

SKRIPSI

**ANALISIS HIDROLOGI UNTUK KEGIATAN *MINE*
DEWATERING PADA PIT INUL LIGNITE
PT KALTIM PRIMA COAL**

Disusun dan diajukan oleh:

**RIVALDO PRATAMA
D111 19 1010**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS HIDROLOGI UNTUK KEGIATAN *MINE*
DEWATERING PADA PIT INUL LIGNITE
PT KALTIM PRIMA COAL**

Disusun dan diajukan oleh

**RIVALDO PRATAMA
D111 19 1010**

Telah **dipertahankan** di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 1 Desember 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT
NIP 196807181993091001



Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT
NIP 199511262022043001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, ST., MT.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : RIVALDO PRATAMA
NIM : D111 19 1010
Program Studi : TEKNIK PERTAMBANGAN
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS HIDROLOGI UNTUK KEGIATAN MINE
DEWATERING PADA PIT INUL LIGNITE
PT KALTIM PRIMA COAL**

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, 14 Desember 2023

Yang Menyatakan



Rivaldo Pratama

ABSTRAK

RIVALDO PRATAMA. *ANALISIS HIDROLOGI UNTUK KEGIATAN MINING DEWATERING PADA PIT INUL LIGNITE PT KALTIM PRIMA COAL* (dibimbing oleh Muhammad Ramli dan Asta Arjunoarwan Hatta)

Keberadaan air pada kegiatan penambangan merupakan hal yang umum ditemukan pada berbagai lokasi penambangan. Keberadaan air di area penambangan menjadi salah satu masalah khususnya pada Pit Inul Lignite. Tingginya permintaan batubara mengakibatkan pengupasan *overburden* dan batubara pada Pit Inul Lignite meningkat. Peningkatan produksi mengakibatkan perubahan dimensi *front* tambang yang semakin dalam serta arah penambangan yang menuju penyebaran batubara. Aktivitas ini menyebabkan lahan yang sebelumnya sudah menjadi *void* kembali dilakukan kegiatan penambangan. Kegiatan *dewatering* perlu dilakukan pada *sump* A8 Pit Inul Lignite untuk mengeluarkan air yang ada sehingga proses penambangan dapat terus berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volume total air yang memasuki *sump* A8, menganalisis jumlah dan jenis pompa yang optimal untuk melakukan *dewatering* pada *sump* A8 dan membuat (*scheduling*) pemompaan air yang terdapat pada *sump* A8. Analisis curah hujan rencana menggunakan Metode Normal, Metode Log-Normal, Metode Gumbel dan Metode Log-Pearson Type III. Volume air limpasan yang masuk kedalam pit penambangan adalah 518.60 m³/hari. Berdasarkan volume air yang masuk selama jadwal pemompaan dan *head* total pemompaan, maka *sump* A8 Pit Inul Lignite memerlukan 2 unit pompa untuk aktivitas *dewatering*. Pompa tersebut terdiri dari 2 unit pompa *multiflow* 420, dengan *head* maksimal pompa 250 meter. Debit pemompaan untuk masing-masing pompa yaitu 8.605,44 m³/hari untuk pompa satu dan 93.22,56 m³/hari untuk pompa dua. Berdasarkan penjadwalan aktivitas *dewatering* yang dilakukan maka diprediksi air pada *sump* dapat habis selama 8 minggu pemompaan.

Kata Kunci: Penirisan tambang; Intensitas hujan; Volume limpasan; *Sump* ; Pompa.

ABSTRACT

RIVALDO PRATAMA. *HYDROLOGICAL ANALYSIS FOR MINING DEWATERING ACTIVITIES IN THE INUL LIGNITE PIT OF PT KALTIM PRIMA COAL (supervised by Muhammad Ramli and Asta Arjunoarwan Hatta)*

The presence of water in mining activities is a common thing found in various mining locations. The existence of water in the mining area is a problem, especially in the Inul Lignite Pit. The high demand for coal resulted in increased overburden and coal stripping in the Inul Lignite Pit. The increase in production has resulted in changes in the dimensions of the mine front which are getting deeper and the direction of mining towards the distribution of coal. This activity caused the land that had previously become void to return to mining activities. Dewatering activities need to be carried out at sump A8 Pit Inul Lignite to remove existing water so that the mining process can continue. This study aims to analyze the total volume of water entering sump A8, analyze the optimal number and type of pumps for dewatering the sump A8 and schedule the pumping of water contained in sump A8. The planned rainfall analysis uses the Normal Method, the Log-Normal Method, the Gumbel Method and the Log-Pearson Type III Method. The volume of runoff water entering the mining pit is 518.60 m³/day. Based on the volume of water entering during the pumping schedule and the total pumping head, the A8 Pit Inul Lignite sump requires 2 units of pumps for dewatering activities. The pump consists of 2 units of 420 multiflow pumps, with a maximum pump head of 250 meters. The pumping discharge for each pump is 8,605.44 m³/day for pump one and 93.22.56 m³/day for pump two. Based on the dewatering activity schedule, it is predicted that the water in the sump will run out in 8 weeks of pumping.

Keywords: Mine dewatering; Rainfall intensity; Runoff volume; Sump; Pump.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	1
PERNYATAAN KEASLIAN.....	2
ABSTRAK.....	3
ABSTRACT.....	4
DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	6
DAFTAR TABEL.....	7
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	8
DAFTAR LAMPIRAN.....	9
KATA PENGANTAR.....	10
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.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Siklus Hidrologi.....	4
2.2 Sistem Penyaliran Tambang.....	13
2.3 Analisis Data Hidrologi.....	16
2.4 Kebutuhan Pompa.....	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Lokasi Penelitian.....	39
3.2 Variabel Penelitian.....	40
3.3 Instrumen Penelitian.....	41
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	41
3.5 Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Curah Hujan dan Volume <i>Inflow</i>	48
4.2 Analisis Kebutuhan Pompa pada <i>Sump</i> A8 Inul Lignite.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tipe Hujan(Triatmodjo, 2008).	6
Gambar 2 <i>Hyetograph</i> (kiri) dan hujan kumulatif (kanan) (Triatmodjo, 2008).	8
Gambar 3 Alat penakar hujan biasa (Triatmodjo, 2008).	9
Gambar 4. Alat penakar hujan jenis pelampung (Triatmodjo, 2008).	10
Gambar 5 Alat penakar hujan jenis timba jungkit (Triatmodjo, 2008).	11
Gambar 6 Hasil pencatatan hujan otomatis (Triatmodjo, 2008).	11
Gambar 7 Konsentrasi aliran dari DAS ke titik control (Triatmodjo, 2008).	26
Gambar 8 Tipe konsentrasi aliran hujan (Triatmodjo, 2008).	28
Gambar 9 Skema pemompaan sistem dewatering (PT KPC, 2017).....	32
Gambar 10 Tipe aliran fluida dalam pipa (Suharto & Bambang, 2013).....	38
Gambar 11 Sump A8 Pit Inul Lignite	39
Gambar 12 Grafik penentuan debit pompa MF 420(PT KPC, 2017)	45
Gambar 13 Diagram alir penelitian	47
Gambar 14 Grafik penentuan debit pompa multiflow 420 EXHV	64
Gambar 15 Grafik pemompaan <i>Sump</i> A8	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Keadaan hujan dan intensitas hujan	7
Tabel 2 Kerapatan jaringan stasiun hujan	12
Tabel 3. Probabilitas kejadian untuk frekuensi desain standar	18
Tabel 4 Periode ulang hujan rencana	19
Tabel 5 Nilai variabel reduksi gauss	20
Tabel 6 Nilai kritis chi kuadrat (Soewarno, 1995)	23
Tabel 7 Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov	24
Tabel 8 Derajat dan intensitas curah hujan	25
Tabel 9 Nilai koefisien limpasan	29
Tabel 10 Faktor kehilangan sesuai dengan spesifikasi pipa (Rowan, 2008).	34
Tabel 11 Data curah hujan	48
Tabel 12 Analisis curah hujan menggunakan Metode Normal	49
Tabel 13 Periode ulang hujan menggunakan Metode Normal	50
Tabel 14 Periode ulang hujan menggunakan Metode Normal	50
Tabel 15 Periode ulang hujan menggunakan Metode Log Normal	51
Tabel 16 Analisis curah hujan menggunakan Metode Gumbel	51
Tabel 17 Periode ulang hujan menggunakan Metode Gumbel	52
Tabel 18 Analisis curah hujan menggunakan Metode Log Pearson Type III	52
Tabel 19 Periode ulang hujan menggunakan Metode Log Pearson Type III	53
Tabel 20 Distribusi Gumbel Menggunakan Metode Chi-Kuadrat	54
Tabel 21 Distribusi Normal Menggunakan Metode Chi-Kuadrat	54
Tabel 22 Distribusi Log Normal Menggunakan Metode Chi-Kuadrat	54
Tabel 23 Distribusi Log Pearson Type III Menggunakan Metode Chi-Kuadrat	55
Tabel 24 Uji Chi-Kuadrat untuk setiap metode uji distribusi probabilitas	55
Tabel 25 Simpangan maksimum distribusi Normal dengan Metode Smirnov- Kolmogorov	56
Tabel 26 Simpangan maksimum dari distribusi Log Normal menggunakan Metode Smirnov-Kolmogorov	56
Tabel 27 Simpangan maksimum dari distribusi Gumbel menggunakan Metode Smirnov-Kolmogorov	57
Tabel 28 Simpangan maksimum dari distribusi Log Pearson Type III menggunakan Metode Smirnov-Kolmogorov	58
Tabel 29 Hasil uji Smirnov-Kolmogorov untuk uji distribusi probabilitas	59
Tabel 30 Nilai curah hujan berdasarkan periode ulang	59
Tabel 31 Nilai limpasan pada daerah tangkapan hujan Pit Inul Lignite	61
Tabel 32 Nilai limpasan pada daerah tangkapan hujan Pit Inul Lignite	64
Tabel 33 Debit pemompaan multiflow 420 EXHV	62
Tabel 34 <i>Weekly water balance</i> pada Pit Inul Lignite	63

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
DAS	Daerah Aliran Sungai
DTH	Daerah Tangkapan Hujan
T _c	<i>Time Concentration</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data curah hujan harian tahun 2013-2022.....	69
Lampiran 2 Spesifikasi pompa <i>Multiflow</i> 420 EXHV.....	79
Lampiran 3 Pipa HDPE.....	80
Lampiran 4 Peta daerah tangkapan hujan, lokasi <i>sump</i> dan sistem pemipaan.....	82

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Data Hidrologi Dalam Kegiatan Mining *Dewatering* PT Kaltim Prima Coal. Skripsi ini memuat hasil penelitian yang dilakukan pada PT. Kaltim Prima Coal Pit Inul Lignite, Kecamatan Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama penyelesaian skripsi. Untuk itu, melalui pengantar ini penulis menyampaikan terima kepada seluruh Direksi PT. KPC, Bapak Muhammad Rudy, selaku Kepala Teknik Tambang PT.KPC, seluruh pegawai yang ada di Departemen Learning & Development di PT. KPC, seluruh pegawai yang ada di departemen Mining Services dimana Penulis melakukan kerja praktek dan seluruh pegawai PT. KPC yang tidak disebutkan namanya. Terima kasih banyak atas dukungan dan partisipasinya.

Ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, ST. MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan bagi penulis, kepada bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., Bapak Dr. Eng. Purwanto, ST., MT, selaku dosen penguji, serta terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan, Ucapan terima kasih pula kepada seluruh dosen dan staf Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin atas bimbingan dan dukungan yang telah diberikan.

Ucapan terima kasih yang istimewa kepada kedua orang tua (Rita Wati dan Hadiismanto), Adik (M. Zikri), yang selalu menemani dan memberikan semangat serta segenap keluarga atas doa serta dukungannya baik berupa moril maupun materil. Terima kasih kepada teman-teman PERMATA-UH, khususnya Igneouz 2019 Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang selalu memberikan semangat, terima kasih kepada teman-teman Laboratorium Lingkungan Tambang yang selalu memberikan semangat dan motivasi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari titik kesempurnaan baik dari segi bahasa maupun dari segi isinya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari rekan-

rekan ataupun Bapak/Ibu dosen. Penulis berharap semoga dengan adanya laporan tugas akhir ini dapat menjadi acuan untuk terus menggali pengetahuan ataupun materi tentang industri pertambangan yang ada di Indonesia. Akhir kata, Penulis meminta maaf jika ada kesalahan baik dari segi bahasa ataupun dari segi isinya. Atas perhatiannya Penulis ucapkan terima kasih.

Gowa, 1 Desember 2023

Rivaldo Pratama
D111 19 1010

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan air pada kegiatan penambangan merupakan hal yang umum ditemukan pada berbagai lokasi penambangan, pada daerah tropis yang memiliki curah hujan tinggi serta pada daerah tambang yang mempunyai lapisan pembawa air tanah. Air tambang di permukaan kerja penambangan akan mempengaruhi efisiensi serta produktivitas peralatan dan pekerja. Air tambang dengan volume yang berlebih misalnya pada curah hujan yang tinggi atau luapan dari sumber air permukaan, dapat menyebabkan tergenangnya pit penambangan yang pada kondisi ekstrim dapat mengakibatkan tenggelamnya peralatan tambang (Gautama, 2022).

Keberadaan air di area penambangan menjadi salah satu masalah khususnya pada Pit Inul Lignite. Pit Inul Lignite merupakan salah satu pit aktif yang dimiliki oleh PT Kaltim Prima Coal yang berada dibawah pengelolaan Departemen Jupiter. Penambangan pada Pit Inul Lignite menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode strip *mine*. Tingginya permintaan batubara mengakibatkan pengupasan *overburden* dan batubara pada Pit Inul Lignite meningkat sehingga perubahan dimensi front tambang yang semakin dalam serta arah penambangan yang menuju penyebaran batubara. Aktivitas ini menyebabkan lahan yang sebelumnya sudah menjadi void Kembali dilakukan kegiatan penambangan. Kegiatan *dewatering* perlu dilakukan pada void Inul Lignite untuk mengeluarkan air yang ada sehingga proses penambangan dapat terus berlansung.

Perencanaan sistem *dewatering* yang akan digunakan perlu dikaji secara lebih mendalam untuk mendapatkan kesesuaian antara debit air yang akan masuk kedalam lokasi tambang dengan spesifikasi serta jumlah pompa yang akan digunakan pada elevasi air yang telah ditentukan. Perhitungan debit limpasan, volume air, dan *head* pompa sangat diperlukan untuk mengetahui kebutuhan pompa yang harus disiapkan untuk melakukan *dewatering* pada *Sump* A8 pit Inul Lignite. Upaya analisis kebutuhan pompa pada kegiatan *dewatering*, diharapkan kebutuhan pompa yang digunakan semakin efisien dan efektif serta mencegah hambatan kerja untuk mencapai target produksi yang sudah ditentukan.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian ini membahas tentang kegiatan *dewatering* pada Pit Inul Lignite, PT Kaltim Prima Coal. Peningkatan jumlah pengupasan *overburden* dan batubara pada Pit Inul Lignite mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi *front* tambang yang semakin dalam serta arah penambangan yang menuju penyebaran batubara. Analisis data hidrologi perlu dilakukan untuk perencanaan yang optimal dalam kegiatan *dewatering* pada Pit Inul Lignite. Rumusan masalah yang dapat dijabarkan adalah sebagai berikut:

1. Volume air rencana yang masuk ke *sump* A8
2. Jumlah dan spesifikasi pompa yang sesuai untuk menunjang proses *mine dewatering* di *sump* A8.
3. Rencana pemompaan air (*scheduling*) pada *sump* A8

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis volume total air yang memasuki *sump* A8.
2. Menganalisis jumlah dan jenis pompa yang optimal untuk melakukan *dewatering* pada *sump* A8.
3. Membuat *scheduling* pemompaan air yang terdapat pada *sump* A8.

1.4. Manfaat Penelitian

Perencanaan kebutuhan pompa dalam sistem mining *dewatering* pada tambang batubara memberikan manfaat secara finansial bagi PT Kaltim Prima Coal dengan meningkatkan efisiensi operasional, penghematan sumber daya, dan peningkatan produktivitas alat. Penelitian ini juga berkontribusi dalam transfer pengetahuan antara praktisi dan akademisi.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup wilayah penelitian ini berfokus pada Pit Inul Lignite PT Kaltim Prima Coal. Secara administrasi Pit Inul Lignite terletak di Sangatta Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur. Pit Inul Lignite dipilih karena terjadinya peningkatan produksi batubara sehingga menyebabkan arah penggalian yang semakin lebar dan dalam. Kemajuan aktivitas penambangan dan target produksi

yang ingin dicapai menyebabkan lahan yang sebelumnya menjadi *sump* akan dilakukan proses *dewatering*. *Dewatering* bertujuan untuk mengeluarkan semua air dalam *sump* sehingga proses penambangan dapat terus berlangsung.

Ruang lingkup materi dari penelitian ini berfokus pada sistem penirisan tambang (*mine dewatering*) pada Pit Inul Lignite PT Kaltim Prima Coal. Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan sistem *dewatering* yang optimal supaya proses pengeringan dapat selesai sesuai target yang telah ditentukan. Perhitungan juga akan dilakukan terhadap *head* total pemompaan analisis spesifikasi pompa volume air limpasan yang masuk ke lokasi penambangan dan volume air yang berada di dalam kolam. Adapun data yang dikumpulkan dimulai dari tanggal 1 Januari 2023 – 29 Februari 2023

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

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).

Linsley & Paulhus (1998) menyatakan bahwa siklus hidrologi dimulai dengan penguapan air laut kemudian uap air yang dihasilkan dibawa oleh udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut terkondensasi membentuk awan, pada akhirnya dapat menghasilkan presipitasi. Sebagian besar dari presipitasi tersebut sementara tertahan pada tanah sekitar tempat jatuhnya, dan akhirnya dikembalikan lagi ke atmosfer oleh penguapan (*evaporation*) dan pemeluhan (transpirasi) oleh tanaman. Sebagian air mencari jalannya sendiri melalui permukaan dan bagian atas tanah menuju sungai, sementara sebagian lainnya menembus masuk lebih jauh ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*). Akibat pengaruh gaya gravitasi, baik dari aliran air permukaan (*surface streamflow*) maupun air dalam tanah bergerak ke tempat yang lebih rendah yang dapat mengalir ke laut. Sebagian besar air permukaan dan air bawah tanah akan dikembalikan ke atmosfer melalui peristiwa penguapan dan transpirasi sebelum sampai ke laut. Hartono (2008) menjelaskan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap rancangan sistem penyaliran pada tambang terbuka adalah air hujan dan air tanah.

2.1.1. Air hujan

Menurut Sosrodarsono, (1993) Hujan merupakan air yang jatuh ke permukaan bumi dan merupakan uap air di atmosfer yang terkondensasi dan jatuh dalam bentuk tetesan air. Presipitasi merupakan proses turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Di daerah tropis termasuk Indonesia, yang memberikan sumbangan paling besar adalah hujan,

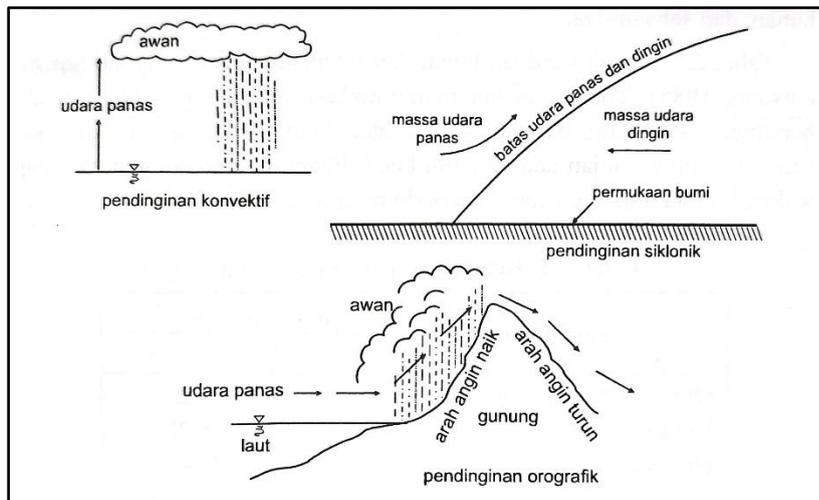
sehingga seringkali hujanlah yang dianggap sebagai presipitasi sehingga istilah hujan dipakai untuk menggantikan presipitasi. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air akan naik ke atmosfer kemudian mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir air dan kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan.

Atmosfer bumi mengandung uap air yang melimpah. Jumlah uap air di atmosfer sangat kecil dibanding dengan gas lain, tetapi merupakan sumber air tawar yang penting bagi kehidupan di bumi. Air berada di udara dalam bentuk gas (uap air), zat cair (butir air) dan kristal es. Kumpulan butir air dan kristal es tersebut mempunyai ukuran sangat halus (diameter 2-40 mikron), membentuk awan yang melayang di udara. Awan terbentuk sebagai hasil pendinginan (kondensasi dan sublimasi) dari udara basah yang bergerak ke atas. Proses pendinginan terjadi karena menurunnya suhu udara tersebut secara adiabatik dengan bertambahnya ketinggian. Partikel debu, kristal garam dan kristal es yang melayang di udara dapat berfungsi sebagai inti kondensasi yang dapat mempercepat proses pendinginan.

