya bahwa pompa Sulzer 385 KW sudah mampu bekerja secara maksimal, ini terjadi karena total hambatan seperti gesekan pada pipa maupun hambatan pada aksesoris pompa masih dalam keadaan baik dan terkendali. Perbedaan elevasi pada pipa *inlet* dengan *outlet* juga termasuk dalam keadaan yang baik yaitu 7m yang artinya pompa Sulzer 385 KW ini mampu mengalirkan air dari *sump* ke kolam pengendapan lumpur dengan cepat. Jika dibandingkan

dengan efisiensi di spesifikasi pompa Sulzer 385 KW ini sudah mencapai efisiensi yang baik oleh karena itu penulis tidak menyarankan untuk meningkatkan RPM atau tidak mendesain kembali sistem perpipaannya melainkan hanya berpatok pada penambahan jumlah pompa. Karena total debit air yang ada di dalam *sump* maupun total debit limpasan yang akan masuk ke dalam *sump* tidak mampu dikendalikan hanya dengan penggunaan 1 pompa, sebab pit Banko Barat ini tidak hanya bertujuan agar *sump* tidak banjir melainkan bagaimana *sump* bisa kering dalam waktu 6 bulan 15 hari, agar dapat digunakan menjadi daerah disposal yang baru.

E. Jumlah Pompa

Menghitung jumlah pompa yang dibutuhkan untuk proses pengeringan *sump* pit 3 Barat Banko Barat dengan cara mengetahui jumlah seluruh total air yang masuk kedalam *sump* (Q_{total}) selama satu hari yang kemudian dibagi dengan jumlah debit pemompaan dalam waktu satu hari yang dikalikan dengan jam kerja pompa yang direncanakan ataupun aktual selama satu hari, dari parameter tersebut maka jumlah pompa yang dibutuhkan dalam proses pengeringan *sump*. Jam kerja pompa 21 hari maka jumlah pompa yang dibutuhkan adalah 3 pompa.

Di lapangan *sump* di Pit 3 Barat Banko Barat hanya menggunakan 1 unit pompa dan tentu saja tidak mampu membantu

proses pengeringan dengan baik. Oleh karena itu penulis merekomendasikan untuk menggunakan 3 unit pompa dengan tipe yang sama. Dengan penggunaan 3 unit pompa ini maka pompa tidak hanya mampu mengatasi jumlah air yang masuk ke *sump* tetapi dapat juga membantu mengeluarkan air yang sudah berada di dalam *sump* sehingga proses pengeringan dapat berjalan sesuai dengan target perusahaan.

F. Pengeringan Sump

Perencanaan pengeringan *sump* dilakukan dengan beberapa parameter, mulai dari menghitung total air yang masuk ke dalam *sump* yaitu dengan curah hujan 10 Tahun hingga kinerja pompa (lampiran j).

Waktu yang dibutuhkan 1 buah pompa untuk dapat mengeringkan *sump* adalah dengan membagi debit total yang masuk ke dalam *sump* ditambah dengan volume *sump* dibagi dengan debit 1 pompa sehingga didapatkan 10.236 jam atau sama dengan 16 bulan 7 hari . Ketika digunakan 2 unit pompa maka akan didapatkan 5.107 jam atau 8 bulan 3 hari, yang dimana target dari perusahaan yaitu 6 bulan 15 hari belum tercapai.

Maka ketika jumlah pompa yang digunakan adalah 3 unit pompa maka akan membutuhkan 3.405 jam saja atau hanya membutuhkan waktu 5 bulan 12 hari. Dapat disimpulkan bahwa dengan 3 unit pompa

maka target pengeringan yang diberikan oleh perusahaan dapat tercapai, sehingga *sump* dapat digunakan untuk tempat disposal yang baru.



