

SKRIPSI

RANCANGAN SISTEM *MINE DEWATERING* PADA RENCANA PENAMBANGAN PIT INUL *LIGNITE SOUTH* PT KALTIM PRIMA COAL, KALIMANTAN TIMUR

Disusun dan diajukan oleh:

EDGAR EUAGGELION PALINTAR
D111 20 1065



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

RANCANGAN SISTEM *MINE DEWATERING* PADA RENCANA PENAMBANGAN PIT INUL *LIGNITE SOUTH* PT KALTIM PRIMA COAL, KALIMANTAN TIMUR

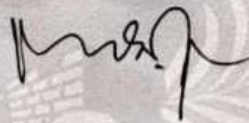
Disusun dan diajukan oleh

**Edgar Euaggelion Palintar
D111 20 1065**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 September 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr.Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T.
NIP. 196807181993091001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edgar Euaggelion Palintar

NIM : D111201065

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Rancangan Sistem *Mine Dewatering* Pada Rencana Penambangan Pit Inul
Lignite South PT Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 September 2024

Yang Menyatakan



Edgar Euaggelion Palintar



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

EDGAR EUAGGELION PALINTAR. *Rancangan Sistem Mine Dewatering Pada Rencana Penambangan Pit Inul Lignite South, PT Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur* (dibimbing oleh Muhammad Ramli)

Air yang masuk ke dalam area penambangan dapat menyebabkan lantai kerja menjadi licin dan tergenang air sehingga menimbulkan kondisi kerja yang tidak aman dan berpotensi merusak alat-alat berat yang sedang beroperasi. Hal ini secara langsung dapat menyebabkan kegiatan produksi tambang tersebut menurun, bahkan terhenti sama sekali sehingga menyebabkan perusahaan tidak dapat memperoleh keuntungan yang optimal dan merugi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi air yang masuk ke area penambangan adalah dengan merencanakan sistem penirisan tambang. Sistem penirisan tambang merupakan upaya membuang air yang masuk ke dalam area penambangan sehingga proses penambangan dapat dilakukan dengan aman. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan luas daerah tangkapan hujan area penambangan Pit Inul *Lignite South*, memperkirakan volume air limpasan maksimum dan minimum dari keseluruhan volume air limpasan prediksi 5 tahun, dan memperkirakan waktu yang diperlukan untuk mengeringkan *sump*. Analisis curah hujan menggunakan pemodelan sistem dinamis yang diolah melalui *software* Stella 9.0.2. Berdasarkan debit air limpasan yang masuk ke dalam pit penambangan yang memiliki luas *catchment area* sebesar 5,1 km², didapatkan volume air limpasan yang diperkirakan dari prediksi curah hujan 5 tahun ke depan sebanyak 228,32 m³/hari. Prediksi waktu yang diperlukan agar air pada *sump* dapat habis berdasarkan volume air limpasan selama 10 minggu.

Kata Kunci: Penirisan tambang; Curah hujan harian; Volume limpasan.



ABSTRACT

EDGAR EUAGGELION PALINTAR. *Mine Dewatering System Design For Mining Plans Pit Inul Lignite South, PT Kaltim Prima Coal, East Kalimantan* (supervised by Muhammad Ramli)

Water entering the mining area can cause the work floor to become slippery and waterlogged, creating unsafe working conditions and potentially damaging heavy equipment in operation. This can directly cause the mine's production activities to decrease, even stop altogether, causing the company to not be able to get optimal profits and lose money. One method that can be used to deal with water entering the mining area is to plan a mine drainage system. The mine drainage system is an effort to remove water that enters the mining area so that the mining process can be carried out safely. This study aims to determine the catchment area of the Inul Lignite South Pit mining area, estimate the maximum and minimum runoff water volume of the entire 5-year prediction runoff water volume, and estimate the time required to drain the sump. Rainfall analysis using dynamic system modeling processed through Stella 9.0.2 software. Based on the runoff water discharge into the mining pit which has a catchment area of 5.1 km², the estimated runoff water volume from the next 5 years of rainfall prediction is 228.32 m³/day. Predicted time required for the water in the sump to run out based on the volume of runoff water for 10 weeks.

Keywords: *Mine dewatering; Daily rainfall; Runoff volume.*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Operasi Penambangan.....	5
2.2 Daur Hidrologi.....	7
2.3 Air Hujan.....	13
2.4 Curah Hujan.....	20
2.5 <i>Mine Dewatering</i>	27
2.6 Pompa dan Pipa.....	29
2.7 Pemodelan Sistem Dinamis.....	38
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
3.1 Kesampaian Daerah dan Lokasi Penelitian.....	40
3.2 Variabel Penelitian.....	41
3.3 Alat Penelitian.....	41
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	41
3.5 Teknik Analisis.....	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Analisis Data Curah Hujan.....	48
4.2 Luas Daerah Tangkapan Hujan (<i>Catchment Area</i>).....	51
4.3 Total Volume Air Masuk Tambang.....	51
4.4 Volume <i>Sump</i>	53
4.5 Analisis Rencana Pemompaan.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
AN.....	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus hidrologi	8
Gambar 2 Evapotranspirasi	10
Gambar 3 Tipe hujan.....	15
Gambar 4 Histogram dan hujan kumulatif.....	16
Gambar 5 Alat penakar hujan jenis pelampung	18
Gambar 6 Alat penakar hujan jenis timba jungkit	18
Gambar 7 Alat penakar hujan biasa	19
Gambar 8 Perbedaan metode rata-rata aritmatika, poligon, dan isohyet	21
Gambar 9 Tipe aliran fluida dalam pipa	33
Gambar 10 Peta lokasi penelitian.....	40
Gambar 11 Penentuan luas daerah tangkapan hujan.....	42
Gambar 12 Grafik penentuan debit pompa MF 420	45
Gambar 13 Bagan alir penelitian.....	47
Gambar 14 Grafik curah hujan harian maksimum prediksi 5 tahun	48
Gambar 15 Nilai intensitas curah hujan	50
Gambar 16 Nilai debit air limpasan	51
Gambar 17 Model sistem dinamis volume limpasan	52
Gambar 18 Nilai volume limpasan, debit limpasan, dan intensitas curah hujan ..	53



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien limpasan.....	12
Tabel 2 Keadaan hujan dan intensitas hujan	15
Tabel 3 Probabilitas kejadian untuk frekuensi desain standar	23
Tabel 4 Periode ulang hujan rencana	23
Tabel 5 Derajat dan intensitas curah hujan	25
Tabel 6 Faktor kehilangan sesuai dengan spesifikasi pipa.....	36
Tabel 7 Nilai koefisien limpasan.....	44
Tabel 8 Data curah hujan prediksi tahun 2024-2028	49
Tabel 9 Perhitungan nilai <i>head</i> total pemompaan.....	54
Tabel 10 Debit rencana pemompaan.....	55
Tabel 11 <i>Weekly water balance</i> untuk volume limpasan maksimum	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta lokasi penelitian	61
Lampiran 2 Peta daerah tangkapan hujan Pit Inul <i>Lignite South</i>	62
Lampiran 3 Peta jalur pemipaan	64
Lampiran 4 Data curah hujan tahun 2019-2023	51
Lampiran 5 Curah hujan maksimum prediksi tahun 2024-2028	57
Lampiran 5 Spesifikasi pompa multiflow MF-420 EXHV	59



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan penyertaan-Nya sehingga penulis diberi kesempatan untuk mampu menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Rancangan Sistem *Mine Dewatering* Pada Rencana Penambangan, Pit Inul *Lignite South*, PT Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan program sarjana pada Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Hasanudin. Tugas akhir ini juga disusun sebagai bentuk mengamalkan ilmu yang diperoleh selama masa perkuliahan di Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari dari pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada bang Chevy Anjar Syahril dan seluruh tim *Engineering Hatari Department* yang telah banyak memberikan bantuan, dukungan, dan semangat selama melaksanakan penelitian sampai penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr.Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. selaku Kepala Laboratorium Lingkungan, sekaligus sebagai dosen pembimbing yang banyak memberikan masukan kepada penulis, membantu penelitian ini dan meluangkan banyak waktu dalam proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih juga kepada bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T. yang telah membantu penulis selama penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini, serta terimakasih kepada Ibu Dr. Ir. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, serta seluruh dosen dan staf administrasi yang telah banyak memberikan bantuan dalam pengelolaan administrasi penulis.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua penulis yang telah memberikan doa, dukungan dan semangat yaitu Bapak Yonatan dan Ibu



Paembonan saudara-saudari penulis atas nama Edwin Graciano an, S.T., dan Anabel Kandaure, serta seluruh keluarga yang senantiasa an doa, semangat, dan dukungan selama penulis menempuh studi di

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Terima kasih kepada teman-teman Tambang 2020 (DRILLING 2020), baik yang sudah lulus maupun yang belum lulus tepat waktu, terima kasih atas dorongan semangatnya. Jangan lupa kita tetap satu *till the end*.

Penulis sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari berbagai kekurangan, menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Gowa, September 2024

Edgar Euaggelion Palintar



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Kaltim Prima Coal merupakan salah satu perusahaan yang berada di bawah payung PT Bumi Resource Tbk yang beroperasi di sektor pertambangan batubara di wilayah Kalimantan Timur. PT Kaltim Prima Coal menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit mining*) sehingga proses penambangannya membentuk cekungan yang besar. Kondisi ini menyebabkan air yang masuk ke area penambangan akan terkonsentrasi di cekungan dan menghambat operasi penambangan. Risiko ini semakin besar karena tingginya frekuensi dan intensitas hujan pada area penambangan.

Air yang masuk ke dalam area penambangan dapat menyebabkan lantai kerja menjadi licin dan tergenang air sehingga menimbulkan kondisi kerja yang tidak aman dan berpotensi merusak alat-alat berat yang sedang beroperasi. Hal ini secara langsung dapat menyebabkan kegiatan produksi tambang tersebut menurun bahkan terhenti sama sekali sehingga menyebabkan perusahaan tidak dapat memperoleh keuntungan yang optimal dan merugi (Atika, 2020). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi air yang masuk ke area penambangan adalah dengan merencanakan sistem penirisan tambang. Sistem penirisan tambang merupakan upaya membuang air yang masuk ke dalam area penambangan sehingga proses penambangan dapat dilakukan dengan aman. Sistem penirisan yang digunakan adalah *travelling sump* yang penggunaannya relatif pendek dan selalu ditempatkan sesuai kemajuan tambang (Simanlangi, 2016).

Sistem penirisan tambang umumnya bertujuan untuk mengendalikan air tambang agar tidak mempengaruhi produksi pertambangan dan menciptakan kondisi kerja yang aman. Rencana sistem penirisan yang akan digunakan harus

ih lanjut untuk mencapai kesesuaian antara aliran air yang masuk ke dalam dengan dimensi saluran air ke luar tambang serta spesifikasi pompa yang



digunakan untuk mengeluarkan air ke luar tambang sehingga waktu yang diperlukan dalam mengeringkan *sump* dapat diketahui.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini membahas mengenai rancangan sistem penirisan tambang, hal yang perlu diperhatikan adalah prediksi air yang akan masuk ke area tambang dan kemampuan pompa yang ada untuk mengeluarkan air yang masuk ke area tambang. Masalah yang perlu diselesaikan untuk memprediksi air yang masuk ke area tambang yaitu:

1. Menentukan luas *catchment area*, sehingga diperoleh volume air limpasan yang masuk ke pit.
2. Memperkirakan volume air limpasan maksimum dari curah hujan rencana prediksi yang akan terjadi pada tahun 2024 hingga tahun 2028.
3. Memperkirakan lamanya waktu yang diperlukan untuk memindahkan seluruh air tersebut ke *outlet*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan luas *catchment area* penambangan pit Inul *Lignite South*.
2. Mengetahui volume air limpasan maksimum yang diperkirakan akan terjadi dari keseluruhan volume air limpasan prediksi tahun 2024-2028.
3. Memperkirakan waktu yang diperlukan untuk mengeringkan *sump*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan akan menghasilkan desain arah jalur pipa yang akan diterapkan, dan mengetahui estimasi waktu yang diperlukan untuk memindahkan semua air dari dalam pit sehingga kegiatan penambangan dapat dilakukan.

Ini juga memberikan dedikasi dalam berbagi pengetahuan antara praktisi emisi.



1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup wilayah penelitian berada di Pit Inul *Lignite South*, Departemen Hatari, PT. Kaltim Prima Coal, yang terletak di Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Pit Inul *Lignite South* dipilih karena pit tersebut akan kembali dilakukan penambangan setelah tidak adanya aktivitas penambangan di Pit tersebut dalam waktu yang cukup lama dikarenakan pergantian perusahaan kontraktor yang akan mengambil alih proses penambangan di pit tersebut sehingga air di dalam pit penambangan perlu dipindahkan agar kegiatan pengambilan batubara dapat dilakukan. Adapun data yang kumpulkan dilakukan dari tanggal 21 Maret 2024 – 28 April 2024.

1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan skripsi adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan awal sebelum penelitian dilakukan. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian, persiapan administrasi terkait penelitian, pengumpulan referensi atau literatur yang menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat yang akan pada saat penelitian.

2. Studi literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang dilakukan selama berjalannya penelitian dari awal hingga selesainya penelitian. Tahapan ini berupa kajian kepustakaan untuk memahami dan menunjang kegiatan penelitian yang dilakukan.

3. Pengambilan data

Tahapan ini merupakan tahapan pekerjaan lapangan yang bertujuan untuk pengumpulan data. Secara lebih detail kegiatan pada tahapan ini meliputi pekerjaan observasi lapangan.

4. Pengolahan dan analisis data

Tahapan pengolahan merupakan tahapan pengumpulan data hasil analisis dan dilanjutkan dengan mengolah data tersebut sehingga diperoleh hasil perhitungan dalam penelitian ini. Hasil data dari analisis curah hujan rencana



dan Debit air limpasan untuk mengetahui Volume air limpasan yang masuk ke dalam *sump*, sementara hasil analisis debit pompa bertujuan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengeringkan *sump* di Pit IGS.

5. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian dilaporkan secara sistematis mengikuti format yang telah ditetapkan Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

6. Seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

Laporan akhir penelitian yang telah disusun akan dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian sidang. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan. Melalui tahapan ini akan didapatkan saran dan masukan dari tim penguji, pembimbing, dan peserta seminar untuk menyempurnakan laporan tugas akhir penelitian. Laporan tugas akhir yang telah direvisi akan diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operasi Penambangan

Operasi penambangan adalah bagian dari serangkaian operasi ekstraksi mineral dan batubara yang bertujuan untuk menghasilkan bahan tambang yang siap untuk diolah lebih lanjut pada tahap pengolahan dan pemurnian atau untuk dijual langsung dalam bentuk fisik. Kegiatan ini ditandai dengan tiga proses utama yaitu penyebaran, bongkar muat dan pengangkutan material. Berbagai aspek pendukung perlu dilakukan, seperti perencanaan dan perancangan sistem pertambangan, rekayasa geoteknik, keselamatan dan kesehatan kerja, penanganan peralatan, logistik, pengelolaan lingkungan, dan *water management* agar rangkaian pekerjaan ini dapat berjalan secara produktif dan efisien (Gautama, 2019).

Sistem penambangan adalah suatu metode atau teknik yang digunakan untuk membebaskan atau mengeksploitasi endapan mineral yang penting secara ekonomi dari batuan dasar untuk diproses lebih lanjut sehingga dapat menghasilkan keuntungan yang signifikan dengan memberikan keselamatan dan keselamatan kerja yang terbaik serta meminimalkan risiko dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan (Barlow, 2005).

Menurut Simanlangi (2016), metode operasi penambangan dibagi menjadi 4 adalah sebagai berikut:

1. Penambangan permukaan adalah suatu metode penambangan yang seluruh operasi atau operasi penambangannya dilakukan di atas (atau relatif dekat dengan permukaan bumi) dan tempat kerjanya terpapar langsung dengan udara luar.
2. Penambangan dalam/penambangan bawah tanah (*underground mining*) adalah suatu cara penambangan yang seluruh kegiatan atau operasi penambangannya dilakukan di bawah permukaan bumi dan tempat kerja tidak kontak langsung dengan udara luar.



3. Penambangan bawah air adalah suatu cara penambangan yang kegiatan penggaliannya dilakukan di bawah air atau terdapat endapan mineral berharga di bawah air.
4. Penambangan di tempat (*on site mining*). Pemilihan metode penambangan dilakukan atas dasar keuntungan terbesar yang akan diperoleh, dan bukan atas dasar kedangkalan atau kedalaman endapan.

Sistem penambangan yang paling banyak digunakan pada perusahaan penambangan, yaitu sistem penambangan terbuka dan sistem penambangan bawah tanah. Pemilihan sistem penambangan mana yang akan diadopsi untuk tambang bijih atau batubara ditentukan oleh sejumlah faktor, namun pertimbangan utama adalah bentuk dan distribusi deposit material yang ditambang dan lokasinya relatif terhadap permukaan tanah. Secara keseluruhan bentuk deposit hanya menawarkan kemungkinan untuk menerapkan satu sistem penambangan (Gautama, 2019). Metode penambangan permukaan (*surface mining*) merupakan suatu metode penambangan yang seluruh kegiatan penambangan berlangsung di permukaan bumi dan tempat kerja bersentuhan langsung dengan udara luar (Nurhakim, 2004).

Sistem penambangan yang menggunakan metode tambang terbuka yang seluruh operasionalnya berhubungan langsung dengan air yang berasal dari air hujan dan limpasan permukaan. Limpasan dipengaruhi oleh faktor meteorologi, meliputi intensitas, durasi dan distribusi curah hujan (Atika, 2020). Intensitas hujan tergantung pada waktu hujan di suatu daerah. Jika terjadi hujan lebat di daerah tersebut maka eksploitasi juga akan terhenti dan diperlukan saluran untuk mengendalikan air (Budiarto, 2008). Menurut (Mayanti, dkk., 2020; Chakti, 2019; Upomo dan Kusumawardani, 2016) dalam kegiatan pertambangan, permasalahan air tambang tidak hanya terjadi pada musim hujan saja, namun juga pada musim kemarau. Air tanah juga perlu diperhatikan ketika melakukan kegiatan penambangan. Kondisi cuaca ekstrim seperti hujan deras membuat air limpasan permukaan dapat membanjiri lantai dasar sehingga menyebabkan tercampurnya front penambangan (Amarta, 2022; Purwaningsih & Suhariyanto, 2015; Endriantho, 2012). Air hujan tidak hanya berdampak pada wilayah pertambangan ga perubahan luas daerah tangkapan airnya (Nurzanah, dkk., 2022; n, dkk., 2019).



Pengolahan air yang masuk ke dalam suatu wilayah pertambangan ke suatu wilayah yang tidak mempengaruhi kegiatan operasi pertambangan disebut dengan sistem drainase pertambangan atau penyaliran tambang (Gautama, dkk., 1999). Sistem drainase tambang pada tambang permukaan menggunakan metode penyaliran tambang dan *dewatering* tambang atau penirisan tambang dengan analisis saluran terbuka, kapasitas tangki penyimpanan, sistem pemompaan, dan tangki sedimentasi. Analisis didasarkan pada jumlah air yang masuk dan keluar area penambangan. Sebelum dialirkan dari area penambangan dengan pompa, air yang masuk ke area penambangan ditampung terlebih dahulu di dalam sumur atau tangki (Yusran, dkk., 2015).

2.2 Daur Hidrologi

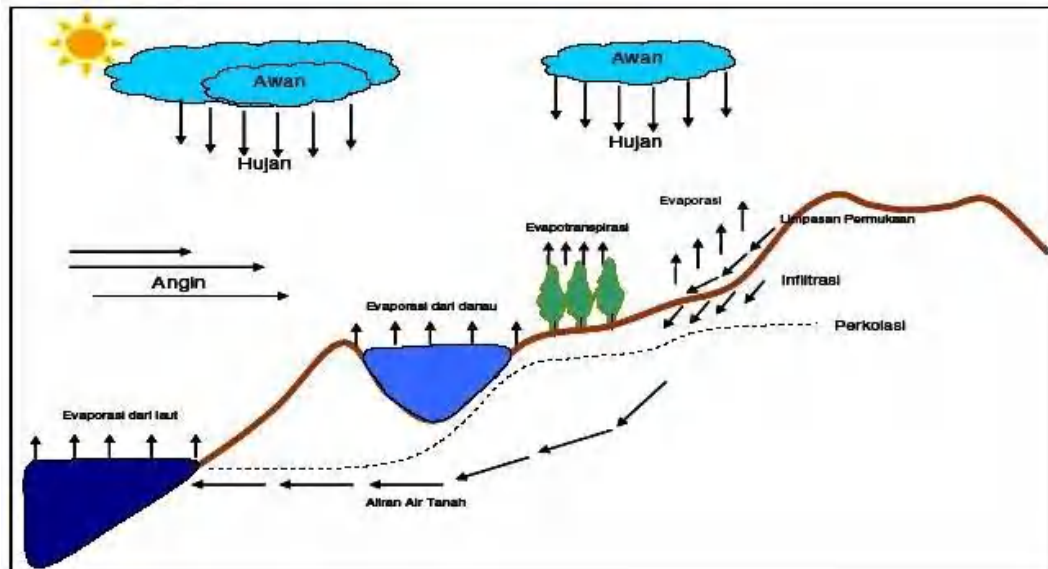
Ilmu yang mempelajari tentang air adalah hidrologi. Hidrologi berasal dari dua kata, yaitu hidro adalah air dan logos yang berarti ilmu pengetahuan. Secara umum hidrologi dapat merujuk pada ilmu yang mempelajari tentang air. Konsep umum tersebut kini telah dikembangkan sehingga cakupan objek hidrologi menjadi lebih jelas. Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari keberadaan, pergerakan dan sebaran air di bumi, baik di atas maupun di bawah permukaan bumi, serta sifat fisik dan kimia air serta reaksinya dengan lingkungan. lingkungan hidup dan hubungannya dengan kehidupan (Chow, 1998) .

Daur hidrologi atau siklus hidrologi adalah pergerakan air laut melalui udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah dan terakhir kembali ke laut. Air laut menguap akibat radiasi matahari menjadi awan, kemudian awan berpindah di bumi karena tertiuip angin. Tumbukan antar titik uap air akibat tekanan angin menyebabkan hujan. Presipitasi terjadi sebagai hujan, salju, hujan es dan embun. Setelah jatuh ke permukaan bumi, presipitasi akan menimbulkan limpasan permukaan dan mengembalikan ke laut. Air yang masuk ke dalam tanah memberi kehidupan bagi tanaman dan sebagian naik melalui akuifer dan diserap oleh akar, batang dan daun, sehingga terjadi transpirasi. Transpirasi adalah penguapan pada tumbuhan melalui



awah daun yang disebut stomata. Peristiwa penguapan yang terjadi di an bumi, sungai dan danau disebut evaporasi. Kedua proses penguapan adi secara bersamaan maka disebut evapotranspirasi (Kurniawan, 2009).

Setelah presipitasi, air akan mengalir ke daerah yang lebih rendah hingga mencapai laut. Aliran air ini dapat berupa aliran permukaan maupun aliran bawah permukaan, setelah dialirkan ke laut, air akan menguap kembali. Untuk lebih jelasnya mengenai siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus hidrologi (Soemarto, 1995)

Siklus hidrologi merupakan proses pengeluaran air dan perubahannya menjadi uap air yang mengembun kembali menjadi air yang berlangsung terus-menerus tiada hentinya. Sinar matahari sebagai sumber panas alami akan mengakibatkan air berubah menjadi uap air dari tanah, sungai, danau, telaga, waduk, laut, kolam, sawah, dan lain-lain dan prosesnya disebut penguapan (evaporation). Penguapan juga terjadi pada semua tanaman yang disebut transpirasi (Soedibyo, 2003).

Siklus hidrologi diawali dengan penguapan air laut ke atmosfer. Uap air di atmosfer akan mengembun dan membentuk awan. Angin akan mendorong awan di atas lautan menuju daratan. Selama perjalanan awan menuju bumi, awan tersebut akan banyak mengandung uap air yang menguap. Awan yang tidak mampu lagi menampung uap air yang naik membuat awan mencapai titik jenuh, sehingga awan akan uap air yang terkumpul kembali ke bumi (Chakti dan Har, 2020). Faktor yang berpengaruh terhadap rancangan sistem penyaliran pada terbuka adalah air hujan dan air tanah (Hartono, 2008).



2.2.1 Presipitasi

Presipitasi adalah peristiwa jatuhnya cairan atmosfer ke permukaan bumi.

Presipitasi dapat terdiri dari beberapa bentuk, yaitu (Budiarto, 2008):

1. Hujan yang merupakan bentuk presipitasi yang paling penting..
2. Embun, merupakan hasil kondensasi di permukaan tanah atau tumbuhan.
3. Salju dan es.

Wilayah Indonesia yang beriklim tropis memiliki bentuk presipitasi yang paling penting yaitu hujan. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya presipitasi adalah (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Adanya uap di atmosfer.
2. Faktor-faktor meteorologis seperti suhu air, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, tekanan, dan sinar matahari.
3. Lokasi daerah berhubungan dengan sistem sirkulasi secara umum.
4. Rintangan yang disebabkan oleh gunung dan lain-lain.

2.2.2 Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air dari permukaan ke dalam tanah. Perkolasi adalah gerakan aliran air di dalam tanah (dari *zone of aeration* ke *zone of saturation*). Infiltrasi berpengaruh terhadap saat mulai terjadinya aliran permukaan dan juga berpengaruh terhadap laju aliran permukaan (*run off*) (Chow *et al.*, 1998). Proses infiltrasi terjadi karena hujan yang jatuh di atas permukaan tanah sebagian atau seluruhnya akan mengisi pori-pori tanah. Curah hujan yang mencapai permukaan tanah akan bergerak sebagai air limpasan (*run off*) atau sebagai infiltrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah sebagai berikut:

1. Faktor tanah terutama yang berkaitan dengan sifat-sifat fisik tanah seperti ukuran butir dan struktur tanah.
2. Vegetasi.
3. Faktor-faktor lain seperti kemiringan tanah, kelembapan tanah dan suhu air.

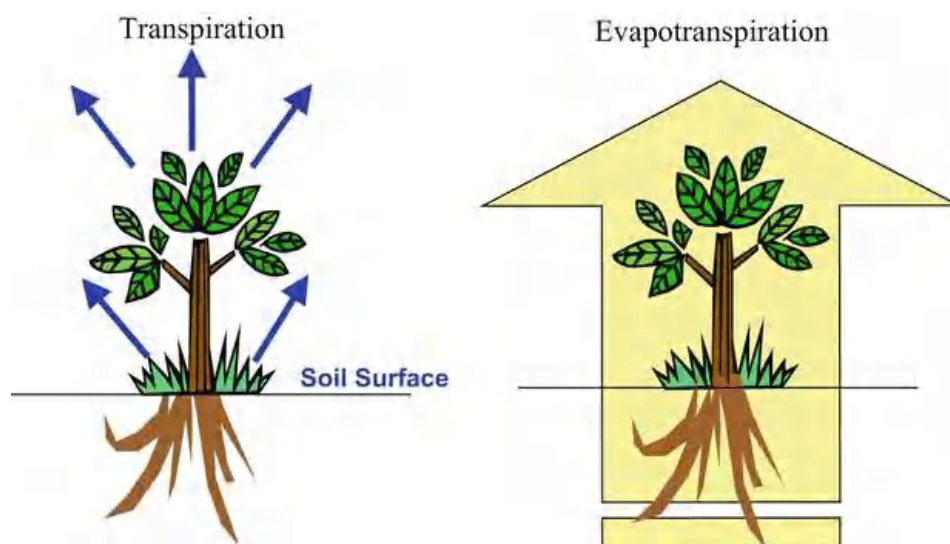


apotranspirasi

nspirasi merupakan gabungan dari evaporasi dan transpirasi. Evaporasi proses pertukaran molekul air di permukaan menjadi molekul uap air di

atmosfer akibat panas, sedangkan transpirasi adalah proses penguapan pada tumbuh-tumbuhan melalui sel stomata. Faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi adalah (Asdak, 2002):

1. Radiasi sinar matahari, karena proses perubahan air dari wujud cair menjadi gas memerlukan panas (penyinaran matahari secara langsung).
2. Angin yang berfungsi membawa uap air dari satu tempat ke tempat lain.
3. Kelembaban relatif.
4. Suhu.
5. Jenis tumbuhan, karena evapotranspirasi dibatasi oleh persediaan air yang dimiliki oleh tumbuh-tumbuhan serta ukuran stomata.
6. Jenis tanah karena kadar kelembaban tanah membatasi persediaan air yang diperlukan tumbuhan.



Gambar 2. Evapotranspirasi

2.2.4 Air tanah

Air tanah adalah semua air yang terdapat di bawah permukaan tanah pada lajur/zona jenuh air (*zone of saturation*). Air tanah terbentuk berasal dari air hujan dan air permukaan, yang meresap (*infiltrate*) mula-mula ke zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan kemudian meresap makin dalam (*percolate*) hingga mencapai zona

dan menjadi air tanah. Berdasarkan dari daur hidrologi tersebut dapat bahwa air tanah berinteraksi dengan air permukaan serta komponen-komponen lain yang terlibat dalam daur hidrologi termasuk bentuk topografi, jenis



batuan penutup, penggunaan lahan, tumbuhan penutup, serta manusia yang berada di permukaan. Air tanah dan air permukaan saling berkaitan dan berinteraksi (Yang *et al.*, 2021).

Air tanah digolongkan menjadi dua jenis, berdasarkan letaknya di permukaan dan berdasarkan asal usulnya. Berdasarkan letaknya, air tanah dibedakan menjadi dua jenis, yaitu air tanah freatik dan airtanah dalam (artesis) (Asdak, 2002).

1. Air tanah freatik mengacu pada air tanah dekat permukaan yang tidak jauh dari permukaan tanah dan terletak di atas lapisan kedap air atau kedap air, seperti air sumur.
2. Air tanah dalam (artesis) adalah air tanah yang terletak di antara lapisan akuifer dan batuan kedap air, misalnya sumur artesis.

Berdasarkan asalnya, air tanah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu air tanah meteorit (bados), air tanah baru, dan air konat.

1. Air tanah meteorit (vados) adalah air tanah yang dihasilkan selama proses kondensasi awan dan presipitasi (hujan), serta bercampur dengan debu meteorit.
2. Air tanah baru merupakan air tanah yang dihasilkan oleh tekanan intrusi magma dari dalam bumi, seperti geyser dan mata air panas.
3. Air konat adalah air tanah yang terkurung pada lapisan batuan purba.

2.2.5 Limpasan (*Run Off*)

Limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah tanpa memperhatikan asal atau jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran. Debit limpasan dapat dihitung dengan persamaan rasional berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

dimana:

- Q = debit limpasan (m³/detik)
 C = koefisien limpasan
 I = intensitas curah hujan (mm/jam)
 A = luas daerah tangkapan (km²)



Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang akan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. DAS disebut

kecil apabila distribusi hujan dianggap seragam dalam ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. Metode rasional sangat sederhana dan sering digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan. Beberapa parameter hidrologi yang diperhitungkan adalah intensitas hujan, durasi hujan, frekuensi hujan, luas DAS, abstraksi (kehilangan air akibat evaporasi, intersepsi, infiltrasi, tampungan permukaan) dan konsentrasi aliran (Triatmodjo, 2008).

2.2.6 Koefisien limpasan

Koefisien limpasan merupakan suatu angka yang menyatakan hubungan antara besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan yang terjadi pada daerah tangkapan air hujan. Nilai daripada koefisien limpasan dapat ditentukan melalui Tabel 1 yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1. Koefisien limpasan

NO	MACAM PERMUKAAN	KOEFISIEN LIMPASAN
1	Lapisan Batubara (<i>Coal Seam</i>)	1
2	Jalan Pengangkutan (<i>Haul Road</i>)	0,9
3	Dasar Pit dan Jenjang (<i>Pit Floor and Bench</i>)	0,75
4	Lapisan Tanah Penutup (<i>Fresh Overburden</i>)	0,65
5	Lapisan Tanah Penutup yang telah ditanami (<i>Revegetated overburden</i>)	0,55
6	Hutan (<i>Natural Rain Forest</i>)	0,5

Sumber: Suripin, 2004

Koefisien limpasan (C) ini berkaitan dengan jenis tanah penutup pada satu daerah tangkapan hujan. Seringkali terdapat lebih dari satu jenis tanah penutup dalam satu daerah tangkapan hujan. Nilai koefisien limpasan yang digunakan merupakan hasil dari pengamatan di lapangan (Ragunath, 2006).

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan koefisien limpasan adalah (Hartonom 2008):

1. Kerapatan vegetasi



daerah yang mempunyai vegetasi yang rapat akan memberikan nilai C yang rendah, karena air hujan tidak dapat langsung menyentuh tanah tetapi akan

tertahan oleh vegetasi tersebut, sedangkan tanah yang gundul akan memberikan nilai C yang tinggi.

2. Kemiringan tanah

Daerah dengan kemiringan tanah yang landai ($< 3\%$) akan memberikan nilai C yang lebih kecil dibandingkan daerah dengan kemiringan sedang hingga curam pada kondisi yang sama.

3. Tata guna lahan

Lahan persawahan atau rawa-rawa akan memberikan nilai C yang kecil daripada daerah hutan atau Perkebunan, karena pada daerah persawahan misalnya padi, air hujan yang jatuh akan tertahan pada petak-petak sawah, sebelum akhirnya menjadi limpasan permukaan.

2.3 Air Hujan

Hujan adalah air yang jatuh ke tanah dan uap air di atmosfer yang mengembun dan jatuh dalam bentuk tetesan air. Presipitasi adalah proses jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, salju, kabut, embun, dan hujan es. Hujan paling sering terjadi di daerah tropis seperti Indonesia, oleh karena itu sering dianggap presipitasi, itulah sebabnya istilah hujan digunakan sebagai pengganti presipitasi. Karena hujan dihasilkan oleh uap air di atmosfer, bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor iklim seperti angin, suhu, dan tekanan. Uap air naik ke atmosfer, mendingin dan mengembun menjadi partikel es dan kristal, yang akhirnya jatuh sebagai hujan. (Sosrodarsono, 1993).

Atmosfer bumi mengandung uap air dalam jumlah besar. Meskipun jumlah uap air di atmosfer sangat kecil dibandingkan gas lainnya, namun uap air merupakan sumber air tawar yang penting bagi kehidupan di Bumi. Air ada di udara dalam bentuk gas (uap air), cairan (tetesan air), dan kristal es. Kumpulan tetesan air dan kristal es berukuran sangat kecil (diameter 2 hingga 40 mikrometer) dan membentuk awan yang melayang di udara. Awan terbentuk oleh pendinginan (kondensasi dan sublimasi) udara lembab yang mengalir ke atas. Proses

an terjadi ketika suhu menurun secara adiabatik seiring bertambahnya n. Partikel debu, kristal garam, dan kristal es yang tersuspensi di udara peran sebagai inti kondensasi dan mempercepat proses pendinginan.



Banyaknya air yang jatuh ke tanah dapat diukur dengan alat pengukur hujan. Sebaran hujan dalam suatu ruang dapat ditentukan dengan mengukur jumlah curah hujan pada beberapa lokasi di suatu wilayah tertentu, sedangkan sebaran temporal dapat ditentukan dengan mengukur jumlah curah hujan dalam waktu tertentu. Hujan merupakan sumber segala air yang mengalir ke sungai dan tampungan di atas dan di bawah permukaan bumi. Besarnya dan variabilitas limpasan sungai bergantung pada jumlah, intensitas, dan distribusi curah hujan. Hubungan antara jumlah limpasan sungai dengan jumlah curah hujan yang turun di daerah aliran sungai. Data catatan curah hujan dapat digunakan dalam upaya memperkirakan limpasan apabila data catatan limpasan tidak ada (Triatmodjo, 2008).

2.3.1 Tipe hujan

Hujan terjadi ketika udara lembab naik ke atmosfer dan mendingin sehingga menyebabkan kondensasi. Kenaikan udara dapat terjadi secara siklonik, orografik, dan konvektif. Berbagai jenis hujan dibedakan tergantung pada bagaimana udara naik. Berikut beberapa jenis hujan (Triatmodjo, 2008):

1. Hujan siklonik

Hujan siklonik terjadi ketika massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relatif berat, dan udara panas bergerak melewati udara dingin. Ketika udara yang mengalir ke atas mendingin, terbentuklah kondensasi, membentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi pada siklus ini disebut hujan siklon. Hujan siklon merupakan hujan yang tidak terlalu deras dan berlangsung lama.

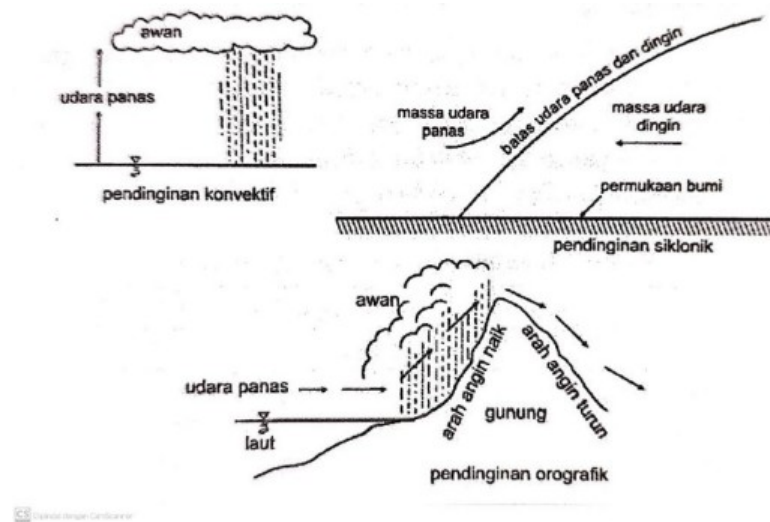
2. Hujan orografik

Hujan medan disebabkan oleh udara lembab yang tertiup angin di daerah pegunungan, naik, mendingin, membentuk awan, dan kemudian turun hujan. Sisi depan gunung yang dilalui udara menerima banyak hujan dan disebut lereng hujan, sedangkan sisi belakang tempat mengalirnya udara kering (sisi tempat uap air berubah menjadi hujan di lereng hujan) disebut lereng bayangan hujan. Kawasan ini tidak permanen dan berubah-ubah tergantung sim (arah angin). Curah hujan orografis terjadi di daerah pegunungan (di daerah aliran sungai) dan menyuplai air tanah, danau, bendungan, dan sungai.



3. Hujan konvektif

Udara di daerah tropis mengalami pemanasan yang kuat di dekat permukaan tanah selama musim kemarau. Pemanasan ini menyebabkan kepadatan udara berkurang, menyebabkan udara lembab naik dan dingin, sehingga menimbulkan kondensasi dan hujan. Hujan yang terjadi selama proses ini disebut hujan konvektif. Hujan konvektif cenderung bersifat lokal, intens, dan durasinya yang singkat. Gambar menunjukkan 3 tipe hujan tersebut.



Gaambar 3 Tipe hujan (Triatmodjo, 2008)

2.3.2 Parameter hujan

Banyaknya air hujan yang jatuh ke permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman (mm), dengan asumsi curah hujan merata di seluruh wilayah daerah tangkapan air. Intensitas curah hujan adalah banyaknya curah hujan dalam satuan waktu dan biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun, dan seterusnya (Sosrodarsono, 1993). Keadaan hujan dan intensitas hujan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Keadaan hujan dan intensitas hujan

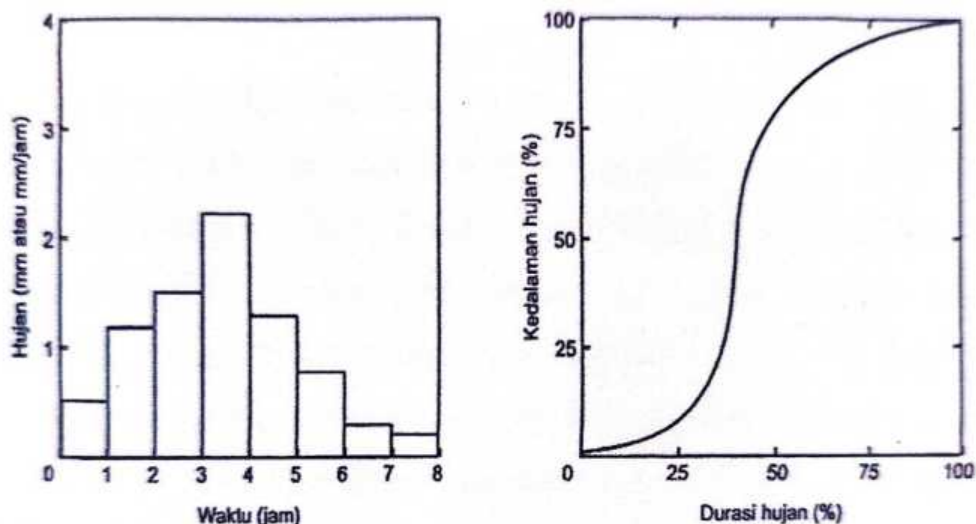
Keadaan Hujan	Intensitas Hujan (mm)	
	1 Jam	24 Jam
Hujan sangat ringan	< 1	< 5
ujan ringan	1-5	5-20
ujan normal	5-10	20-50
ujan lebat	10-20	50-100
in sangat lebat	> 20	> 200

umber: (Sosrodarsono, 1993)



Tabel 2 menunjukkan bahwa curah hujan tidak meningkat secara linier terhadap waktu. Dalam jangka waktu yang lama, hujan dapat berkurang atau berhenti, sehingga tambahan curah hujan akan lebih sedikit dibandingkan dengan waktu tambahan. Durasi hujan adalah waktu mulai turunnya hujan hingga berakhirnya hujan. Durasi hujan dinyatakan dalam jam. Intensitas hujan rata-rata adalah perbandingan kedalaman hujan dengan durasi hujan. Misalnya hujan lebih dari 5 jam menghasilkan kedalaman 50 mm. Artinya rata-rata intensitas hujan sebesar 10 mm/jam. Begitu pula hujan 5 menit berarti 6 mm, artinya intensitas hujannya 72 mm/jam. Daerah tangkapan air yang kecil mungkin perlu diperiksa untuk periode hujan yang sangat singkat, misalnya 5 atau 10 menit. Sebaliknya, daerah tangkapan air yang lebih besar sering kali memerlukan periode curah hujan yang lebih lama, misalnya satu atau dua hari.

Distribusi curah hujan sebagai fungsi waktu menggambarkan perubahan kedalaman curah hujan selama hujan dan dapat dinyatakan dalam bentuk diskrit atau kontinu. Format diskrit yang disebut hietograph. Artinya, histogram kedalaman hujan atau intensitas hujan sebagai sumbu vertikal. Bentuk kontinu mewakili laju curah hujan kumulatif sebagai fungsi waktu. Gambar 4 menunjukkan durasi hujan (sumbu horizontal) dan kedalaman hujan (sumbu vertikal).



Gambar 4. Histogram (kiri) dan hujan kumulatif (kanan) (Triatmodjo, 2008)



it penakar hujan

alah curah hujan yang paling umum diukur. Pengukuran dapat dilakukan langsung dengan mengumpulkan air hujan yang jatuh, namun tidak mungkin

mengumpulkan hujan di seluruh daerah tangkapan air hujan. Curah hujan suatu daerah hanya dapat diukur pada titik-titik tertentu yang telah ditentukan dengan menggunakan alat pengukur hujan. Curah hujan yang diukur dengan alat tersebut mewakili wilayah sekitar. Curah hujan terukur dinyatakan sebagai kedalaman hujan yang turun selama periode waktu tertentu. Pengukuran curah hujan di Indonesia dilakukan oleh beberapa instansi antara lain Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Dinas Pengairan, Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Pertanian dan beberapa pihak baik pemerintah maupun swasta yang peduli terhadap hujan. Badan tersebut mengelola stasiun curah hujannya sendiri. Pengukuran hujan memungkinkan untuk mengidentifikasi dua atau lebih stasiun pengukuran hujan yang berdekatan satu sama lain. Alat pengukur hujan dibedakan menjadi dua jenis yaitu alat pengukur hujan otomatis dan alat pengukur hujan konvensional (Triatmodjo, 2008).

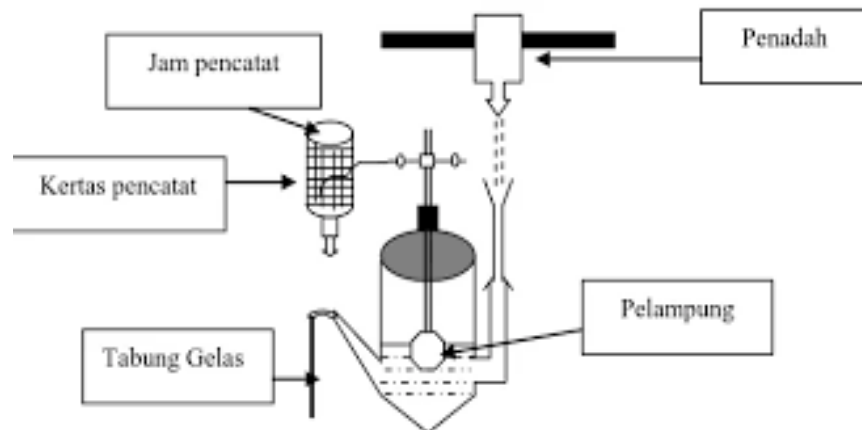
1. Penakar hujan otomatis

Alat pengukur hujan otomatis mengukur hujan secara terus menerus, sehingga Anda dapat mengetahui seberapa deras hujan dan berapa lama berlangsungnya. Alat pengukur hujan otomatis ada beberapa jenis, antara lain alat pengukur hujan jenis pelampung, alat pengukur hujan timba jungkit, dan alat pengukur hujan skala (timbangan).

a. Alat penakar hujan jenis pelampung

Alat pengukur jenis ini menggunakan pelampung untuk mendeteksi kenaikan permukaan air di dalam tangki. Hujan jatuh ke dalam tabung yang berisi pelampung. Pelampung akan terapung jika tinggi air di dalam tabung bertambah. Akibat naiknya pelampung tersebut juga menyebabkan pena yang terhubung dengan pelampung melalui tali penghubung ikut bergerak. Pergerakan pena menimbulkan tanda pada kertas grafik yang digulung pada silinder yang berputar. Jika tabung sudah penuh, otomatis semua air akan mengalir keluar melalui mekanisme sifon yang terhubung. Gambar 5 merupakan alat penakar hujan jenis pelampung.

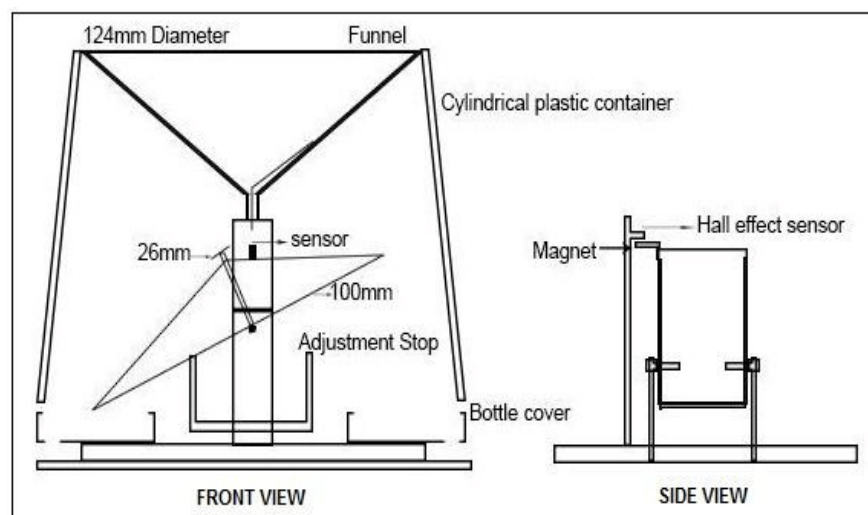




Gambar 5. Alat penakar hujan jenis pelampung (Triatmodjo, 2008)

b. Alat penakar hujan jenis timba jungkit

Alat ukur jenis timba jungkit terdiri dari wadah yang dilengkapi dengan corong. bagian bawah corong dipasang sepasang timba pengukur kecil sehingga jika salah satu tong menerima curah hujan 0,25 mm, timba tersebut akan menjungkit dan mengosongkan isinya ke dalam tangki. Timba lain akan menggantikannya dan hal yang sama akan terulang kembali. Pergerakan timba mengaktifkan sirkuit listrik dan menyebabkan pena bergerak melintasi kertas grafik yang terpasang. Gambar 6 menunjukkan alat penakar hujan jenis timba jungkit.



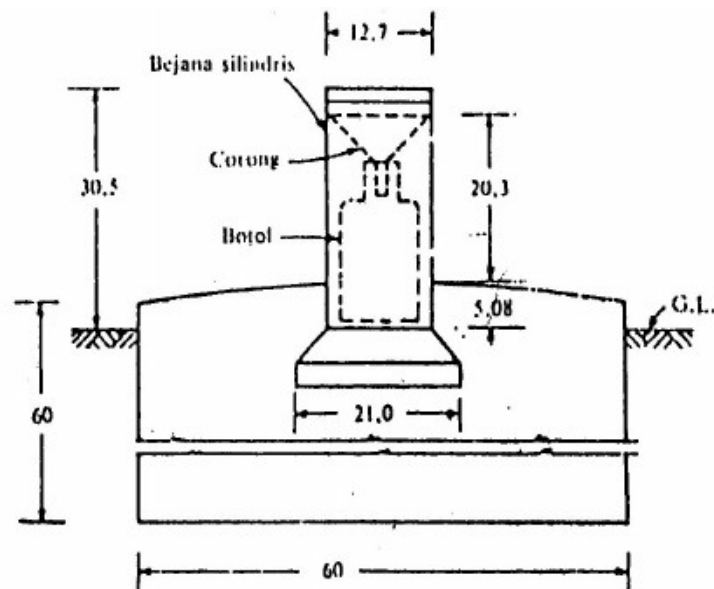
Gambar 6. Alat penakar hujan jenis timba jungkit (Triatmodjo, 2008)



akar hujan manual

it pengukur hujan biasa pada umumnya terdiri dari corong dan botol
ampung di dalam tabung silinder. Alat ini diletakkan di tempat terbuka,

tidak terpengaruh oleh pepohonan dan bangunan di sekitarnya. Air hujan yang jatuh ke dalam corong akan ditampung ke dalam tabung berbentuk silinder. Dengan mengukur volume air yang tertampung dan luas permukaan corong, maka kedalaman hujan dapat ditentukan. Curah hujan kurang dari 0,1 mm dicatat sebagai 0,0 mm, yang perlu dibedakan dengan tidak hujan yang dicatat dengan garis (-). Pengukuran dilakukan setiap hari. Biasanya pengukuran dilakukan pada pagi hari, sehingga jumlah hujan yang dicatat adalah hujan yang terjadi pada hari sebelumnya, sering disebut hujan harian. Dengan alat ini tidak mungkin diketahui intensitas (intensitas) hujan, durasi (durasi) hujan, dan waktu terjadinya. Alat pengukur curah hujan yang khas dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat penakar hujan biasa (Triatmodjo, 2008)

3. Jaringan pengukuran hujan

Perencanaan jaringan alat pengukur hujan sangat penting dalam hidrologi karena jaringan ini akan memberikan kuantitas (pengukuran/jumlah) hujan yang jatuh pada wilayah sungai. Data curah hujan yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis banjir, penentuan banjir terencana, analisis sumber sungai, dll. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan jaringan stasiun pencatat curah hujan di wilayah sungai. Stasiun pencatat hujan harus tersebar secara merata untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan. Jumlah



stasiun pengukur hujan yang dipasang pada suatu DAS harus optimal, tidak terlalu banyak sehingga menimbulkan biaya yang besar, dan juga tidak terlalu sedikit sehingga menyebabkan hasil pencatatan curah hujan tidak dapat diandalkan. Organisasi Meteorologi Dunia memberikan panduan mengenai kepadatan jaringan minimum di beberapa wilayah, seperti yang ditunjukkan pada tabel (1). (Shaw, 1998). Kepadatan jaringan adalah jumlah stasiun per satuan luas di wilayah sungai. Namun pedoman tersebut hanyalah prediksi. Semakin besar variasi curah hujan maka semakin banyak pula jumlah stasiun yang dibutuhkan, misalnya di daerah pegunungan

2.4 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah hujan yang turun di suatu wilayah. Curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan penambangan, karena banyaknya curah hujan di area penambangan akan mempengaruhi jumlah air tambang yang harus diolah (Pradana dan Sepriadi, 2008). Satuan curah hujan adalah mm, artinya banyaknya air hujan yang jatuh per satuan luas wilayah tertentu. Jadi 1 mm berarti pada permukaan 1 m² banyaknya air yang jatuh adalah 1 liter (Asdak, 2002)

Menurut (Salsabila dan Nugraheni, 2020) curah hujan harian, bulanan, dan tahunan pada suatu tempat dapat dilakukan pengukuran dengan menggunakan tiga cara, adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata aritmatika.

Rata-rata jumlah seluruh alat pengukur hujan pada suatu periode curah hujan tertentu dibagi dengan jumlah alat pengukur hujan yang digunakan. Teknik pengukuran ini dianggap sebagai teknik pengukuran yang paling sederhana. Namun dalam mengukur mean aritmatika ini, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu letak alat pengukur hujan. Hujan hendaknya merata dan seragam di daerah pengamatan, terutama dari segi ketinggian.

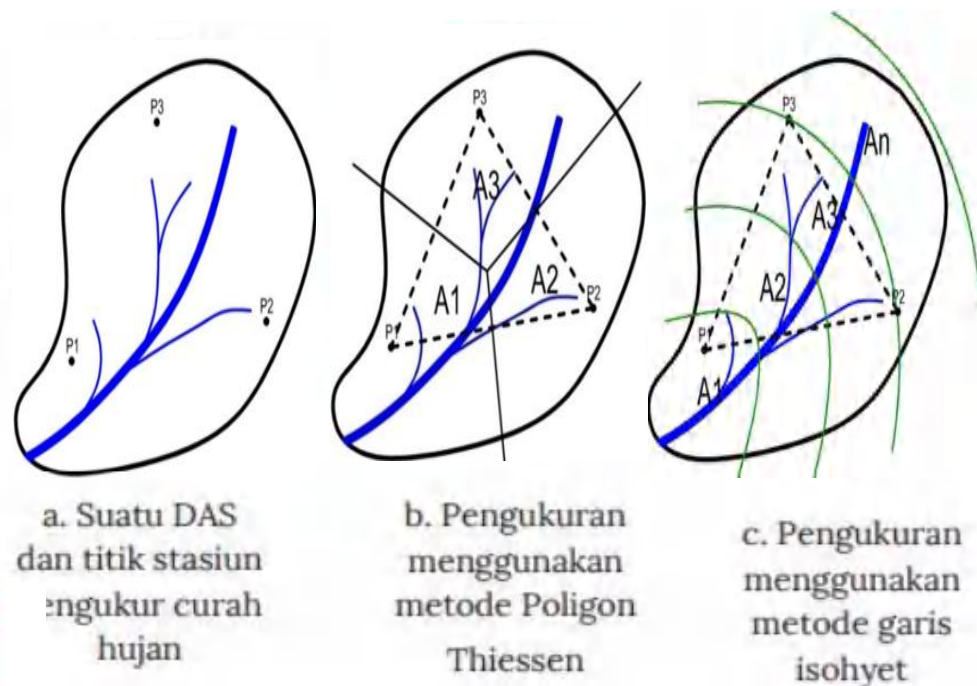
2. Teknik poligon

metode Poligon, koneksi alat pengukur hujan terpasang dengan instrumen (interpolasi). Poligon Thiessen adalah salah satu metode interpolasi yang paling banyak digunakan. Teknik poligon dapat digunakan untuk mengetahui



besarnya curah hujan pada suatu daerah. Teknologi ini tidak cocok digunakan di daerah pegunungan atau daerah dengan curah hujan tinggi. Stasiun terdekat ke titik mana pun dalam suatu cekungan dapat ditemukan dengan menghubungkan stasiun-stasiun yang ada secara grafis, membuat garis vertikal yang memisahkan dua stasiun terdekat, dan membentuk poligon yang mengelilingi setiap stasiun dapat ditentukan karena luas dalam poligon mewakili luas yang paling dekat dengan stasiun di dalamnya, maka pembobotan yang dilakukan pada stasiun tersebut adalah perbandingan luas poligon terdekat dengan luas total daerah aliran sungai.

3. Isohyet, konturnya diinterpolasi dan dihubungkan ke stasiun dengan jumlah curah hujan yang sama. Teknik ini dinilai sebagai teknik terbaik Luas *catchment area* dan luas daerah yang dibatasi oleh garis isohyet dihitung dengan menggunakan planimeter. Curah hujan di suatu *catchment area* dihitung dengan mengalikan luas setiap bagian isohidrik dengan curah hujan dari setiap wilayah yang terkena dampak dan membaginya dengan total luas *catchment area*. Gambar 8 menunjukkan ilustrasi perbedaan metode poligon dan metode isohyet yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 8. Perbedaan metode rata-rata aritmatika, polygon dan isohyet



2.3.1 Periode ulang hujan

Periode ulang curah hujan adalah curah hujan maksimum yang diperkirakan akan terjadi setiap n tahun. Apabila data curah hujan mencapai nilai tertentu (x) yang diperkirakan terjadi setiap n tahun sekali, maka n tahun dapat dianggap sebagai periode ulang x . Rumus distribusi Gumbel yang memperhitungkan rata-rata curah hujan, curah hujan rata-rata, *standard deviation*, *reduced standard deviation*, *reduced variate*, dan reduced mean digunakan untuk menghitung curah hujan rencana.

Periode ulang curah hujan didefinisikan sebagai periode di mana curah hujan dalam jumlah tertentu akan sama atau melebihi satu kali dalam periode waktu tertentu. Misalnya, dengan periode ulang curah hujan 10 tahun, kejadian terkait (hujan, banjir) rata-rata terjadi setiap 10 tahun sekali. Peristiwa ini tidak harus berlangsung selama 10 tahun tetapi rata-rata setiap 10 tahun sekali, misalnya 10 kali dalam 100 tahun, 25 kali dalam 250 tahun, dan seterusnya. Siklus berulang ini menjelaskan bahwa semakin panjang siklus berulang maka curah hujan semakin besar. Penentuan kapan akan turunnya hujan sebenarnya lebih fokus pada permasalahan yang perlu diselesaikan secara perencanaan.

Periode ulang adalah waktu hipotetis di mana suatu peristiwa dengan nilai tertentu, misalnya hujan rencana, mencapai atau melampaui satu kali dalam periode hipotetis tersebut. Periode ulang curah hujan membantu mengidentifikasi dan merencanakan kejadian curah hujan ekstrem yang mungkin terjadi di masa depan.

Periode ulang juga dapat diartikan bahwa curah hujan yang direncanakan diulangi secara berkala pada setiap periode ulang. Curah hujan rencana ditentukan dengan menggunakan analisis frekuensi atau distribusi probabilitas (Kamiana, 2011).

Kemungkinan terjadinya fenomena ekstrim seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan dapat dijelaskan dengan menganalisis secara statistik sejarah terjadinya fenomena tersebut di wilayah serupa. Rencana desain struktur (sump) tidak hanya

berdasarkan aspek ekonomi, tetapi juga memperhitungkan parameter tas kejadian di area penambangan, sehingga rencana atau insinyur frekuensi desain yang sesuai untuk struktur tersebut. Frekuensi perkiraan



terjadinya banjir tertentu adalah kebalikan dari probabilitas atau kemungkinan terjadinya banjir yang sama atau lebih besar pada tahun tertentu. Banjir yang mempunyai peluang 20% atau lebih terjadi setiap lima tahun (Kaltim Prima Coal, 2015). Tabel 3 menunjukkan probabilitas kejadian untuk frekuensi desain standar.

Tabel 3. Probabilitas kejadian untuk frekuensi desain standar

Frekuensi (Tahun)	Probabilitas (%)
2	50
5	20
10	10
25	4
50	2
100	1

Sumber: *Guidline of Mine Water Managemen* (PT Kaltim Prima Coal)

Berdasarkan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa banjir 5 tahunan tidak selalu sama besarnya atau melebihi banjir setiap 5 tahun. Ada kemungkinan 20% bahwa banjir akan sama atau lebih besar setiap tahunnya. Probabilitas banjir 5 tahunan kemungkinan besar akan terjadi beberapa tahun berturut-turut. Alasan yang sama juga berlaku untuk banjir dengan periode ulang yang berbeda.

Tujuan analisis periode ulang hujan adalah menggunakan distribusi probabilitas untuk menentukan besarnya kejadian ekstrem dalam kaitannya dengan frekuensinya. Penentuan periode ulang hujan dalam perencanaan sistem penyaliran tambang dapat didasarkan pada nilai acuan periode ulang. Analisis curah hujan maksimum tahunan pada periode ulang hujan yang berbeda menjadi dasar perhitungan ekonomis dan perencanaan pekerjaan irigasi seperti saluran, gorong-gorong, tanggul, serta untuk penentuan koefisien saluran (Bhakar et al., 2006). Tabel 4 menunjukkan penentuan besaran periode ulang hujan yang digunakan.

Tabel 4. Periode ulang hujan rencana



Keterangan	Periode ulang hujan
erbuka	0,5
umbang	2-5

Keterangan	Periode ulang hujan
Lereng-lereng tambang dan penimbunan	5-10
Sump utama	10-25
Penyaliran keliling tambang	25
Pemindahan aliran sungai	100

Sumber: (Mudjonarko, 2009)k

2.3.3 Daerah tangkapan hujan

Daerah tangkapan air hujan adalah suatu daerah dimana pada saat hujan air hujan mengalir ke daerah yang lebih rendah menuju titik pengaliran. Air yang jatuh di permukaan sebagian akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi), sebagian lagi tertahan oleh tanaman (intersepsi), dan sebagian lagi mengisi lekukan permukaan tanah dan mengalir ke daerah yang lebih tinggi (Pradana dan Sepriadi, 2020).

Daerah tangkapan air (*catchment area*) adalah suatu daerah tangkapan air hujan yang batas-batas daerah tangkapan airnya ditentukan berdasarkan titik elevasi tertinggi, sehingga menghasilkan suatu poligon tertutup yang polanya disesuaikan dengan kondisi topografi dengan mengikuti arah arus air. Berdasarkan dalam kasus limpasan hujan, jika daerah tangkapan air terbatas, maka jumlah tangkapan diperkirakan terkonsentrasi pada ketinggian terendah daerah tangkapan air (Suwandhi, 2004).

Air yang jatuh ke permukaan bumi sebagian ada yang meresap, ada yang tertahan oleh tumbuhan, dan ada pula yang mengalir ke lapisan bawah, mengisi cekungan dan patahan di permukaan bumi. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi sebagian ada yang mengalami transpirasi dan ada pula yang mengalami evaporasi. Tidak semua air yang mengalir merupakan sumber sistem penirisan. Kondisi ini bergantung pada daerah tangkapan hujan dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi topografi, rapat atau tidaknya vegetasi, dan kondisi geologi. Setelah daerah tangkapan air ditentukan, kemudian ditarik sambungan dari titik-titik

di sekitar tambang hingga membentuk poligon tertutup, dengan catatkan kemungkinan arah aliran air, dan luasnya diukur pada peta kontur (Masono & Takeda, 2003).



2.3.3 Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan rencana yang dirancang untuk menentukan debit air limpasan untuk penentuan dimensi penampang saluran terbuka. Intensitas curah hujan yang direncanakan, didapatkan dengan mengolah data menggunakan metode empiris dengan menggunakan rumus Mononobe. Intensitas curah hujan bervariasi secara ruang dan waktu pada lokasi geografis dan iklim, dan berkaitan erat dengan durasi hujan. Kedalaman curah hujan yang berbeda pada periode curah hujan yang sama menghasilkan rata-rata intensitas curah hujan yang berbeda (Tunas et al., 2016). Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan (mm) yang turun dalam kurun waktu tertentu (jam). Intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

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

dimana:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

T = lamanya curah hujan (menit)

R_{24} = curah hujan rencana harian (mm)

Hujan diklasifikasikan berdasarkan nilai curah hujan. Curah hujan tidak meningkat secara proporsional seiring waktu. Jika waktunya ditentukan lama, maka dalam kondisi tertentu peningkatan curah hujan akan lebih kecil daripada perubahan waktu, dan curah hujan dapat berkurang atau berhenti. Derajat dan intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Derajat dan intensitas curah hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)	Kondisi
	24 Jam	
Hujan Sangat Ringan	< 5	Tanah basah atau dibasahi sedikit
Ringan	5-20	Tanah menjadi basah semuanya
Normal	20-50	Bunyi curah hujan terdengar



Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm) 24 Jam	Kondisi
Hujan Lebat	50-100	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan terdengar bunyi keras dari suara hujan
Hujan Sangat Lebat	>100	Genangan hujan seperti ditumpahkan

Sumber: (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

2.3.4 Waktu konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan partikel air hujan untuk mengalir dari titik terjauh catchment area ke titik pandang atau titik penyaliran. Metode yang digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi adalah metode Kirpich yang dijelaskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

$$S = \frac{\alpha}{45} \times 100\%$$

$$\tan \alpha = \frac{\Delta H}{L}$$

Keterangan:

T_c = Waktu terakumulasinya air (menit)

L = Jarak tempuh sampai titik pengaliran (m)

ΔH = Beda ketinggian dari titik terjauh sampai ke tempat akumulasi air (m)

S = Kemiringan saluran

α = Sudut kemiringan saluran

Waktu konsentrasi tergantung pada karakteristik daerah tangkapan air, penggunaan lahan, dan jarak jalur air dari titik terjauh ke stasiun tujuan. Konsentrasi aliran dalam suatu DAS dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis respon DAS. Tipe terjadi ketika durasi curah hujan efektif bertepatan dengan waktu isi t_c ($t_r = t_c$), dengan kondisi tersebut, seluruh air hujan yang jatuh di DAS konsentrasi pada titik acuan sehingga aliran mencapai maksimum. Ketika hujan



berhenti dan aliran berikutnya di titik kontrol tidak lagi mengalir ke seluruh DAS, maka laju aliran secara bertahap menurun dan akhirnya kembali ke nol. Karena debit akhir pada titik acuan adalah air hujan yang berasal dari titik terjauh, maka waktu mundurnya sesuai dengan waktu konsentrasi dan hidrografnya menjadi segitiga. Cekungan jenis ini disebut aliran terkonsentrasi.

Tipe kedua terjadi bila durasi hujan efektif lebih lama dibandingkan waktu konsentrasi ($t_r > t_c$). Debit terkonsentrasi pada titik kontrol dan debit maksimum tercapai setelah waktu aliran bertepatan dengan waktu konsentrasi. Ketika curah hujan terus berlanjut dan debit tetap konstan bahkan pada debit maksimum, maka seluruh DAS terus menyumbang limpasan ke titik kendali. Ketika hujan berhenti, debit secara bertahap berkurang dan kembali ke nol. Masa resesi sama dengan masa konsentrasi. Jenis reaksi cekungan ini disebut aliran superkonsentrasi.

Tipe ketiga terjadi apabila durasi hujan efektif lebih pendek daripada waktu konsentrasi ($t_r < t_c$). Keadaan ini membuat debit aliran di titik control tidak mencapai nilai maksimum. Setelah hujan berhenti, aliran berkurang sampai akhirnya menjadi nol. Tipe tanggapan DAS seperti ini disebut sebagai aliran subkonsentrasi.

durasi curah hujan apabila lebih pendek dari waktu konsentrasi, maka intensitas curah hujan akan tinggi, namun hanya sebagian daerah tangkapan air yang berkontribusi terhadap limpasan. Peristiwa ini menyebabkan aliran pada stasiun yang diteliti menjadi lebih kecil dibandingkan jika durasi curah hujan sama dengan waktu konsentrasi. Oleh karena itu, laju debit aliran maksimum bila durasi hujan sesuai dengan waktu konsentrasi.

2.5 *Mine Dewatering*

Mine dewatering merupakan suatu teknik untuk menyelesaikan permasalahan yang timbul pada berbagai lokasi konstruksi dan pertambangan. Rancangan dan penerapan teknik pengurangan air tanah yang tepat diperlukan agar dewatering dapat dilakukan secara efektif. Desain sistem *dewatering* mencakup jumlah sumur, konfigurasi dan jaraknya, serta laju pemompaan dan pengolahan air limbah.



Jumlah total air yang harus dipompa untuk mencapai tujuan pengeringan in-situ/pengurangan tekanan injeksi yang diinginkan adalah tujuan utama dari setiap sistem *dewatering* yang dievaluasi secara analitis atau numerik. Meskipun kedua metode ini didasarkan pada kombinasi Hukum Darcy dan persamaan kontinuitas, model numerik lebih unggul dalam mensimulasikan aliran air tanah karena dapat menyelesaikan beberapa parameter, seperti ketebalan jenuh yang selaras dan memperhitungkan perubahan kuantitasnya selama proses pemompaan (Barlow, 2005).

Rancangan sistem *dewatering* tidak hanya didasarkan pada studi hidrogeologi, namun juga pada penggunaan air untuk produksi yang direncanakan. Sejumlah penelitian telah menggunakan konsep pembandingan penggunaan air di tambang terhadap produksinya (Conradie, 2018). Gabungan antara kedua nilai tersebut menghasilkan perkiraan kuantitas air puncak yang perlu dibuang. Oleh karena itu, kriteria desain sistem *dewatering* harus mencakup pompa yang ditentukan sesuai dengan jumlah air tanah dan jumlah produksi puncak yang diharapkan selama umur tambang (LOM) (Venter, 2020).

Sistem drainase tambang merupakan upaya membuang air yang masuk ke dalam area penambangan sehingga proses penambangan dapat dilakukan dengan aman. Fokus utamanya adalah pada pengolahan air dari air hujan. Berbagai metode distribusi drainase tambang, yaitu:

1. Sistem kolam terbuka

Sistem ini digunakan untuk mengolah air yang masuk ke area penambangan. Air ditampung di sumur (*sump*) dan dipompa keluar. Jumlah pompa yang dipasang tergantung pada kedalaman penggalian.

2. Saluran terbuka

Distribusi saluran terbuka merupakan cara yang paling mudah. Tujuan pembuatan saluran terbuka adalah untuk menyerap limpasan air yang mengalir ke lokasi penambangan. Air limpasan memasuki saluran dan mengalir ke daerah tangkapan air atau saluran pembuangan langsung ke tempat pembuangan sampah dengan menggunakan gravitasi.

tem terowongan



Metode ini umum digunakan untuk pengolahan air pada tambang terbuka pada berbagai tingkatan. Saluran air horizontal dimulai dari bengkel, melewati poros yang dibangun di lereng bukit, dan mengalirkan air yang masuk ke bengkel. Pembuangan dalam sistem ini biasanya mahal karena biaya pembuatan saluran horizontal.

Penirisan tambang (*mine dewatering*) berarti mengendalikan air tanah dan air permukaan yang seringkali mengganggu operasional pertambangan, baik permukaan, bawah tanah, maupun batubara. Curah hujan yang tinggi meningkatkan jumlah air yang terkumpul di dasar tambang sehingga menyebabkan operasional penambangan terhenti dan produksi tidak maksimal.

Banjir di lokasi penambangan merupakan masalah besar bagi perusahaan pertambangan, karena air yang masuk ke lokasi penambangan dapat mengganggu operasional penambangan dan menghambat produksi. Bagian integral dari operasi penambangan batubara yaitu pengendalian air permukaan dan air tanah. Oleh karena itu, faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain sistem pengendalian curah hujan rata-rata, debit air minimum, dan kualitas air maksimum (Arnando, 2018).

2.6 Pompa dan Pipa

2.5.1 Pompa

Pompa merupakan alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat lain. Pompa dalam operasi penambangan, digunakan untuk membuang air dari tambang. Salah satu jenis pompa yang banyak digunakan untuk dewatering tambang adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal bekerja berdasarkan putaran impeller di dalam pompa. Air yang masuk diputar oleh *impeller* dan dibuang menuju *outlet* pompa. Pompa jenis ini banyak digunakan di tambang karena mampu memompa lumpur, berkapasitas besar dan mudahnya. Pemasangan pompa dapat dilakukan secara seri dan paralel. Pompa-rsebut dihubungkan secara seri karena *head* pompa yang digunakan tidak tuk menaikkan air sampai ketinggian tertentu. Alasan pemasangan pompa



secara paralel adalah kapasitas debit pompa yang digunakan tidak mencukupi untuk mengalirkan air. Oleh karena itu perlu digunakan dua atau lebih pompa yang dipasang secara paralel (Tahara, 2004).

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu zat cair dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan zat cair tersebut. Peningkatan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan penyaliran. *Head* adalah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan sejumlah air dalam kondisi tertentu. Semakin besar debit pemompaan maka *head*-nya semakin besar (Sularso dan Tahara, 1983). Tujuan menggunakan sistem pemompaan yaitu air tambang yang umumnya telah dikumpulkan pada sumuran (*sump*) dialirkan ke luar tambang (Tahara, 2004). Pompa digunakan dalam kegiatan penanganan air apabila air yang masuk ke bukaan tambang tidak dapat dialirkan menurut hukum gravitasi. Air yang keluar dari *sump* dianggap sebagai kapasitas pompa, karena penguapan dianggap tidak berpengaruh (Hamid, 2020)

Pompa adalah suatu alat mekanis yang digunakan untuk memindahkan atau membuang air dari lokasi yang rendah, misalnya sumur di lokasi penambangan, ke lokasi yang lebih tinggi. Menurut prinsip pengoperasiannya, pompa diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu (Wheeler, 1998):

1. Pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal bekerja berdasarkan putaran impeller di dalam pompa. Air yang masuk diputar oleh impeller, dan gaya sentrifugal yang dihasilkan menyebabkan air terhembus menuju saluran keluar pompa. Pompa jenis ini sering digunakan di pertambangan karena dapat memompa air berlumpur, berkapasitas besar dan mudah perawatannya.

2. Pompa aksial

Pompa aksial beroperasi ketika fluida mengalir secara aksial melalui kipas. Umumnya bentuk kipas menyerupai baling-baling kapal. Pompa ini dapat perasikan secara vertikal maupun horizontal. Pompa jenis ini digunakan uk head yang rendah.
npa piston



Pompa piston mengandalkan gerakan maju mundur horizontal piston di dalam silinder. Keuntungan dari jenis ini adalah efisien meskipun dalam volume kecil dan biasanya dapat mengakomodasi kebutuhan energi yang tinggi. Kerugiannya adalah berat dan memerlukan perawatan yang cermat. Pompa jenis ini tidak cocok untuk air berlumpur karena katup pompa mudah pecah. Oleh karena itu, pompa jenis ini tidak cocok digunakan di pertambangan.

Produsen pompa biasanya akan menyediakan kurva karakteristik yang menunjukkan kinerja pompa dalam kondisi operasi masing-masing (Gulich, 2007). Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena sebagian energi tersebut hilang dalam bentuk loss (Raharjo dan Karnowo, 2008). Pada saat pemompaan terkadang diperlukan laju aliran atau *head* pompa (pressure head) yang lebih besar, sedangkan setiap pompa mempunyai kapasitas untuk mencapai laju aliran atau head pompa tertentu. Oleh karena itu, dua pompa atau lebih dapat dipasang secara bersamaan paralel atau seri.

Sistem pemasangan rangkaian pompa pada *dewatering pump* terbagi menjadi tiga macam, yaitu (Silvika, dkk., 2018):

1. Sistem rangkaian pemompaan dengan satu unit pompa (tunggal)

Metode ini merupakan salah satu rangkaian dalam sistem pemompaan pada *dewatering pump* yang mana mesin pompa yang digunakan berjumlah satu.

2. Sistem rangkaian pemompaan seri

Sistem pemompaan seri merupakan dasar pompa multi tingkat (*multi stage pump*), yang mana debit dari pompa pertama (tingkat pertama) dikirim ke pipa hisap pompa kedua dan seterusnya. Debit yang sama mewakili masing-masing pompa menerima tekanan perkuatan (*boost*) pompa berikutnya.

3. Sistem rangkaian pompa *parallel*

Stasiun pompa sering terdiri dari beberapa pompa yang dipasang secara *parallel*. Pompa dalam susunan *parallel*, dapat dioperasikan secara individual atau bersama-sama. Tujuan dari pemasangan pompa *parallel* adalah untuk membuang air dengan debit yang bervariasi. Hal ini sering dialami pada



sistem drainase di mana pada saat debit puncak, jumlah air yang harus dibuang sangat besar, sementara pada kondisi normal jauh lebih kecil.

Istilah julang (*head*) dikenal dalam pemompaan, yaitu energi yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah air pada kondisi tertentu. Semakin besar debit air yang dipompa, maka *head* juga akan semakin besar. *Head* total pompa untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan diterapkan oleh pompa tersebut, sehingga julang total pompa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H = h_s + h_f \quad (3)$$

dimana:

H = *head* Total Dinamik (*total dynamic head*) (m)

h_s = *head* statis (m)

h_f = *head* gesekan (m)

Perhitungan berbagai julang (*head*) pada pemompaan:

1. *Head* Statis

Head statis yaitu berkurangnya kemampuan dari pompa akibat dari perbedaan elevasi air masuk dan air keluar pada pipa. Hasil perhitungan didapatkan head statis dari perbedaan antara elevasi air masuk dan keluar dari pipa.

$$h_s = h_2 - h_1 \quad (4)$$

dimana:

h_s = *head* statis (m)

h_1 = elevasi sisi isap (m)

h_2 = elevasi sisi keluar (m)

2. *Head* gesekan

Head gesekan adalah perubahan tekanan air yang disebabkan oleh pengaruh gesekan pada suatu pipa dengan memperhatikan faktor kekasaran, panjang pipa, dan gaya gravitasi bumi. Kehilangan energi disebabkan oleh turbulensi dan viskositas fluida dan kekasaran dinding. Hal ini menciptakan gaya gesekan yang menyebabkan hilangnya energi di sepanjang pipa meskipun semuanya seragam. Perhitungan head gesekan sangat dipengaruhi oleh



spesifikasi pipa yang digunakan, karena nilai faktor kehilangan yang berbeda-beda. Rumus untuk menentukan kehilangan energi akibat gesekan air dalam pipa didasarkan pada rumus dan metode Darcy-Weisbach sebagai berikut.

$$h_f = (L : 100) \times \text{Head Loss sesuai spesifikasi pipa} \quad (5)$$

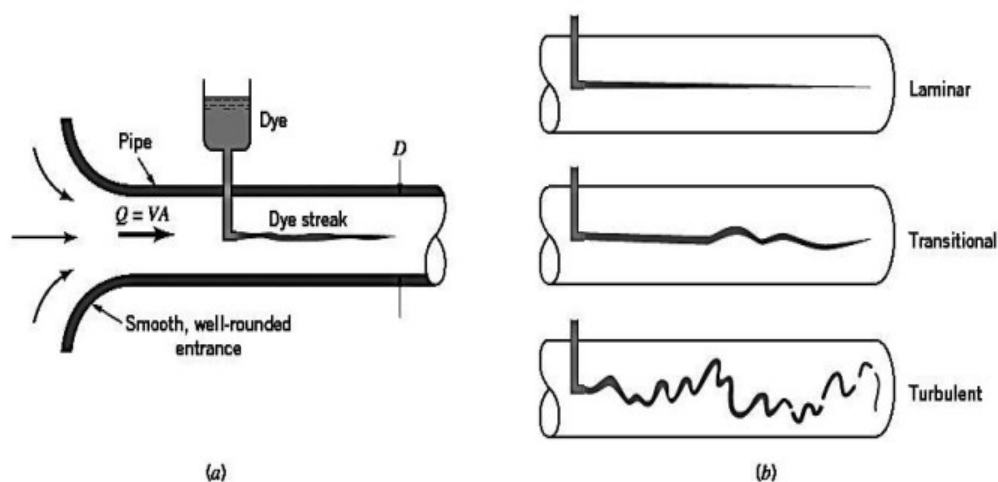
dimana:

$$h_f = \text{head gesekan (m)}$$

$$L = \text{panjang pipa (m)}$$

2.5.2 Aliran fluida

Aliran fluida adalah pergerakan fluida membentuk aliran dengan kecepatan tertentu. Penanda jalur aliran terletak pada garis singgung antara setiap titik gerak fluida dengan vektor kecepatan yang diamati. Jenis aliran fluida dapat dilihat pada gambar. Berdasarkan jalur alirannya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran stasioner dan aliran non-stasioner. Aliran stasioner terbentuk ketika jalur aliran berimpit dengan jalur aliran. Aliran stasioner dan non stasioner tersebut pada akhirnya membentuk suatu tabung aliran, yaitu suatu ruang berbentuk tabung dengan penghalang berupa sekumpulan tabung aliran (Suharto & Bambang, 2013).



Gambar 9. Tipe aliran fluida dalam pipa (Suharto & Bambang, 2013)

cepatan aliran fluida berbeda-beda pada tiap penampang dan ditentukan dari jumlah tabung alirannya. Aliran fluida ini diamati dalam bentuk cairan



yang mengalir dengan satuan waktu sepanjang bagian pengaliran. Satuan yang digunakan untuk menetapkan nilai alirannya dapat berupa satuan volume, satuan berat atau satuan massa dari tiap unit. Pada cairan yang tidak mengalami tekanan akibat keberadaan aliran stasioner, nilai kecepatan alirannya selalu konstan pada tiap bagian dari tabung alirannya (Suharto & Bambang, 2013).

1. Aliran laminar

Aliran laminar merupakan aliran fluida yang timbul karena tidak adanya gangguan pada aliran fluida pada setiap lapisan sejajar. Kondisi ini berarti jalur aliran masing-masing fluida tidak berpotongan. Ciri-ciri aliran laminar adalah tidak membentuk pusaran, memotong atau mencampurkan aliran. Setiap partikel dalam cairan bergerak dengan kecepatan sangat lambat. Pembentukan aliran laminar juga dapat terjadi pada fluida yang sangat tinggi tingkat kekentalannya. Difusi momentum dalam aliran laminar sangat besar. Sebaliknya momentum konvektif yang dihasilkan oleh aliran laminar sangat kecil. Nilai bilangan Reynolds pada aliran laminar selalu kurang dari 2000. Setelah waktu dan kondisi tertentu, aliran laminar akan berubah menjadi aliran turbulen (Kindangen & Jeffrey, 2017).

2. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran fluida yang mempunyai bentuk peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen. Adanya aliran transisi disebabkan oleh perbedaan sifat antara aliran laminar dan turbulen. Perbedaan sifat ini terutama disebabkan oleh hilangnya energi akibat gesekan. Hilangnya energi ini terjadi selama pengaliran fluida. Keadaan aliran transisi dapat diketahui dengan nilai bilangan Reynolds. Aliran transisi dapat terbentuk ketika jumlah aliran laminar Reynolds meningkat. Nilai bilangan Reynolds untuk aliran transisi berada dalam kisaran bilangan Reynolds untuk aliran laminar dan turbulen. Kisaran nilainya adalah 2000 hingga 4000. Kisaran nilai aliran fluida sesuai dengan tingkat kebisingan lainnya. Setelah waktu tertentu dan kondisi tertentu, aliran transisi akan berubah menjadi aliran turbulen. Arus

transisi sering kali terbentuk ketika aliran udara bertabrakan dengan benda lengkung. Permukaan benda tumbukan umumnya berbentuk bola (Kindangen & Jeffrey, 2017).



3. Aliran turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran fluida yang memiliki kecepatan yang berubah-ubah, di dalam aliran turbulen terdapat partikel-partikel yang bergerak secara acak dan tidak stabil. Garis aliran pada masing-masing partikel dalam aliran turbulen selalu saling berpotongan satu dengan yang lain. Aliran turbulen hanya dapat terbentuk pada kecepatan fluida yang sangat tinggi dengan nilai kecepatan yang selalu berubah-ubah setiap waktu. Aliran turbulen umumnya hanya terbentuk dalam waktu yang singkat. Persamaan matematika yang digunakan agar suatu aliran disebut sebagai aliran turbulen adalah bilangan Reynolds tak-berdimensi. Suatu aliran fluida dinyatakan sebagai aliran turbulen ketika bilangan Reynolds mencapai lebih dari 4000. Perhitungan bilangan Reynolds pada aliran turbulen menambahkan faktor gaya inersia, tetapi tidak menambahkan faktor gaya akibat kekentalan (Suharto & Bambang, 2013).

2.5.3 Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang digunakan untuk mengalirkan suatu fluida. Pipa untuk penggunaan pompa biasanya terbuat dari baja dan berbagai jenis bahan pipa. Jenis pipa yang umum digunakan di pertambangan yaitu pipa HDPE (*High-Density Polietilen*). Jenis bahan pipa apapun yang digunakan, jika pipa yang digunakan tidak sesuai dengan keluaran pompa atau besarnya tekanan pompa, maka perhatian harus diberikan pada kemampuan memberi tekanan pada cairan di dalam pipa. Sistem perpipaan sangat erat kaitannya dengan kebutuhan daya dan head pompa. Hal ini dikarenakan sistem perpipaan tidak terlepas dari gaya gesek pada pipa, tikungan, cabang, geometri katup, dan peralatan perpipaan lainnya. Hal ini mengakibatkan hilangnya energi dan menyebabkan penurunan tekanan di dalam pipa (Tahara, 2004).

Pipa sistem drainase adalah pipa yang digunakan dalam proses pengelolaan air untuk mengurangi atau membuang air pada suatu area tertentu, seperti: Lokasi tambang, pekerjaan bawah tanah. Pipa merupakan suatu saluran yang biasanya mempunyai penampang melingkar dan digunakan untuk kut zat cair dalam pola aliran yang lengkap. Cairan yang mengalir dalam



pipa dapat berupa cairan atau gas, dan tekanannya dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari tekanan atmosfer (Triadmodjo, 2008).

Fluida yang mengalir dalam medan tak terhingga (pipa, saluran terbuka, atau bidang) terkena tegangan geser dan gradien kecepatan melintasi medan aliran karena viskositas. Tegangan geser ini menyebabkan hilangnya energi selama aliran. Kehilangan energi sekunder timbul dari perubahan penampang pipa, sambungan pipa, tikungan pipa, dan katup. Kehilangan energi sekunder dalam hal ini dapat diabaikan, karena untuk pipa yang panjang, kehilangan energi primer biasanya lebih besar dibandingkan dengan kehilangan energi sekunder. Kehilangan energi sekunder pada pipa pendek, harus diperhitungkan. Perubahan penampang dan pembengkokan dilakukan secara bertahap untuk meminimalkan kehilangan energi sekunder (Oemiati et al. 2017). Kehilangan energi yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa, untuk sudut belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur) kehilangan tenaga tergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter piap. Kehilangan energi akibat gesekan pada pipa disebut juga kehilangan energi primer. Berikut merupakan tabel penentuan faktor kehilangan sesuai dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai beirkut.

Tabel 6. Faktor kehilangan sesuai dengan spesifikasi pipa (Rowan, 2008)

Pipa Polyethylene PN 8 (PE 63) PE 10 (PE 80) PN 12.5 (PE 100) Based on AS 4130-1997				
Debit Aliran (L/Detik)	Faktor Kehilangan Diameter Pipa			
	10 Inch	11 Inch	12 Inch	14 Inch
12	0,05			
13	0,06			
14	0,07			
15	0,08			
16	0,09	0,06		
18	0,11	0,07		
20	0,14	0,08		
22	0,15	0,09	0,05	
24	0,19	0,11	0,06	
26	0,22	0,13	0,07	



Pipa Polyethylene
PN 8 (PE 63) PE 10 (PE 80) PN 12.5 (PE 100) Based on AS 4130-1997

Debit Aliran (L/Detik)	Faktor Kehilangan Diameter Pipa			
	10 Inch	11 Inch	12 Inch	14 Inch
28	0,25	0,15	0,08	
30	0,28	0,16	0,09	0,05
35	0,37	0,22	0,12	0,07
40	0,48	0,28	0,16	0,09
45	0,59	0,34	0,19	0,11
50	0,71	0,41	0,23	0,13
55	0,85	0,49	0,28	0,16
60	0,90	0,57	0,33	0,18
65	1,15	0,66	0,38	0,21
70	1,31	0,76	0,43	0,24
75	1,49	0,85	0,49	0,27
80	1,67	0,97	0,55	0,31
90	2,08	1,20	0,68	0,38
100	2,52	1,45	0,82	0,46
110	2,99	1,73	0,98	0,55
120	3,51	2,03	1,05	0,64
130	4,06	2,35	1,33	0,75
140	4,66	2,69	1,52	0,85
160	5,95	3,43	1,94	1,09
180	7,38	4,26	2,41	1,35
200	8,96	5,17	2,92	1,64
220	10,68	6,16	3,48	1,96
240	12,54	7,23	4,09	2,29
260		8,38	4,73	2,65
280		9,61	5,43	3,04
300		10,91	6,16	3,45
325			7,14	4,00
350			8,19	4,58
375			9,30	5,20
400			10,48	5,86



Pipa Polyethylene PN 8 (PE 63) PE 10 (PE 80) PN 12.5 (PE 100) Based on AS 4130-1997				
Debit Aliran (L/Detik)	Faktor Kehilangan Diameter Pipa			
	10 Inch	11 Inch	12 Inch	14 Inch
425			11,72	6,56
450				7,28
475				8,05
500				8,85
525				9,68

Sumber: (Rowan, 2008)

2.5.4 Sump

Sumur tambang mempunyai fungsi sebagai penampung sementara air dan lumpur sebelum dipompa keluar tambang. Sumur tambang terbagi menjadi dua jenis yaitu sumuran pertambangan tetap dan sumuran pertambangan sementara. sumuran penambangan tetap adalah sumur yang beroperasi saat penambangan sedang berlangsung dan biasanya tidak berpindah tempat. Sumur sementara beroperasi dalam jangka waktu tertentu dan sering berpindah lokasi (Suwandhi, 2004).

Ukuran sumuran tambang tergantung pada jumlah debit aliran yang dikeluarkan, kapasitas pemompaan, volume dan waktu pemompaan. kondisi di lapangan seperti kondisi penggalian terutama pada lantai tambang dan lapisan batubara, serta jenis tanah atau batuan pada bukaan tambang.

Prinsipnya, sumuran tambang terletak pada tingkat terbawah tambang, jauh dari aktivitas penambangan batubara, jenjang dan sekitarnya tidak mudah longsor, dekat dengan kolam pengendapan, dan mudah dibersihkan. Sumuran tambang yang umum digunakan adalah sumuran berbentuk prisma (Suwandhi, 2004).

2.7 Pemodelan Sistem Dinamis

Secara umum, sistem dinamis dapat digunakan sebagai kerangka kerja yang sesuai untuk mengadaptasi dan mengubah model yang ada ke dalam format sistem



Pendekatan ini merupakan metode pemodelan untuk menganalisis sistem nonlinier yang kompleks dengan mengidentifikasi dan menggabungkan variabel relevan yang membentuk struktur model dan perilakunya.

Dengan menerapkan sistem dinamis pada pengembangan model konseptual dan hidrologi, dampak pembangunan ekonomi, sosial dan politik dapat disimulasikan.

Skema pemodelan konvensional tidak dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan umpan balik dinamis antara aspek fisik neraca air dan pertumbuhan penduduk, pembangunan pertanian dan industri atau penggunaan sumber daya lainnya. Sistem dinamis merupakan alat yang efektif dalam bidang pengelolaan sumber daya air, khususnya dinamika air tanah. Fitur terpenting dari pemodelan sistem dinamis adalah penerapannya untuk menjelaskan interaksi antara berbagai faktor dalam konteks pengambilan keputusan. Sistem dinamis mendasarkan hubungan antara struktur dan perilaku pada konsep umpan balik dan kontrol.

Pemahaman model sistem dinamis secara umum melibatkan beberapa langkah yaitu mendefinisikan masalah yang dihadapi, mengidentifikasi variabel-variabel penting bagi sistem, mengidentifikasi persamaan matematika yang dapat menggambarkan perilaku sistem, menentukan waktu simulasi.

Identifikasi variabel yang menggambarkan perilaku suatu sistem dapat dilakukan dengan menggunakan kriteria berikut:

1. Variabel-variabel ini sangat penting dan signifikan mempengaruhi perilaku sistem. Tergantung pada batasan yang diberikan oleh pemodel, faktor eksternal sistem dianggap tidak penting dan tidak diperhitungkan saat membuat model.
2. variabel serupa harus digabungkan karena beberapa faktor akan menghindari kompleksitas yang tidak perlu.
3. Variabel harus didefinisikan secara tepat.

Perilaku sistem harus dipahami dalam kaitannya dengan hubungan sebab dan akibat yang membentuk struktur sistem. Model dinamika sistem yang dibuat meliputi model dasar dan model dengan skenario. Model dasar dinamika sistem adalah bahwa sistem sedang berlangsung tanpa ada intervensi kebijakan yang diterapkan.