Jumlah air yang jatuh di permukaan bumi dapat diukur dengan menggunakan alat penakar hujan. Distribusi hujan dalam ruang dapat diketahui dengan mengukur hujan di beberapa lokasi pada daerah yang ditinjau sedangkan distribusi waktu dapat diketahui dengan mengukur hujan sepanjang waktu. Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di sungai dan di dalam tampungan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Jumlah dan variasi debit sungai tergantung pada jumlah, intensitas dan distribusi hujan. Terdapat hubungan antara debit sungai dan curah hujan yang jatuh di DAS yang bersangkutan. Data pencatatan hujan dapat digunakan sebagai inisiatif untuk memperkirakan debit aliran apabila data pencatatan debit tidak ada (Triatmodjo, 2008)

1. Tipe Hujan

Hujan terjadi karena udara basah yang naik ke atmosfer mengalami pendinginan sehingga terjadi proses kondensasi. Naiknya udara ke atas dapat terjadi secara siklonik, orografik dan konvektif. Tipe hujan dibedakan menurut cara naiknya udara ke atas. Gambar 1. menunjukkan beberapa tipe hujan tersebut.



Gambar 1 Tipe Hujan (Triatmodjo, 2008).

a. Hujan konvektif

Di daerah tropis pada musim kemarau udara yang berada di dekat permukaan tanah mengalami pemanasan yang intensif. Pemanasan tersebut menyebabkan rapat massa udara berkurang, sehingga udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan hujan. Hujan yang terjadi karena proses ini disebut dengan hujan konvektif. Hujan konvektif biasanya bersifat setempat serta mempunyai intensitas tinggi dan durasi yang singkat.

b. Hujan siklonik

Hujan siklonik terjadi karena massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relatif berat, maka udara panas tersebut akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas tersebut mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi kemudian terbentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi karena siklus ini disebut hujan siklonik. Hujan siklonik yang mempunyai sifat tidak terlalu lebat dan berlangsung dalam waktu lebih lama.

c. Hujan orografis

Hujan orografis disebabkan oleh udara lembab yang tertiuip angin dan melintasi daerah pegunungan akan naik dan mengalami pendinginan, sehingga terbentuk awan kemudian terjadi hujan. Sisi gunung yang dilalui oleh udara tersebut banyak mendapatkan hujan dan disebut lereng hujan, sedang sisi belakangnya yang dilalui udara kering (uap air telah menjadi

hujan di lereng hujan) disebut lereng bayangan hujan. Daerah tersebut tidak permanen dan dapat berubah tergantung musim (arah angin). Hujan orografis terjadi di daerah pegunungan (hulu DAS), dan merupakan pemasok air tanah, danau, bendungan, dan sungai. Dari ketiga tipe hujan di atas, yang banyak terjadi di Indonesia adalah hujan konvektif dan orografis.

2. Parameter hujan

Jumlah hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun, dan sebagainya. Tabel 1 adalah keadaan hujan dan intensitas hujan (Sosrodarsono, 1993).

Tabel 1 Keadaan hujan dan intensitas hujan

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

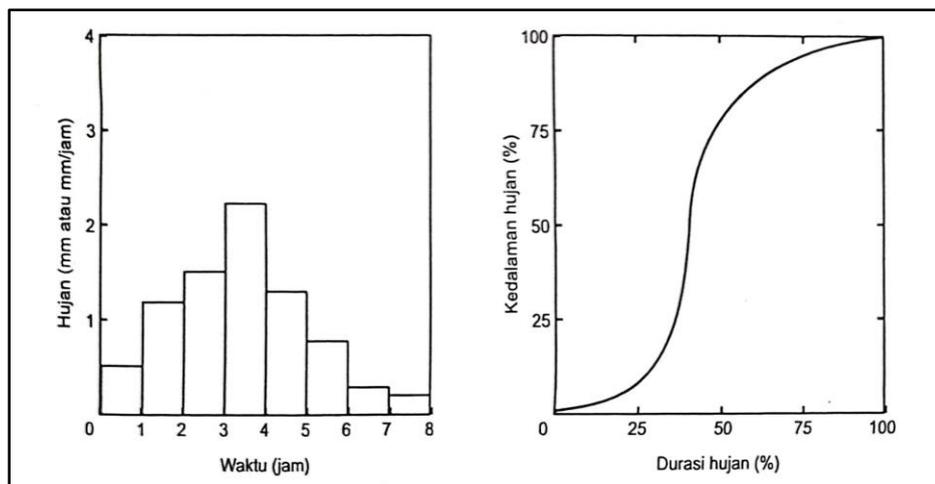
Sumber: (Sosrodarsono, 1993)

Tabel 1 menunjukkan curah hujan tidak bertambah sebanding dengan waktu. Jika durasi waktu lebih lama, penambahan curah hujan adalah lebih kecil dibanding dengan penambahan waktu, karena hujan tersebut bisa berkurang atau berhenti.

Durasi hujan merupakan waktu yang dihitung mulai dari hujan mulai turun sampai berhenti, durasi hujan dinyatakan dalam jam. Intensitas hujan rerata adalah perbandingan antara kedalaman hujan dan durasi hujan. Misalnya hujan selama 5 jam menghasilkan kedalaman 50 mm, hal ini berarti intensitas hujan rerata adalah 10 mm/jam. Demikian juga hujan selama 5 menit sebesar 6 mm, yang berarti intensitas hujan adalah 72 mm/jam.

Daerah tangkapan kecil perlu ditinjau durasi hujan yang sangat singkat seperti 5 menit, 10 menit, dan seterusnya. Sebaliknya untuk daerah tangkapan yang besar sering digunakan durasi hujan yang lebih lama, misalnya 1 hari, 2 hari, dan seterusnya.

Distribusi hujan sebagai fungsi waktu menggambarkan variasi kedalaman hujan selama terjadinya hujan, yang dapat dinyatakan dalam bentuk diskret atau kontinyu. Bentuk diskret, yang disebut sebagai hyetograph, yaitu histogram kedalaman hujan atau intensitas hujan dengan pertambahan waktu sebagai absis dan kedalaman hujan atau intensitas hujan sebagai ordinat. Bentuk kontinyu menggambarkan hubungan laju hujan kumulatif sebagai fungsi waktu. Durasi hujan (absis) dan kedalaman hujan (ordinat) dapat dinyatakan dalam gambar 2.



Gambar 2 Hyetograph (kiri) dan hujan kumulatif (kanan) (Triatmodjo, 2008).

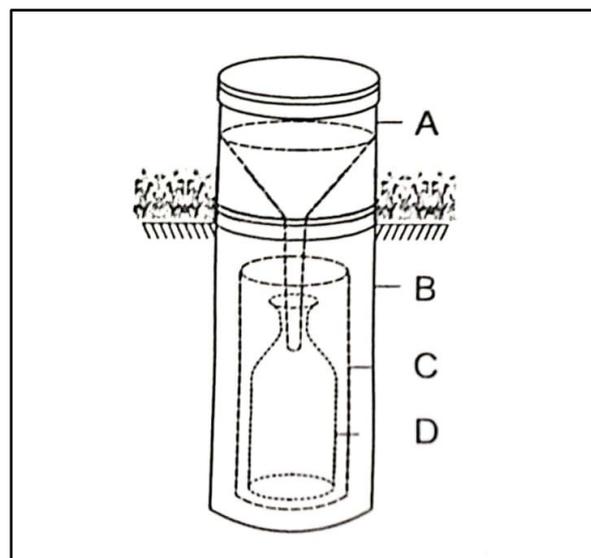
3. Pengukur hujan

Hujan merupakan presipitasi yang paling biasa diukur. Pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menampung air hujan yang jatuh, namun tidak mungkin menampung hujan di seluruh daerah tangkapan air. Hujan di suatu daerah hanya dapat diukur di beberapa titik yang ditetapkan dengan menggunakan alat pengukur hujan. Hujan yang terukur oleh alat tersebut mewakili suatu luasan daerah di sekitarnya. Hujan terukur dinyatakan dengan kedalaman hujan yang jatuh pada suatu interval waktu tertentu. Di Indonesia, pengukuran hujan dilakukan oleh beberapa instansi di antaranya adalah Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Dinas Pengairan

Departemen Pekerjaan Umum, Dinas Pertanian, dan beberapa instansi lain baik pemerintah maupun swasta yang berkepentingan dengan hujan. Instansi tersebut mengelola sendiri stasiun hujannya. Pengukuran hujan memungkinkan untuk adanya dua atau lebih stasiun hujan berada pada jarak yang berdekatan. Alat penakar hujan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu penakar hujan biasa (*manual raingauge*) dan penakar hujan otomatis (*automatic raingauge*).

1. Alat penakar hujan biasa

Alat penakar hujan biasa terdiri dari corong dan botol penampung yang berada di dalam suatu tabung silinder. Alat ini ditempatkan di tempat terbuka yang tidak dipengaruhi pohon-pohon dan gedung-gedung yang ada di sekitarnya. Air hujan yang jatuh pada corong akan tertampung di dalam tabung silinder. Dengan mengukur volume air yang tertampung dan luas corong maka dapat diketahui kedalaman hujan. Curah hujan kurang dari 0,1 mm dicatat sebagai 0,0 mm yang harus dibedakan dengan tidak ada hujan yang dicatat dengan garis (-). Pengukuran dilakukan setiap hari. Biasanya pembacaan pada pagi hari, sehingga hujan tercatat adalah hujan yang terjadi selama satu hari sebelumnya, yang sering disebut hujan harian. Dengan alat ini tidak dapat diketahui kederasan hujan (intensitas) hujan, durasi (lama waktu) hujan dan kapan terjadinya. Alat penakar hujan biasa dapat dilihat pada gambar 3



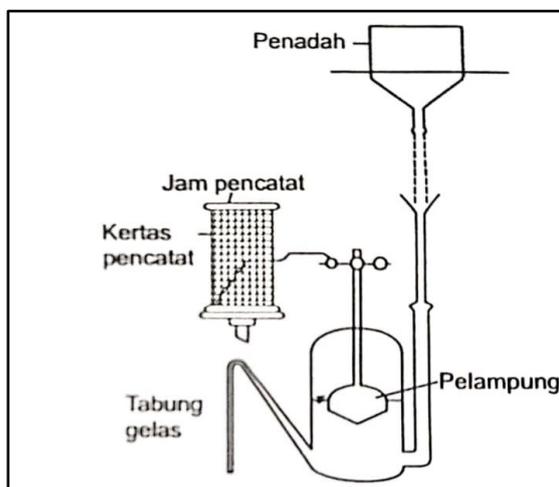
Gambar 3 Alat penakar hujan biasa (Triatmodjo, 2008).

2. Alat penakar hujan otomatis

Alat ini mengukur hujan secara kontinu sehingga dapat diketahui intensitas hujan dan lama waktu hujan. Ada beberapa macam alat penakar hujan otomatis yaitu alat penakar hujan jenis pelampung, alat penakar hujan jenis timba jungkit, dan alat penakar hujan jenis timbangan.

a. Alat penakar hujan jenis pelampung

Alat penakar jenis ini menggunakan pelampung sebagai pendeteksi kenaikan muka air yang ditampung ddi dalam wadah. Hujan yang jatuh masuk ke dalam tabung yang berisi pelampung, Jika muka air di dalam tabung naik maka pelampung bergerak ke atas. Hasil kenaikan pelampung menyebabkan sebuah pena yang dihubungkan dengan pelampung melalui suatu tali penghubung juga ikut bergerak. Gerakan pena tersebut memberi tanda pada kertas grafik yang digulung pada silinder yang berputar. Jika tabung telah penuh, secara otomatis seluruh air akan melimpas keluar melalui mekanisme sifon yang dihubungkan. Alat penakar hujan jenis pelampung dapat dilihat pada Gambar 4.

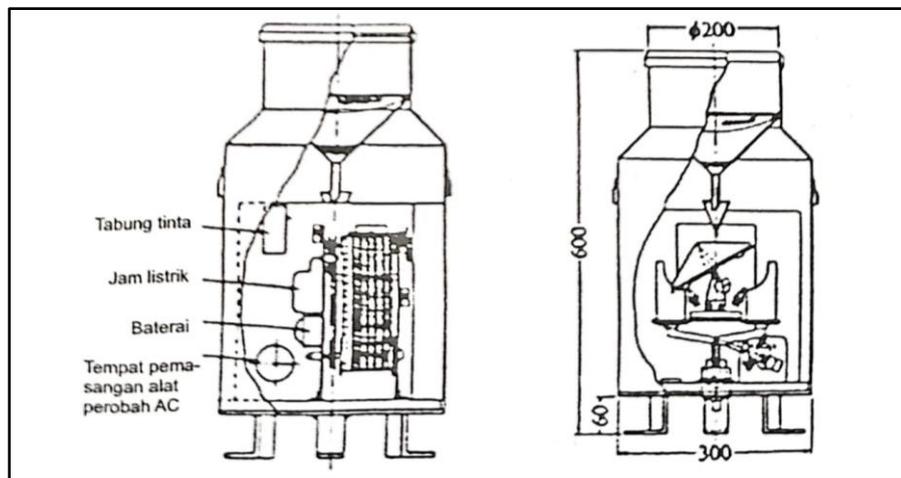


Gambar 4. Alat penakar hujan jenis pelampung (Triatmodjo, 2008).

b. Alat penakar hujan jenis timba jungkit

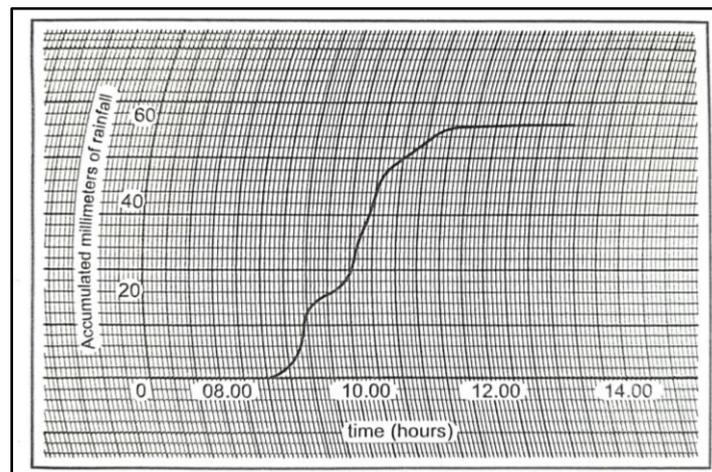
Alat penakar hujan jenis timba jungkit terdiri dari silinder penampung yang dilengkapi dengan corong. Bagian bawah corong ditempatkan sepasang timba penakar kecil yang dipasang

sedemikian rupa sehingga jika salah satu timba menerima curah hujan sebesar 0,25 mm, timba tersebut akan menjungkit dan menumpahkan isinya ke dalam tangki. Timba lainnya kemudian menggantikan tempatnya, dan kejadian serupa akan terulang. Gerakan timba mengaktifkan suatu sirkuit listrik dan menyebabkan bergeraknya pena pada lembaran kertas grafik yang dipasang. Gambar 5 menunjukkan alat penakar hujan jenis timba jungkit.



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

Data intensitas hujan sangat penting untuk memperkirakan debit banjir, seperti dalam perencanaan sistem drainasi perkotaan, pengendalian banjir, perencanaan jembatan, dan sebagainya. Gambar 6. adalah contoh hasil pencatatan hujan otomatis. Sumbu horisontal menunjukkan waktu, dan sumbu vertikal adalah besaran hujan dalam milimeter.



Gambar 6 Hasil pencatatan hujan otomatis (Triatmodjo, 2008).

Grafik data hujan merupakan akumulasi hujan selama terjadinya hujan. Grafik datar menunjukkan tidak terjadi hujan. Apabila grafik miring (naik), berarti terjadi hujan. Kemiringan yang tajam dari hasil bacaan menunjukkan semakin tingginya intensitas hujan.

3. Jaringan pengukuran hujan

Perencanaan jaringan stasiun pengukuran hujan sangat penting di dalam hidrologi karena jaringan tersebut akan memberikan besarnya (takaran/jumlah) hujan yang jatuh di DAS. Data hujan yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis banjir, penentuan banjir rencana, analisis ketersediaan air sungai, dan sebagainya. Jaringan stasiun pencatat hujan di dalam suatu DAS sangat diperlukan untuk mencapai maksud tersebut. Stasiun pencatat hujan harus terdistribusi secara merata untuk mendapatkan hasil yang dapat dipercaya. Jumlah stasiun hujan yang dipasang di dalam DAS harus optimal tidak terlalu banyak yang berakibat mahal biaya, ataupun terlalu sedikit yang menyebabkan hasil pencatatan hujan tidak dapat dipercaya. Organisasi Meteorologi Dunia (*World Meteorological Organisation, WMO*) memberikan pedoman kerapatan jaringan minimum di beberapa daerah seperti ditunjukkan dalam Tabel 2 (Shaw, 1988). Kerapatan jaringan adalah jumlah stasiun tiap satuan luas di dalam DAS. Namun pedoman tersebut hanya merupakan ancar-ancar. Semakin besar variasi hujan semakin banyak jumlah stasiun yang diperlukan, seperti misalnya di daerah pegunungan.

Tabel 2 Kerapatan jaringan stasiun hujan

Daerah	Kerapatan jaringan minimum (km²/sta)
Daerah datar beriklim sedang, laut tengah dan tropis	
Kondisi normal	600-900
Daerah pegunungan	100-250
Pulau-pulau kecil bergunung (< 20.000 km ²)	2.500-10.000
Daerah kering dan kutub	10.000-15.000

Sumber: (Triatmodjo, 2008).

Penentuan jumlah optimum dari stasiun hujan yang perlu dipasang dalam suatu DAS dapat dilakukan secara statistik. Dasar dari analisis statistik tersebut adalah bahwa sejumlah tertentu dari stasiun hujan yang diperlukan untuk memberikan hujan rerata dengan persentasi kesalahan tertentu. Apabila kesalahan yang diijinkan lebih besar, maka diperlukan jumlah stasiun hujan yang lebih kecil demikian pula sebaliknya.

2.1.2. Air tanah

Hidrologi air tanah adalah pengetahuan mengenal terjadinya distribusi dan gerakan air tanah di bawah permukaan, sedangkan air tanah adalah air yang menempati pori dalam lapisan geologi. Air tanah ditemukan pada formasi geologi permeabel yang dikenal sebagai akuifer yang merupakan formasi penyimpan air. Air tanah juga ditemukan pada formasi semipermeabel yang mengandung air tetapi tidak dapat memindahkan jumlah air yang nyata. Sebaliknya formasi yang sama sekali tidak tembus air (*impermeable*) dinamakan *aquiclude*. Formasi tersebut mengandung air, tetapi tidak memungkinkan adanya gerakan air yang melaluinya, sedangkan formasi kedap air yang tidak mengandung air atau mengalirkan air dinamakan *aquifuge*, yang termasuk dalam kategori ini adalah granit yang keras. Bagian batuan yang tidak terisi oleh bagian padatnya (butirnya) akan diisi oleh air tanah. Ruang-ruang tersebut dinamakan pori-pori (Soemarto, 2008).

2.2 Sistem penyaliran tambang

Penyaliran tambang merupakan usaha yang diterapkan pada daerah penambangan yang dilakukan untuk mencegah masuknya air atau untuk mengeluarkan air yang telah masuk dan menggenangi daerah penambangan tersebut, sehingga dapat mencegah terganggunya aktivitas penambangan. Air yang masuk ke dalam lokasi penambangan sebagian besar berupa air permukaan tanah yang berasal dari hujan. Air yang masuk area penambangan tidak lepas kaitannya dengan sirkulasi air atau daur hidrologi. Daur hidrologi merupakan suatu daur atau siklus yang dialami oleh air, yang dalam prosesnya air akan mengalami perubahan bentuk dan tempat. Penanganan masalah air dalam tambang terbuka dapat dibedakan menjadi dua (Hartono, 2008) yaitu:

1. *Mine dewatering*

Mine Dewatering yaitu usaha untuk meminimalisasi jumlah air yang masuk ke tambang disertai dengan upaya mengeluarkan air dari dalam ke luar area penambangan dengan menggunakan pemompaan. Tujuan *Mine Dewatering* adalah untuk mengontrol air yang ada dalam areal penambangan supaya air di dalam tambang tersebut tidak mengganggu aktivitas produksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan upaya-upaya penanganan yang meliputi pembuatan saluran air (*channel*) membuat *sump* sebagai tampungan air dan *settling pond* sebagai tempat untuk melakukan *treatment* supaya air tambang yang akan dikeluarkan ke lingkungan sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan oleh pemerintah, membuat drain hole untuk mengeluarkan air tanah, dan melakukan pemompaan air keluar tambang. Sistem ini biasa diterapkan untuk penanganan limpasan dan air hujan.

a. Penyaliran dengan metode *tunnel/adit*

Penyaliran dengan metode *tunnel/adit* dilakukan dengan cara, air yang masuk kedalam tambang dikeluarkan dengan cara mengalirkan air dari dasar tambang keluar daerah tambang melalui terowongan (*tunnel/adit*). Cara penyaliran ini hanya dapat diterapkan untuk tambang yang terletak di daerah pegunungan atau yang berbukit. Kelemahan dari sistem ini adalah dapat menyebabkan lereng kurang stabil.

b. Penyaliran secara *open sump*

Sistem penyaliran dengan *open sump* (sumur terbuka) merupakan salah satu metode penanganan air permukaan yang digunakan untuk mengendalikan dan mengalirkan air hujan atau air permukaan dari suatu wilayah. Prinsip dasar dari sistem ini adalah pengumpulan air hujan atau air permukaan ke dalam sumur terbuka atau kolam terbuka, kemudian mengalirkannya secara terkendali melalui saluran terbuka atau pipa ke lokasi yang ditentukan, seperti sungai, danau, atau saluran air utama. Sistem penyaliran air pada umumnya banyak digunakan di tambang tambang terbuka.

c. Penyaliran dengan sistem saluran terbuka

Penyaliran dengan sistem saluran terbuka yaitu dengan membuat suatu

paritan untuk mengalirkan air ke tempat yang lebih rendah. Penyaliran sistem saluran terbuka termasuk dalam penyaliran gaya berat, yaitu air mengalir ke tempat yang lebih rendah karena gaya gravitasi akibat dari perbedaan ketinggian tempat. Kolam penampungan ini berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel padat yang ikut dalam aliran air, sehingga tidak terbawa keluar dari daerah penambangan.

2. *Mine drainage*

Mine drainage merupakan salah satu metode penanganan masalah air tambang yang dilakukan dengan cara mencegah masuknya air limpasan seperti air sungai dan penanganan air tanah yang masuk kedalam lingkungan tambang. Metode yang termasuk penyaliran secara *mine drainage* adalah:

a. *Siemens method drainage*

Sistem penyaliran inkonvensional, dalam membuat lubang bor sampai batas akuifer. Pada setiap jenjang dari kegiatan penambangan dipasang pipa ukuran 8 inci. Setiap pipa pada bagian ujung bawah diberi lubang-lubang menembus akuifer. Pipa yang berlubang tersebut dihubungkan dengan air tanah sehingga pada pipa bagian bawah akan terakumulasi air, karena pembuatan pipa cukup banyak maka cara pengisapan air diupayakan dilakukan sekaligus dengan menggunakan pompa yang dirangkai secara seri atau paralel yang mengelilingi area tambang bagian luar.

b. *Small pipe with vacuum pump drainage*

Sistem penyaliran dimana pada kedalaman lubang bor dimasukkan pipa dan diberi pasir. Pasir tersebut berfungsi sebagai saringan sehingga yang masuk hanya material yang larut dalam air. Langkah pembuatan dari sistem ini adalah dengan membuat lubang bor berdiameter 6-8 inci lubang bor. Lalu dimasukkan pipa berdiameter 2-5 inci, kemudian memasukkan pasir sebagai saringan, dan melalui pipa kecil lubang bor dibuat vakum dengan pipa.

c. *Deep well pump method drainage*

Deep well pump method digunakan untuk mengurangi risiko genangan air dan menjaga kondisi kerja yang aman dan efisien di lingkungan pertambangan. Sistem penyaliran dengan metode ini digunakan untuk

material dengan kondisi permeabilitas rendah dan jenjang yang tinggi. Prinsipnya dimulai dari pembuatan lubang bor dan dipasang casing kemudian pompa dimasukkan ke dalam lubang bor dan pompa tersebut secara otomatis akan bekerja bila tercelup air.

d. *Electro osmosis system drainage*

Sistem penyaliran yang umumnya digunakan pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah dan sangat kecil. Langkah pembuatan dari sistem ini yaitu dibuat dua lubang bor dimana lubang satu sebagai anoda dan yang satu sebagai katoda. Air sekitar lubang bor akan terionisasi dimana lon H akan mengalir ke katoda sehingga akan terjadi netralisasi H dan OH, membentuk H₂O kemudian air yang terkumpul dipompa keluar lubang bor.

2.3 Analisis Data Hidrologi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya suatu kejadian ekstrem (maksimum atau minimum) dan frekuensinya berdasarkan distribusi probabilitas. Hubungan antara besarnya kejadian ekstrem dan frekuensinya atau peluang kejadiannya adalah berbanding terbalik. Besarnya suatu kejadian atau peluang dapat dirumuskan sebagai berikut (Kamiana, 2011):

$$X = \frac{1}{P} \quad (2.1)$$

Keterangan rumus:

X = Besarnya suatu kejadian.

P = Frekuensi atau peluang suatu kejadian.

Berdasarkan persamaan (2.1), dapat dilihat bahwa nilai X akan makin besar jika nilai P makin kecil. Variabel X adalah hujan, makin besar curah hujan maka frekuensi kejadiannya makin kecil. Atau frekuensi hujan yang sangat lebat adalah lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi hujan yang bukan lebat. Dalam analisis frekuensi suatu kejadian (hujan atau debit) diperlukan seri data (hujan atau debit) selama beberapa tahun. Menurut Kamiana (2011) pengambilan seri data untuk tujuan analisis frekuensi dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu;

a. *Seri parsial (partial duration series).*

Metode ini digunakan apabila data yang tersedia kurang dari 10 tahun

runtut waktu. Dalam metode ini, ditetapkan dulu batas bawah suatu seri data. Kemudian semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil menjadi bagian seri data. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat. Aplikasi metode parsial yaitu dengan mengambil semua besaran data yang cukup besar kemudian diurut dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk kepentingan analisis adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran yang paling besar. Kekurangan dari metode pengambilan seri data seri parsial adalah dimungkinkannya dalam satu tahun diambil data lebih dari satu, sementara pada tahun yang lain tidak ada data yang diambil karena data yang tersedia di bawah batas bawah.

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 setiap tahun atau hanya ada satu data setiap tahun. Metode maksimum tahunan memungkinkan data terbesar ke dua dalam suatu tahun yang lebih besar nilainya dari data terbesar pada tahun yang lain menjadi tidak diperhitungkan dalam analisis.

Dalam satu periode pengambilan data hujan pada stasiun hujan, data *output* belum bisa sepenuhnya dipakai karena dalam kurun periode pencatatan kemungkinan terjadi kesalahan baik dari segi manusia dalam waktu pengambilan data. Kesalahan yang mungkin terjadi selama proses pengambilan data hujan seperti pemindahan alat penakar hujan, tertutupnya alat penakar hujan oleh vegetasi atau bentuk penghalang lainnya tentunya dapat mengakibatkan perubahan data hujan yang tercatat (Asdak, 2001).

2.3.1. Periode ulang

Periode ulang adalah waktu hipotetik di mana suatu kejadian dengan nilai tertentu, hujan rencana misalnya, akan disamai atau dilampaui 1 kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut. Periode ulang hujan membantu dalam mengidentifikasi dan merencanakan untuk peristiwa hujan ekstrem yang mungkin terjadi di masa depan. Periode ulang juga dapat diartikan bahwa hujan rencana akan berulang secara

teratur setiap periode ulang tersebut. Besarnya hujan rencana ditentukan berdasarkan analisis Frekuensi atau distribusi probabilitas (Kamiana, 2011)

Suripin (2004) menyatakan bahwa sistem hidrologi terkadang dipengaruhi oleh peristiwa yang luar biasa, seperti hujan lebat, banjir dan kekeringan. Besaran peristiwa berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim kejadiannya sangat langka. Dalam melakukan desain suatu struktur pada area penambangan seperti *sump* dan kolam pengendapan frekuensi kejadian suatu peristiwa menjadi salah satu pertimbangan yang harus diperhitungkan.

Peluang terjadinya suatu peristiwa yang luar biasa, seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan dapat dijelaskan oleh analisis statistik sejarah terjadinya peristiwa tersebut di daerah atau kawasan yang serupa. Perencanaan desain untuk sebuah struktur (*sump*) tidak hanya dihitung berdasarkan aspek ekonomi melainkan juga memasukkan parameter probabilitas suatu *event* (kejadian hujan) pada area penambangan, sehingga perancang atau insinyur harus memilih frekuensi rancangan yang sesuai untuk struktur. Frekuensi harapan untuk banjir tertentu adalah kebalikan dari probabilitas atau peluang dari banjir akan sama atau terlampaui pada tahun tertentu. Banjir yang memiliki peluang 20 persen maka menjadi sama atau terlampaui setiap lima tahun. Dalam jangka waktu yang lama banjir akan sama atau melebihi rata-rata setiap lima tahun sekali, hal ini disebut periode ulang atau *average recurrence interval* (ARI) (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: *Guideline of Mine Water Managemen* (PT Kaltim Prima Coal)

Berdasarkan Tabel 3 maka dapat disimpulkan bahwa banjir lima tahunan bukanlah banjir yang selalu sama atau terlampaui setiap lima tahun. Ada

kemungkinan 20 persen bahwa banjir tersebut akan sama atau terlampaui setiap tahun. Probabilitas banjir lima tahunan dapat terjadi dalam beberapa tahun berturut-turut. Alasan yang sama berlaku untuk banjir dengan periode ulang lainnya.

Tujuan dari analisis periode ulang hujan adalah menentukan besaran peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Penentuan periode ulang hujan untuk perencanaan sarana penyaliran tambang dapat dilakukan berdasarkan nilai acuan periode ulang (10-25 tahun). Analisis curah hujan maksimal tahunan dengan periode ulang hujan yang berbeda merupakan dasar untuk perhitungan ekonomis dan perencanaan pekerjaan irigasi seperti saluran air, gorong-gorong, tanggul serta untuk menentukan koefisien saluran (Bhakar et al., 2006). Penentuan besaran periode ulang hujan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Periode ulang hujan rencana

Keterangan	Periode ulang hujan
Daerah terbuka	0,5
Sarana tambang	2-5
Lereng-lereng tambang dan penimbunan	5-10
<i>Sump</i> utama	10-25
Penyaliran keliling tambang	25
Pemindahan aliran sungai	100

Sumber: (Mudjonarko, 2009)

Analisis periode ulang hujan ini berdasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah terjadi untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi:

1. Distribusi normal

Distribusi normal banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misalnya analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya. Distribusi normal atau kurva normal disebut juga Distribusi Gauss. Distribusi ini mempunyai rumus:

$$X_T = X + k \cdot s \quad (2.2)$$

Keterangan:

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tertentu

X = Nilai rata-rata hitung variat

k = Faktor frekuensi (fungsi dari peluang periode ulang)

s = Deviasi standar variat

Nilai faktor frekuensi (k) umumnya sudah tersedia dalam Tabel 5 untuk mempermudah perhitungan, yang umum disebut sebagai tabel nilai variabel reduksi (*variabel reduce Gauss*).

Tabel 5 Nilai variabel reduksi gauss.

Periode ulang (tahun)	peluang	k
1,001	0,999	-3,05
1,250	0,800	-0,84
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,020	2,05
100,000	0,010	2,33

Sumber: (Soewarno, 1995).

2. Distribusi log normal

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah nilai variat X menjadi nilai logaritmik variat X . Metode Log Normal berguna untuk mengatasi data curah hujan yang tidak terdistribusi normal pada skala asli, tetapi mungkin mendekati normalitas setelah dilakukan transformasi logaritmik (Ross, 2013). Distribusi ini mempunyai rumus:

$$Y_T = Y + k \cdot S \quad (2.3)$$

Keterangan:

Y_T = Nilai logaritmik nilai X

\bar{Y} = Rata-rata hitung nilai Y

S = Standar deviasi nilai Y

k = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang periode ulang

3. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel digunakan untuk menentukan besarnya curah hujan rencana, metode ini digunakan untuk analisis limpasan permukaan dan frekuensi banjir pada suatu DAS. Data yang dihasilkan menggunakan metode ini berupa data curah hujan maksimum periode tahunan (Loebis & Suroso, 2006).

$$X_T = X_r + (K \cdot S_x) \quad (2.4)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana dengan periode T tahun

X_r = Rata-rata curah hujan maksimum

K = Faktor frekuensi

S_x = Standar deviasi

4. Distribusi Log Pearson Type III

Pearson telah mengembangkan banyak model matematik fungsi distribusi untuk membuat persamaan empiris dari suatu distribusi. Ada 12 tipe distribusi Pearson, namun hanya distribusi Log Pearson III yang banyak digunakan dalam hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum. Bentuk distribusi Log Pearson Type III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson III dengan transformasi variat menjadi nilai Log. Bentuk kumulatif dari distribusi Log Pearson Type III dengan nilai variat X. variat ini kemudian akan membentuk garis lurus ketika digambarkan pada kertas kertas probabilitas logaritmik. Persamaan tersebut mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$Y_T = \bar{y} + K_T s_y \quad (2.5)$$

Keterangan

Y_T = Nilai logaritmik dari x dengan periode ulang T

\bar{y} = Nilai rerata dari y_i

s_y = Standar deviasi dari y_i

K_T = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari probabilitas atau periode ulang dan koefisien kemencengan

2.3.2. Uji keselarasan data

Uji keselarasan digunakan untuk menentukan keselarasan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian dua cara yang dapat dilakukan untuk menguji apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang ada, yaitu Metode Chi-Kuadrat dan Smimov Kolmogorov (Sriharto, 1993).

1. Metode Chi Kuadrat

Metode Chi-Kuadrat juga dikenal sebagai uji Chi-Kuadrat atau *Chi-Square test*, adalah teknik statistik yang digunakan untuk menentukan apakah ada hubungan atau asosiasi antara dua variabel kategorikal dalam analisis data. Uji Chi-Kuadrat membandingkan frekuensi observasi data dengan frekuensi yang diharapkan jika tidak ada hubungan antara dua variabel. Metode Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X . Adapun langkah-langkah perhitungan dari uji Chi Kuadrat ini adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995):

- a. Menentukan jumlah jumlah kelas dengan menggunakan persamaan

$$K = 1 + 3,322 \log n \quad (2.5)$$

- b. Menghitung X^2 dengan rumus

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.6)$$

Keterangan:

X^2 = Nilai chi *square*

k = Jumlah kelas

O_i = Frekuensi pengamatan kelas

E_i = Frekuensi teoritis kelas

- c. Menentukan nilai X^2 dari tabel dengan menentukan taraf signifikan (α) dan derajat kebebasan (v)
- d. Kesimpulan dari hasil perhitungan apabila X^2 hitung $< X^2_{cr}$ maka distribusi terpenuhi dan apabila nilai X^2 hitung $> X^2_{cr}$ maka distribusi tidak terpenuhi besarnya nilai X^2_{cr} dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai kritis chi kuadrat (Soewarno, 1995).

dk	Alfa (α)					
	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250
1	7,879	6,635	5,024	3,841	2,706	1,323
2	10,597	9,210	7,378	5,991	4,605	2,773
3	12,38	11,345	9,348	7,815	6,251	4,108
4	14,860	13,277	11,143	9,488	7,779	5,835
5	16,750	15,086	12,833	11,070	9,236	6,626
6	18,545	16,812	14,449	12,592	10,645	7,841
7	20,278	18,475	16,013	14,067	12,017	9,307
8	21,955	20,090	17,535	15,507	13,362	10,219
9	23,589	21,666	19,023	16,919	14,684	11,389
10	25,188	23,209	20,483	18,307	15,987	12,549

Sumber: (Soewarno, 1995).

2. Metode Smirnov-Kolmogorov

Metode Smirnov Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji Smirnov-Kolmogorov digunakan untuk membandingkan peluang yang paling maksimum antara distribusi empiris dan teoritisnya. Prosedur perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut (Sutopo, 1996):

- a. Data diurutkan dari yang terkecil ke terbesar
- b. Menghitung peluang empiris (S_n) dengan rumus Weibull

$$S_n(X) = \frac{m}{n + 1} \quad (2.6)$$

Keterangan

$S_n(X)$ = Posisi data X menurut data pengamatan

m = Nomor urut data

n = Banyak data

- c. Menghitung peluang teoritis (P_t) dengan rumus

$$P_t = 1 - P_r \quad (2.7)$$

- d. Menghitung simpangan maksimum (A) dengan rumus

$$\Delta = maks |P_t(X) - S_n(X)| \quad (2.8)$$

- e. Menentukan nilai Δ_{cr} dari Tabel 7. Menyimpulkan hasil perhitungan dari distribusi teoritis yaitu apabila $\Delta < cr$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima dan apabila $\Delta > cr$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 7 Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov

N	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,48	0,55	0,61	0,73
10	0,34	0,39	0,43	0,52
15	0,28	0,32	0,35	0,42
20	0,24	0,27	0,30	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,33
30	0,20	0,22	0,25	0,30
35	0,18	0,21	0,23	0,28
40	0,17	0,19	0,22	0,26
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$N > 50$	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber: (Soewarno, 1995).

2.3.3. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan merupakan jumlah curah hujan dalam jangka waktu tertentu,

dan dinyatakan dalam mm per satuan waktu. Intensitas curah hujan dapat digunakan untuk menghitung debit air limpasan. Besarnya intensitas curah hujan dapat ditentukan secara langsung, penentuan besarnya intensitas curah hujan menggunakan data rekaman durasi hujan setiap harinya yang diukur dengan alat penakar hujan (Hasmar, 2011)

Penentuan intensitas hujan dengan menggunakan rumus Mononobe, karena data yang tersedia di daerah penelitian hanya terdapat data curah hujan harian, yang dapat dilihat pada persamaan berikut (Loebis & Suroso, 2006):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

T_c = Turasi curah hujan (jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimal dalam 24 jam (mm)

(Sosrodarsono & Takeda, 2003) membuat kategori hujan berdasarkan nilai curah hujan. Curah hujan tidak bertambah sebanding dengan waktu. Jika waktu itu ditentukan lebih lama, maka penambahan curah hujan itu adalah lebih kecil dibandingkan dengan perubahan waktu, pada kondisi tertentu curah hujan dapat berkurang atau berhenti. Derajat dan intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 8 Derajat dan intensitas curah hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm) 24 Jam	Kondisi
Hujan Sangat Ringan	< 5	Tanah basah atau dibasahi sedikit
Hujan Ringan	5-20	Tanah menjadi basah semuanya
Hujan Normal	20-50	Bunyi curah hujan terdengar
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 oleh partikel air hujan untuk mengalir dari titik terjauh di dalam daerah tangkapan hujan sampai ke titik tinjau atau tempat penyaliran. Metode yang digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi adalah Metode Kirpich yang ditulis sebagai berikut (Triadmodjo, 2008). Rumus untuk Metode Kirpich dapat dilihat pada persamaan 2.10

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \quad (2.10)$$

$$s = \frac{\alpha}{45} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\tan \alpha = \frac{\Delta H}{L} \quad (2.12)$$

Keterangan:

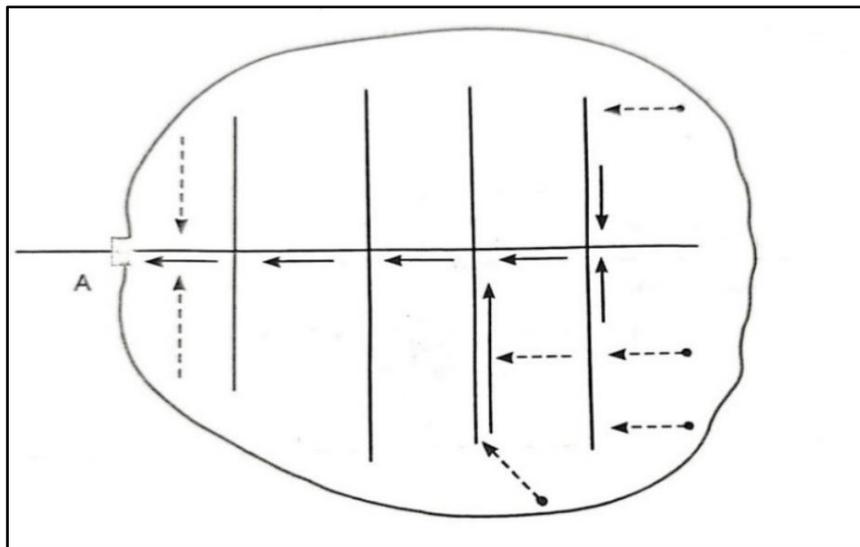
T_c = Waktu terakumulasinya air (menit)

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



Gambar 7 Konsentrasi aliran dari DAS ke titik control (Triatmodjo, 2008).

Air hujan yang jatuh di seluruh daerah tangkapan akan terkonsentrasi (mengalir menuju) suatu titik kontrol. Gambar 7 menunjukkan air hujan yang jatuh di seluruh daerah tangkapan mengalir sebagai limpasan permukaan (garis panah

terputus) yang kemudian masuk ke saluran-saluran kecil dan selanjutnya bergabung ke saluran yang lebih besar dan akhirnya terkonsentrasi di titik kontrol A. Debit di titik A akan maksimum apabila air hujan yang jatuh di seluruh daerah tangkapan telah mencapai titik kontrol, pada waktu yang sama dengan waktu konsentrasi.

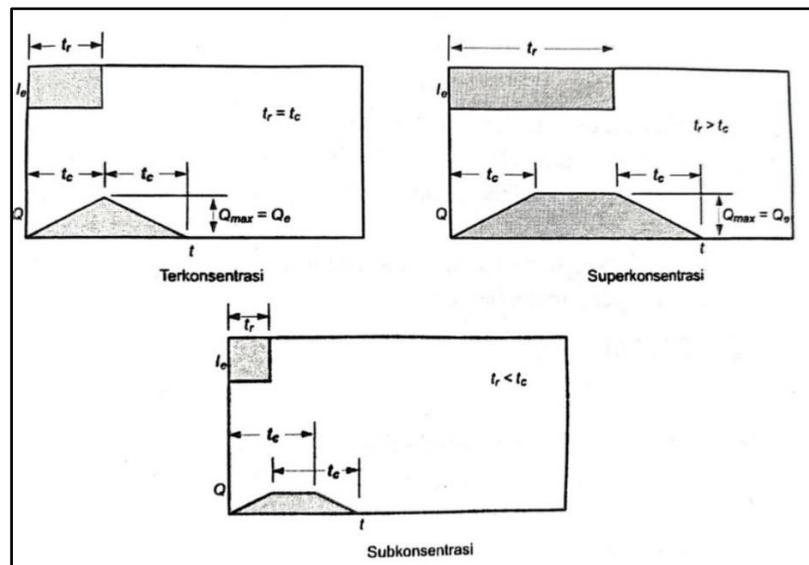
Waktu konsentrasi bergantung pada karakteristik daerah tangkapan, tataguna lahan, jarak lintasan air dari titik terjauh sampai stasiun yang ditinjau. Konsentrasi aliran di suatu DAS dapat dibedakan menjadi tiga tipe tanggapan DAS. Tipe pertama terjadi apabila durasi hujan efektif sama dengan waktu konsentrasi t_c ($t_r = t_c$). Kondisi ini mempunyai ciri-ciri semua air hujan yang jatuh di DAS telah terkonsentrasi di titik kontrol, sehingga debit aliran mencapai maksimum. Ketika hujan berhenti, dan aliran berikutnya di titik kontrol tidak lagi aliran dari seluruh DAS, sehingga debit aliran berkurang secara berangsur-angsur sampai akhirnya kembali nol. Aliran terakhir di titik kontrol adalah air hujan yang berasal dari titik terjauh, sehingga waktu resesi sama dengan waktu konsentrasi, dan hidrograf berbentuk segitiga. Tipe tanggapan DAS seperti ini disebut aliran terkonsentrasi.

Tipe kedua terjadi apabila durasi hujan efektif lebih lama dari waktu konsentrasi ($t_r > t_c$). Pada keadaan ini aliran terkonsentrasi pada titik kontrol, dan debit maksimum tercapai setelah waktu aliran sama dengan waktu konsentrasi. Karena hujan terus berlangsung, seluruh daerah tangkapan terus menyumbangkan aliran ke titik kontrol, dan debit adalah konstan sebesar debit maksimum. Setelah hujan berhenti, debit berkurang secara berangsur-angsur dan kembali menjadi nol. Waktu resesi sama dengan waktu konsentrasi. Tipe tanggapan DAS seperti ini disebut aliran superkonsentrasi.

Tipe ketiga terjadi apabila durasi hujan efektif lebih pendek daripada waktu konsentrasi ($t_r < t_c$). Pada keadaan ini debit aliran di titik kontrol tidak mencapai nilai maksimum. Setelah hujan berhenti, aliran berkurang sampai akhirnya menjadi nol. Tipe tanggapan DAS seperti ini disebut aliran subkonsentrasi. Tipe konsentari aliran dapat dilihat pada Gambar 8

Apabila durasi hujan lebih kecil dari waktu konsentrasi, intensitas hujan akan lebih tinggi, tetapi hanya sebagian dari daerah tangkapan yang memberikan sumbangan pada aliran. Kejadian ini menyebabkan debit aliran yang terjadi di stasiun yang ditinjau lebih kecil dibanding kalau durasi hujan sama dengan waktu

konsentrasi. Dengan demikian debit aliran akan maksimum bila durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi.



Gambar 8 Tipe konsentrasi aliran hujan (Triatmodjo, 2008).

2.3.5. Daerah tangkapan hujan

Daerah tangkapan hujan (*catchment area*) adalah luasnya permukaan yang bila terjadi hujan maka air hujan tersebut akan mengalir ke daerah yang lebih rendah menuju titik pengaliran. Hujan yang terjadi di permukaan bumi merupakan hasil dari suatu daur air. Daur air di muka bumi secara garis besar terdiri dari penguapan, presipitasi dan pengaliran. Air yang menguap terutama air laut, akan naik ke atmosfer berubah menjadi awan dan setelah mengalami berbagai proses kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan bumi.

Air yang jatuh ke permukaan bumi sebagian mengalami infiltrasi, sebagian ditahan oleh tumbuhan dan sebagian lagi akan mengisi cekungan dan lekukan di permukaan bumi kemudian mengalir ke tempat yang lebih rendah. Sebagian air hujan yang jatuh akan mengalami evaporasi dan ada pula yang mengalami transpirasi.

Semua air yang mengalir ini tidak akan menjadi sumber dari suatu sistem penirisan. Kondisi ini tergantung dari daerah tangkapan hujannya dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi topografi, rapat tidaknya vegetasi serta keadaan geologi. Setelah *catchment area* ditentukan, maka diukur luasnya pada peta kontur, yaitu dengan menarik hubungan dari titik-titik yang tertinggi di sekeliling

tambang membentuk poligon tertutup, dengan melihat kemungkinan arah mengalirnya air (Sosrodarsono & Takeda, 2003).

2.3.6. Koefisien limpasan

Koefisien limpasan merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan yang terjadi pada daerah tangkapan hujan. Koefisien limpasan tiap-tiap daerah berbeda, dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9 Nilai koefisien limpasan

Macam Permukaan	Koefisien Limpasan (C)
Lapisan batubara, jalan pengangkutan	1,00
Jenjang	0,75
Lahan bekas pembersihan	0,70
Lapisan tanah penutup	0,65
Lapisan tanah penutup yang sudah ditanami	0,55
Hutan	0,50

Sumber: (Kaltim Prima Coal, 2015)

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 (Hartono, 2008)

1. Kerapatan vegetasi

Daerah dengan vegetasi yang rapat akan memberikan nilai C yang kecil, karena air hujan yang masuk tidak dapat langsung mengenai tanah, melainkan akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan, sedangkan tanah yang gundul akan memberi nilai C yang besar.

2. 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 petakpetak sawah, sebelum akhirnya menjadi limpasan permukaan.

3. Kemiringan tanah

Daerah dengan kemiringan yang kecil (<3%) akan memberikan nilai C yang kecil, daripada daerah dengan kemiringan tanah yang sedang sampai curam untuk keadaan yang sama.

Menurut (Suripin, 2004), jika suatu daerah terdapat berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien limpasan yang berbeda, maka harga C dapat ditentukan dengan Persamaan (2.13).

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.13)$$

Keterangan

C_{DAS} = Nilai koefisien limpasan

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah (ha)

C_i = Koefisien limpasan jenis penutup tanah

N = Jumlah jenis penutup lahan

2.3.7. Debit limpasan

Air limpasan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Pengelolaan air limpasan pertambangan adalah bagian penting dari praktik pertambangan yang berkelanjutan dan bertanggung jawab. Air limpasan berlangsung ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam tanah. Jika laju infiltrasi terpenuhi, air mulai mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah pengisian air pada cekungan tersebut telah selesai, air kemudian dapat mengalir di atas permukaan tanah dengan bebas. Debit air limpasan permukaan dari suatu daerah dapat dihitung menggunakan rumus rasional (Purbohadiwidjoyo, 1993). Rumus yang digunakan dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot A \cdot I \quad (2.14)$$

Keterangan:

Q = Debit Limpasan (m³/detik)

C = Koefisien limpasan

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas area tangkapan hujan (km²)

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. DAS disebut kecil apabila distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. Ponce, (1989) memandang bahwa luas DAS kurang dari 2,5 km² dapat dianggap sebagai DAS kecil. Metode rasional sangat sederhana dan sering digunakan dalam perencanaan drainasi 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).

2.4 Kebutuhan Pompa

2.4.1. Pompa

Amin (2002) menyatakan bahwa pompa merupakan alat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan atau mengeluarkan air dari tempat yang rendah yaitu air yang ada pada kolam penampungan (*sump*) pada lantai kerja penambangan ke tempat yang lebih tinggi. Sesuai dengan prinsip kerjanya, pompa dibedakan atas (Wheeler, 1998):

1. *Reciprocating pump*

Reciprocating pump bekerja berdasarkan torak maju mundur secara horisontal di dalam silinder. Keuntungan jenis ini adalah efisien untuk kapasitas kecil dan umumnya dapat mengatasi kebutuhan energi yang tinggi. Kerugiannya adalah beban yang berat serta perlu perawatan yang teliti. Pompa jenis ini kurang sesuai untuk air berlumpur karena katup pompa akan cepat rusak, oleh karena itu jenis pompa ini kurang sesuai untuk digunakan di tambang.

2. *Centrifugal pump*

Centrifugal pump bekerja berdasarkan putaran *impeller* di dalam pompa. Air yang masuk akan diputar oleh *impeller*, akibat gaya sentrifugal yang terjadi air akan dilemparkan dengan kuat ke arah lubang pengeluaran

pompa. Pompa jenis ini banyak digunakan di tambang karena dapat melayani air berlumpur, kapasitasnya besar dan perawatannya lebih mudah.

3. Axial pump

Axial pump bekerja ketika zat cair mengalir pada arah aksial melalui kipas. Umumnya bentuk kipas menyerupai baling-baling kapal. Pompa ini dapat beroperasi secara vertikal maupun horisontal. Jenis pompa ini digunakan untuk *head* yang rendah.

Head merupakan energi yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah air pada kondisi tertentu. Semakin besar debit air yang dipompa, maka *head* akan semakin besar juga. Pemilihan pompa harus memerhatikan kapasitas maksimum dan minimum pompa, kondisi *inlet*, kondisi *outlet*, julang total pemompaan, jenis cairan yang di pompa, kondisi kerja, penggerak pompa, tempat Instalasi, dan jumlah pompa yang dibutuhkan sehingga diketahui berapa lama waktu pemompaannya. Perhitungan *head* atau julang yang digunakan adalah perhitungan yang didapat di lapangan yang mengacu pada perbedaan elevasi *inlet* dan *outlet* pompa, spesifikasi pipa yang digunakan dan untuk debit pemompaan (*flow rate*) disimulasikan. Perhitungan *head* pemompaan total dapat ditulis sebagai berikut (PT Kaltim Prima Coal, 2017):

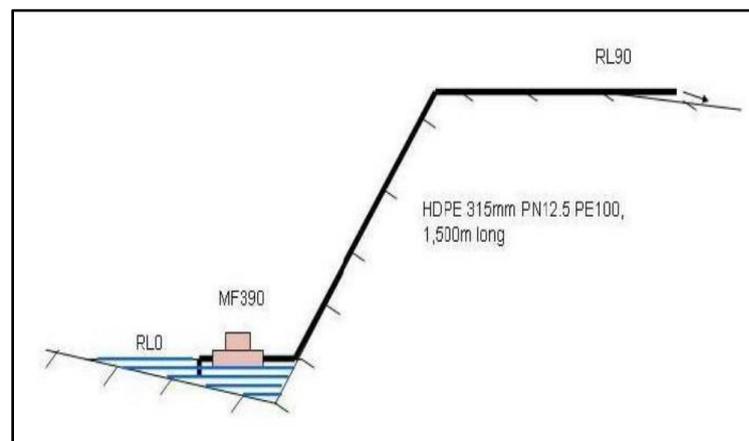
$$H = H_f + H_s \quad (2.15)$$

Keterangan:

H = *Head* total (m)

H_s = *Head* statis (m)

H_f = *Head* gesekan (m)



Gambar 9 Skema pemompaan pada sistem dewatering (PT Kaltim Prima Coal, 2017).

Head statis adalah kehilangan tenaga pada pompa yang disebabkan oleh perbedaan ketinggian air dengan tempat pembuangan. Secara matematis dapat dinyatakan dengan:

$$H_s = h_2 + h_1 \quad (2.16)$$

Keterangan:

H_s = *Head* statik (m)

h_2 = Ketinggian tempat pembuangan air/ *outlet* (m)

h_1 = Ketinggian air mula-mula/ *inlet* (m)

Head gesekan adalah energi untuk mengatasi kerugian-kerugian yang timbul akibat aliran fluida dan terdiri dari julang kerugian gesek di dalam pipa. Kehilangan energi terjadi akibat adanya kekentalan zat cair atau turbulensi karena adanya kekasaran dinding yang dapat menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energi sepanjang pipa pada aliran seragam. Perhitungan *head* gesekan sangat dipengaruhi dengan spesifikasi pipa yang dipakai, hal ini dikarenakan nilai dari faktor kehilangan pipa yang berbeda. Rumus yang digunakan untuk mencari kehilangan energi akibat gesekan air di dalam pipa berdasarkan persamaan dan metode Darcy-weisbach, yaitu:

$$H_f = \left(\frac{L}{100} \right) \times \text{Head loss sesuai spesifikasi pipa} \quad (2.17)$$

Keterangan:

H_f = *Head* gesekan (m)

L = Panjang pipa (m)

2.4.2. Pemipaan

Pipa untuk sistem *dewatering* adalah pipa yang digunakan dalam proses pengelolaan air untuk mengurangi atau menghilangkan air dari area tertentu, seperti area konstruksi, tambang, atau pekerjaan di bawah tanah. Pipa merupakan saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas, dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer (Triadmodjo, 2008). Berikut merupakan tabel penentuan faktor kehilangan sesuai dengan spesifikasi pipa.

Tabel 10 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 ($\frac{m}{100}$)			
	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	
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

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 (m/100 m)			
	Diameter Pipa			
	10 Inch	11 Inch	12 Inch	14 Inch
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
425			11,72	6,56
450				7,28
475				8,05
500				8,85
525				9,68

Sumber: (Rowan, 2008)

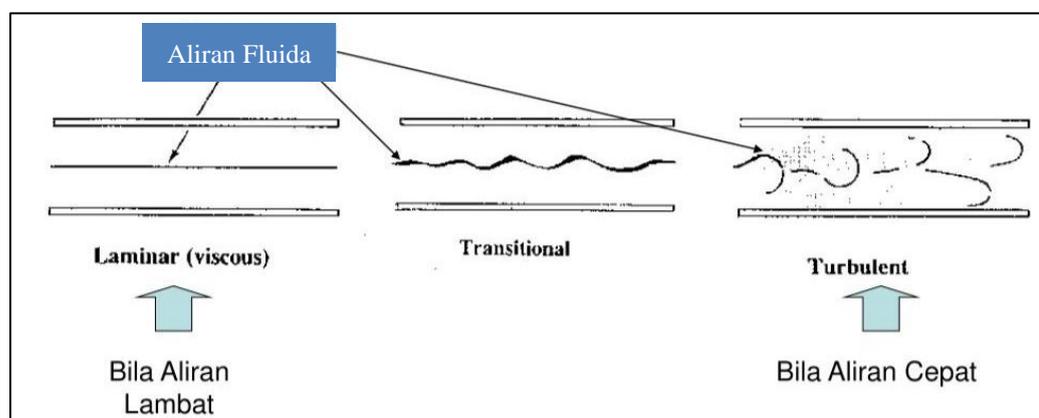
Zat cair yang mengalir didalam bidang tanpa batas (pipa, saluran terbuka atau bidang datar) akan terjadi tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran. Kehilangan energi sekunder disebabkan adanya perubahan penampang pada pipa, sambungan pipa, belokan pipa dan katub. Pada pipa yang lebih panjang kehilangan energi primer biasanya lebih besar dari pada kehilangan energi sekunder, sehingga pada keadaan tersebut kehilangan tenaga sekunder dapat diabaikan. Pada pipa pendek kehilangan energi sekunder harus diperhitungkan, untuk memperkecil kehilangan energi

sekunder perubahan penampang dan belokan dibuat secara berangsur-angsur (Oemiati et al.).

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 pipa. Kehilangan energi akibat gesekan pada pipa disebut juga kehilangan energi primer (Triadmodjo, 2008)

2.4.3. Aliran Fluida

Aliran fluida merupakan perpindahan fluida yang membentuk garis aliran dengan kecepatan tertentu. Penandaan terhadap garis aliran adalah pada garis singgung antara tiap titik perpindahan fluida dengan pengamatan vektor kecepatan. Tipe aliran fluida dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan garis aliran maka aliran fluida terbagi menjadi aliran stasioner dan aliran non-stasioner. Aliran stasioner terbentuk ketika garis aliran berimpit dengan arah aliran. Aliran non-stasioner adalah aliran yang selalu tidak berimpit dengan garis alirannya. Aliran stasioner dan aliran non-stasioner akhirnya juga membentuk tabung aliran, yang merupakan suatu ruangan berbentuk tabung dengan pembatas berupa kumpulan garis aliran (Suharto & Bambang, 2013).



Gambar 10. Tipe aliran fluida dalam pipa (Suharto & Bambang, 2013)

Kecepatan aliran fluida berbeda-beda pada tiap penampang dan ditentukan berdasarkan 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).

a. Aliran laminar

Aliran laminar merupakan aliran fluida yang terbentuk sebagai akibat dari tidak adanya gangguan pada pengaliran fluida di tiap lapisan yang saling sejajar. Kondisi ini membuat garis aliran dari masing-masing aliran fluida tidak saling berpotongan. Karakteristik dari aliran laminar adalah tidak membentuk pusaran, persilangan maupun percampuran garis aliran. Setiap partikel di dalam fluida bergerak seranjang dengan arah garis aliran secara teratur. Kondisi yang memungkinkan terbentuknya aliran laminar adalah fluida bergerak dengan kecepatan yang sangat lambat. Pembentukan aliran laminar juga dapat terjadi pada fluida yang memiliki tingkat kekentalan yang tinggi. Difusi momentum pada aliran laminar sangat besar. Sebaliknya, momentum konveksi yang dihasilkan oleh aliran laminar bernilai 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).

b. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran fluida dengan bentuk peralihan antara aliran laminar menjadi aliran turbulen. Keberadaan aliran transisi merupakan akibat dari perbedaan sifat antara aliran laminar dan aliran turbulen. Perbedaan sifat ini utamanya dalam hal kehilangan energi akibat gaya gesek. Kehilangan energi ini terjadi selama pengaliran fluida. Status aliran transisi dapat diketahui melalui nilai bilangan Reynolds. Aliran transisi dapat terbentuk ketika terjadi peningkatan pada nilai bilangan Reynolds dari aliran laminar. Nilai bilangan Reynolds pada aliran transisi berada di dalam rentang bilangan Reynolds aliran laminar dan aliran turbulen. Kisaran nilainya antara 2000 hingga 4.000. Rentang nilai aliran transisi dipengaruhi oleh tingkat ketidaksempurnaan sistem aliran fluida beserta dengan tingkat gangguan lainnya. Setelah waktu dan kondisi tertentu, aliran transisi akan berubah menjadi aliran turbulen. Aliran transisi

umumnya terbentuk pada aliran udara yang bertumbukan dengan benda yang melengkung. Permukaan benda yang mengalami tumbukan umumnya berbentuk bola (Kindangen & Jeffrey, 2017).

c. Aliran turbulens

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 lainnya. 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).

2.4.4. Sumuran (*Sump*)

Sumuran tambang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara air dan lumpur sebelum dipompa ke luar tambang. Sumuran tambang dibedakan menjadi dua macam, yaitu sumuran tambang permanen dan sementara. Sumuran tambang permanen adalah sumuran yang berfungsi selama penambangan berlangsung, dan umumnya tidak berpindah tempat. Sumuran sementara berfungsi dalam rentang waktu tertentu dan sering berpindah tempat (Suwandhi, 2004).

Dimensi sumuran tambang tergantung pada kuantitas (debit) air limpasan, kapasitas pompa, volume, waktu pemompaan. Kondisi lapangan seperti kondisi penggalian terutama pada lantai tambang (*floor*) dan lapisan batubara serta jenis tanah atau batuan di bukaan tambang. Pada prinsipnya sumuran diletakkan pada lantai tambang (*floor*) yang paling rendah, jauh dari aktivitas penggalian batubara, jenjang di sekitarnya tidak mudah longsor, dekat dengan kolam pengendapan, mudah untuk dibersihkan. *Sump* yang umum digunakan *sump* berbentuk prisma (Suwandhi, 2004).