BAB V

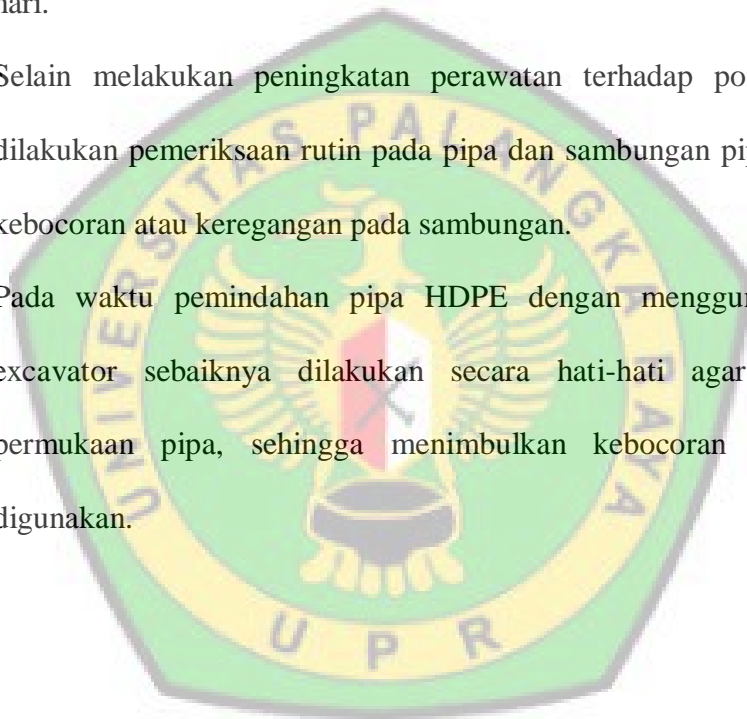
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- 1 Curah hujan harian rata-rata setiap bulannya adalah 120,92 mm/hari berdasarkan pengolahan data curah hujan maksimum bulanan tahun 2009 sampai dengan tahun 2018, maka diperoleh intensitas curah hujan sebesar 50,415 mm/jam dengan luasan daerah tangkapan hujan sebesar 31,77 Ha. Nilai debit limpasan sebesar 20.016 m³/hari, debit air tanah 86,4 m³/hari dan debit evapotranspirasi 13,451 m³/hari. Sehingga volume air yang masuk kedalam sump Pit Barat Banko Barat 1 hari tanpa dilakukan kegiatan pemompaan sebesar 20.088,949 m³/hari.
- 2 Kinerja pompa pada sistem penirisan sump pit 3 Barat Banko Barat yaitu 77% dan jumlah pompa yang saat ini digunakan yaitu 1 pompa, dengan efisiensi 775 dan hanya menggunakan 1 pompa maka target pengeringan perusahaan yaitu 6 bulan tidak dapat tercapai. Oleh karena itu menurut analisis dan perhitungan, jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeringkan *sump* adalah 3 unit pompa dengan spesifikasi yang sama yaitu pompa sulzer 385 KW dengan waktu pengeringan yaitu 5 bulan 12 hari. dengan penggunaan 3 unit pompa ini maka target perusahaan dalam mengeringkan sump Pit 3 Barat Banko Barat yaitu akan tercapai

5.2 Saran.

1. Perlu dilakukannya penambahan jumlah pompa sebanyak 2 unit dengan spesifikasi yang sama yaitu Sulzer 385 Kw sehingga jumlah pompa yang digunakan dalam pengeringan sump Pit 3 Barat Banko Barat adalah 3 Unit, dan target perusahaan yaitu 6 bulan dapat tercapai dalam waktu 5 bulan 12 hari.
2. Selain melakukan peningkatan perawatan terhadap pompa, perlu pula dilakukan pemeriksaan rutin pada pipa dan sambungan pipa agar tidak ada kebocoran atau keregangan pada sambungan.
3. Pada waktu pemindahan pipa HDPE dengan menggunakan alat berat excavator sebaiknya dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak permukaan pipa, sehingga menimbulkan kebocoran pada saat pipa digunakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo, 2009, *Hidrogeologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta
- Chay Asdak, 2004, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Chow, VenTe, 1985, *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*, Erlangga, Jakarta, Indonesia
- I Made Kamiana, *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Prodjosumarto, P1994. *Rancangan Kolam Pengendapan Sebagai Perlengkapan Sistem Penirisan Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan ITB. Bandung
- Sularso, 2006, *Pompadan Kompresor*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Suripin, 2004, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi Offset, Demangan Baru, Yogyakarta.
- Sosrodarsono Suyono, Kensaku Takeda, 2003, *Siklus Hidrolgi*, Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada, Jakarta
- Rudy Sayoga G, 1999, *Sistem Penyaliran Tambang*, Institut Teknologi Bandung, Hal 4.1-4.5
- Peter Eka Rosadi, *Mekanika Fluida*, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta