

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Siklus Hidrologi**

Air di bumi pada dasarnya mengalami suatu perputaran melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung secara terus-menerus dan membentuk suatu siklus yang dikenal dengan siklus hidrologi (*hydrological cycle*). Siklus hidrologi adalah gerakan air ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah dan akhirnya mengalir ke sungai atau laut. Hujan merupakan komponen utama dalam proses hidrologi dan sangat berpengaruh pada sistem penyaliran.

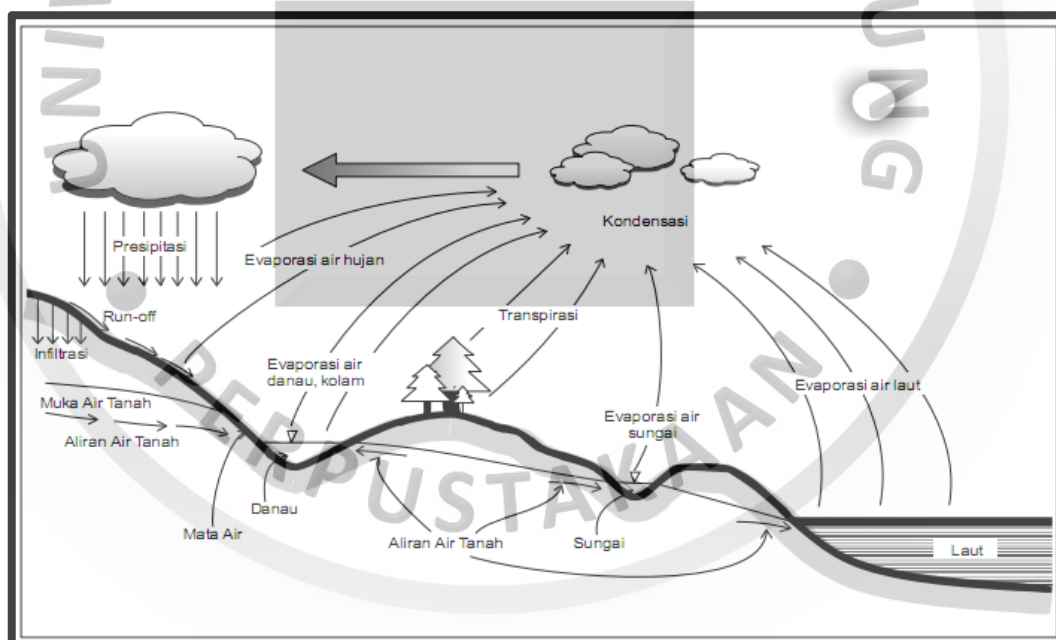
Tahapan daur hidrologi dimulai dari penguapan air dari darat dan laut (*evaporation*). Uap air ini dibawa ke daratan oleh massa udara yang bergerak dan akan terkondensasi pada lapisan atmosfer bumi. Uap air akan berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses. Lalu uap air ini akan terkondensasi pada lapisan atmosfer bumi dan terjadilah presipitasi. Presipitasi ini dapat berbentuk hujan jika suhu kondensasi uap hanya mencapai wujud cair ataupun salju jika perubahan suhu mencapai di bawah titik beku (*freezing point*).

Air hujan akan memulai siklus baru dalam bentuk aliran di permukaan bumi (*run-off*), maupun melalui media, seperti vegetasi yang menahan butiran air (*interseption*). Beberapa bagian air akan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan akhirnya menuju ke laut, sebagian lagi akan mengalami penguapan baik langsung (*evaporation*) dan melalui tumbuhan (*transpiration*), serta masuk ke dalam tanah melalui rongga antar butiran tanah (*infiltration*). Sebagian air yang masuk kedalam tanah sebagian mengalir kedalam tanah (perkolasi) mengisi airtanah yang

kemudian akan keluar lagi ke sungai-sungai yang biasa disebut aliran intra (*interflow*) dan sebagian lagi akan tersimpan sebagai airtanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah. (Triatmodjo, 2015). (Gambar 3.1)

Pada kedalaman dan zona tertentu, pori-pori tanah dan batuan akan jenuh air. Batas atas zona jenuh air ini disebut muka Airtanah. Apabila aliran airtanah sampai ke permukaan akan menjadi mata air (*spring*). Selain itu, airtanah juga akan mengalir sebagai rembesan ke danau dan terakhir akan mengalir ke laut.

Siklus hidrologi seperti ini akan terjadi sepanjang masa dan menyebabkan volume air di bumi relatif tetap. Siklus ini merupakan konsep dasar tentang keseimbangan air secara global di bumi.



Sumber : Triatmodjo, (2015)

**Gambar 3.1**  
**Skema Siklus Hidrologi**

### 3.2 Sumber Air yang Masuk ke dalam Tambang

Pada dasarnya pada setiap area pertambangan pasti akan terdapat air yang masuk ke area penambangan tersebut. Beberapa sumber air yang akan masuk ke

tempat penambangan dapat berasal dari air hujan yang turun dan masuk langsung ke area penambangan serta airtanah yang berada di area penambangan tersebut.

### 3.2.1 Air Hujan

Pada dasarnya hujan merupakan bentuk presipitasi dalam wujud cairan yang turun dari atmosfer ke permukaan. Presipitasi sendiri dapat berwujud padat (misalnya salju dan hujan es) atau aerosol (seperti embun dan kabut). Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Triatmodjo, 2015).

Hujan terjadi karena udara basah yang naik ke atmosfer mengalami pendinginan sehingga terjadi proses kondensasi. Naiknya udara keatas dapat terjadi secara siklonik, orografik dan konvektif. Tipe hujan dibedakan menurut cara naiknya udara keatas atmosfer.

Jumlah hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/bulan, mm/tahun, dan sebagainya. Curah Hujan (milimeter), merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) millimeter, artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu millimeter atau tertampung air sebanyak satu liter.

### 3.2.2 Airtanah

Airtanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat dalam ruang antar butir tanah dan meresap ke dalam tanah yang kemudian bergabung

membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang dapat meloloskan air dengan mudah disebut *permeable*, seperti lapisan pasir atau kerikil. Lapisan yang tidak mudah meloloskan air disebut *impermeable*, seperti lapisan lempung. Lapisan yang dapat menangkap dan meloloskan air disebut akuifer. Berdasarkan perlakuan batuan terhadap airtanah (menyimpan dan meloloskan air) (Fetter, C.W ,1988) batuan dapat dibedakan menjadi :

1. Akuifer (*Aquifer*);

Akuifer merupakan lapisan batuan pembawa air, lapisan batuan ini mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat menyimpan dan mengalirkan air yang cukup berarti di bawah kondisi lapang. Batuan dari akuifer ini bersifat *permeable*. Contoh : Pasir, kerikil, batu pasir, batu gamping yang memiliki rekahan.

2. Akuifug (*Aquifug*);

Akuifug merupakan lapisan batuan yang tidak dapat menyimpan air, dan meloloskan air. Contoh granit dan batuan yang kompak dan padat.

3. Akitar (*Aquitard*);

Akitar merupakan lapisan batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat menyimpan air tetapi hanya dapat mengalirkan air dalam jumlah yang terbatas, misalnya lempung pasiran (*sandy clay*).

4. Akuiklud (*Aquiclude*).

Akuiklude adalah lapisan batuan yang jenuh (dapat menyimpan air) tetapi tidak dapat meloloskan air dalam jumlah yang berarti. Contoh lempung, *shale*, tuf halus, *silt* dan berbagai batuan yang berstruktur lempung.

### 3.3 Sistem Penyaliran Tambang

Pengertian dari sistem penyaliran tambang adalah suatu usaha yang diterapkan pada daerah penambangan untuk mencegah, mengeringkan, atau mengeluarkan air yang masuk ke daerah penambangan. Upaya ini dimaksudkan untuk mencegah terganggunya aktivitas penambangan yang diakibatkan oleh adanya air dalam jumlah yang berlebihan, terutama pada musim hujan. Selain itu, sistem penyaliran tambang ini juga dimaksudkan untuk memperlambat kerusakan alat serta mempertahankan kondisi kerja yang aman, sehingga alat-alat mekanis yang digunakan pada daerah tersebut dapat beraktifitas dengan optimal.

Sistem penyaliran pada tambang terbuka memiliki beberapa metode atau teknik penanggulangan air. Sistem penyaliran bisa bersifat pencegahan atau pengendalian air yang masuk ke lokasi penambangan. Metode atau teknik penanggulangan air dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

### 3.3.1 *Mine Drainage*

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

1. *Metode Siemens;*

Pada tiap jenjang dari kegiatan penambangan dibuat lubang bor kemudian ke dalam lubang bor dimaksudkan pipa dan di setiap bawah pipa tersebut diberi lubang-lubang. Bagian ujung ini masuk ke dalam lapisan akuifer, sehingga airtanah terkumpul pada bagian ini dan selanjutnya dipompa ke atas dan dibuang ke luar daerah penambangan.

2. *Small Pipe With Vacuum Pump;*

Cara ini diterapkan pada lapisan batuan yang *impermeable* (jumlah air sedikit) dengan membuat lubang bor. Kemudian dimasukkan pipa yang

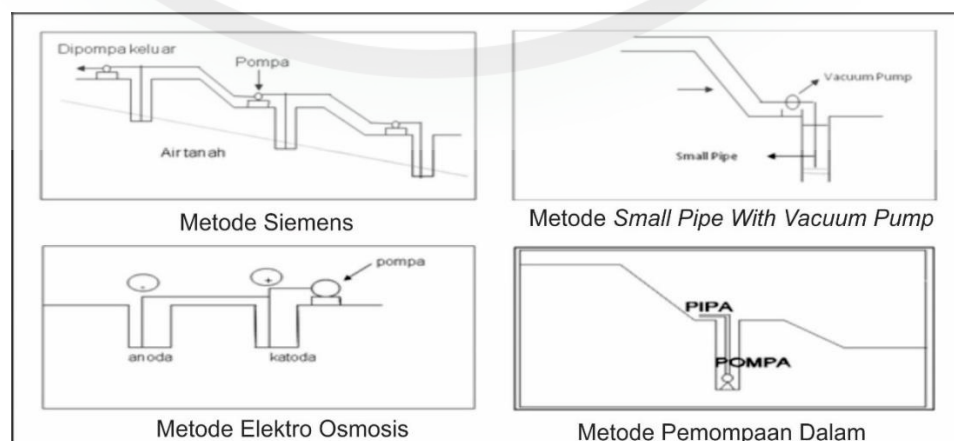
ujung bawahnya diberi lubang-lubang. Antara pipa isap dengan dinding lubang bor diberi kerikil-kerikil kasar (berfungsi sebagai penyaring kotoran) dengan diameter kerikil lebih besar dari diameter lubang. Di bagian atas antara pipa dan lubang bor di sumbat supaya saat ada isapan pompa, rongga antara pipa lubang bor kedap udara sehingga air akan terserap ke dalam lubang bor.

3. *Metode Electro Osmosis;*

Pada metode ini digunakan batang anoda serta katoda. Bilamana elemen-elemen dialiri arus listrik maka air akan terurai,  $H^+$  pada katoda (disumur besar) dinetralsir menjadi air dan terkumpul pada sumur lalu dihisap dengan pompa. Metode ini biasanya digunakan pada daerah dengan permeabilitas rendah dan kuantitas air yang sangat minim, di mana dibuat dua lubang bor yang berdiameter besar dijadikan sebagai katoda dan lubang bor yang berdiameter kecil dijadikan sebagai anoda.

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

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



**Gambar 3.2**

### Bentuk-Bentuk Metode *Mine Drainage*

#### 3.3.2 *Mine Dewatering*

*Mine Dewatering* merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan yang berasal dari bawah tanah (*Sub Surface Water*), maupun yang berasal dari permukaan dalam hal ini air hujan (*Surface Water*), juga bisa berasal dari air limpasan yang masuk (*run off water*). Upaya ini biasanya dilakukan terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Beberapa metode penyaliran *Mine Dewatering* adalah sebagai berikut:

1. Sistem Sumuran Terbuka (*Open Sump System*);

Sistem ini dilakukan dengan cara air yang masuk ke dalam tambang dikumpulkan ke suatu sumuran (*sump*) yang dibuat di dasar tambang kemudian dari sumuran tersebut dipompa dan dialirkan dengan pipa untuk dikeluarkan dari tambang. Sistem ini pada umumnya banyak digunakan pada tambang terbuka.

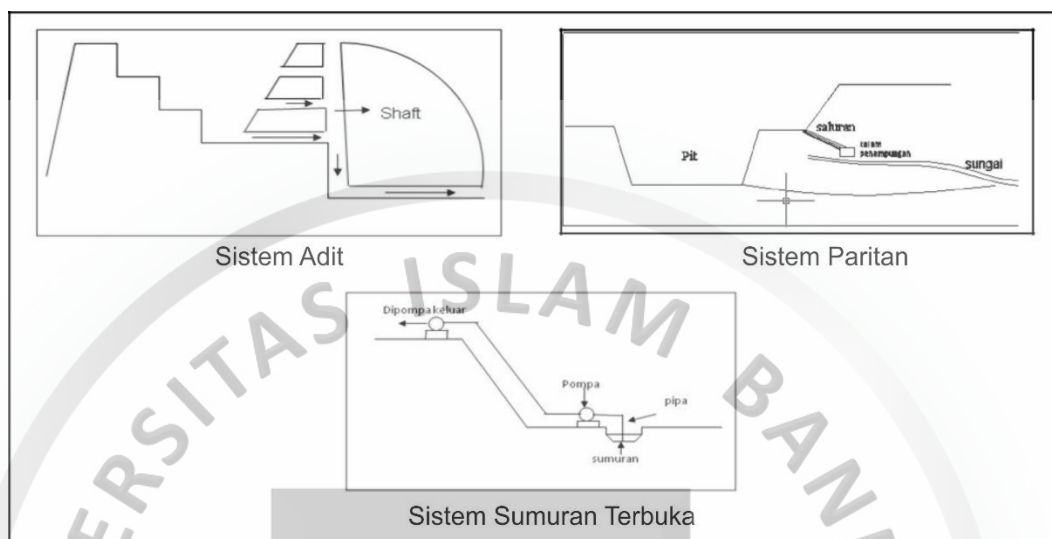
2. Sistem Saluran pengalihan (Paritan);

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

3. Sistem Adit.

Cara ini biasanya digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang mempunyai banyak jenjang. Saluran horisontal yang dibuat dari tempat kerja menembus ke *shaft* yang di buat di sisi bukit untuk pembuangan air yang masuk ke dalam tempat kerja. Pembuangan dengan sistem ini

biasanya mahal, disebabkan oleh biaya pembuatan saluran horisontal tersebut dan *shaft*.



**Gambar 3.3**  
Bentuk-Bentuk Metode *Mine Dewatering*

### 3.4 Daerah Tangkapan Air Hujan (*Catchment Area*)

Daerah tangkapan air hujan (*catchment area*) dapat diartikan sebagai luas wilayah yang apabila hujan turun, aliran air permukaannya (*run off*) akan terkonsentrasi pada suatu titik tertentu. Suatu area ataupun daerah tangkapan hujan di mana batas wilayah tangkapannya ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya akan membentuk suatu poligon tertutup, yang mana polanya disesuaikan dengan kondisi topografi, dengan mengikuti arah aliran air. Air hujan yang mempengaruhi secara langsung suatu sistem drainase tambang adalah air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah atau air permukaan (*run off*) di tambang sejumlah pengaruh dari airtanah.

Daerah yang lebih tinggi merupakan daerah tangkapan (*recharge area*) dan daerah yang lebih rendah merupakan daerah buangan (*discharge area*) yang merupakan daerah pantai maupun lembah dengan suatu sistem aliran sungai. Secara lebih spesifik daerah tangkapan didefinisikan sebagai bagian dari suatu



daerah aliran dimana aliran airtanah menjauhi muka airtanah. Biasanya didaerah tangkapan, muka airtanah terletak pada suatu kedalaman tertentu (**Harto**, 1993).

Sumber utama air limpasan permukaan pada suatu tambang terbuka adalah air hujan, jika curah hujan yang relatif tinggi pada daerah tambang maka perlu penanganan air hujan yang baik (sistem drainase). Penentuan luas daerah tangkapan hujan berdasarkan pada kontur ketinggian yang membentuk puncak gunung atau bukit, lembah antar gunung atau bukit dan mempertimbangkan arah aliran air serta aliran sungai yang ada di daerah yang akan diteliti. Setelah daerah tangkapan hujan 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.

### **3.5 Penyelidikan Hidrologi**

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

Air limpasan merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau, maupun laut. Air limpasan terjadi jika air hujan yang mencapai permukaan tanah tidak terinfiltrasi seluruhnya ke dalam tanah oleh karena intensitas hujan lebih besar daripada kapasitas infiltrasi atau karena pengaruh faktor lain, seperti kemiringan lereng, bentuk dan kekompakan permukaan tanah serta kondisi vegetasi.

Untuk memperkirakan debit air limpasan perlu ditentukan beberapa asumsi agar mempermudah perhitungan, sehingga nilai debit air limpasan yang diperoleh bukan merupakan angka mutlak. Metode yang dianggap baik untuk menghitung debit air limpasan adalah menggunakan Metode Rasional (*US Soil Conversation Service*, 1973). Penggunaan rumus ini dibenarkan hanya untuk daerah yang dianggap kecil atau di bawah 300 Ha dengan kondisi permukaan yang relatif homogen. Persyaratan ini secara umum dianggap dapat diberlakukan atau valid untuk daerah-daerah tambang terbuka, termasuk daerah rencana penambangan batubara pada objek studi ini. Air limpasan puncak dapat dihitung dengan metode rasional (3.1) dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = C \times I \times A \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

Q = Debit air limpasan maksimum (m<sup>3</sup>/detik)

C = koefisien limpasan (tanpa satuan)

I = Intensitas Curah Hujan (m/detik)

A = Luas daerah tangkapan hujan (m<sup>2</sup>)

Jadi faktor-faktor yang berpengaruh dalam debit air limpasan terdiri dari tiga faktor yaitu koefisien limpasan (C), intensitas curah hujan (I), dan daerah tangkapan hujan (A).

### 3.5.1 Koefisien Limpasan (C)

Limpasan permukaan merupakan air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan lahan yang akan masuk ke dalam parit-parit dan selokan-selokan yang kemudian bergabung menjadi anak sungai dan akhirnya menjadi aliran sungai. Nilai koefisien limpasan merupakan parameter yang menggambarkan hubungan curah hujan dan limpasan, yaitu memperkirakan

persentase dari jumlah air hujan yang masuk menjadi limpasan tergantung di permukaan.

Koefisien limpasan adalah konstanta yang menggambarkan tinggi-rendahnya infiltrasi dan penguapan air pada suatu daerah, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor tutupan tanah (*land use*), kemiringan, intensitas hujan dan lamanya hujan.

Adapun beberapa faktor penentuan koefisien limpasan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Kerapatan Vegetasi;

Daerah dengan vegetasi yang rapat akan memberikan nilai koefisien limpasan (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 koefisien limpasan (C) yang besar.

2. Tata Guna Lahan;

Lahan persawahan atau rawa-rawa akan memberikan nilai koefisien limpasan (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.

3. Kemiringan Lahan.

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

Koefisien limpasan untuk beberapa jenis tata guna lahan dengan berbagai kemiringan secara umum, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1**  
**Nilai Koefisien Limpasan**

No	Kemiringan	Tata guna lahan tutupan (Landuse)	Koefisien Limpasan
1.	< 3 %	Sawah, rawa Hutan, perkebunan Perumahan dengan kebun	0,2 0,3 0,4
2.	3 – 15 %	Hutan, perkebunan Perumahan Tumbuhan yang jarang Tanpa tumbuhan, daerah penimbunan	0,4 0,5 0,6 0,7
3.	> 15 %	Hutan Perumahan, kebun Tumbuhan yang jarang Tanpa tumbuhan, daerah tambang	0,6 0,7 0,8 0,9

Sumber : Sayoga, R, (1993)

### 3.5.2 Metode Analisis Intensitas Curah Hujan Rencana (I)

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan dalam jangka waktu tertentu, dan dinyatakan dalam mm persatuan waktu. Intensitas curah hujan dapat digunakan untuk menghitung debit air limpasan. Besarnya intensitas curah hujan dapat ditentukan secara langsung jika ada rekaman durasi hujan setiap harinya yang diukur dengan alat penakar hujan otomatis.

Perhitungan intensitas curah hujan bertujuan untuk mendapatkan nilai intensitas curah hujan yang sesuai, yang nantinya dapat dipakai sebagai dasar perencanaan debit limpasan hujan pada daerah penelitian. Untuk pengolahan data curah hujan menjadi intensitas curah hujan dapat digunakan cara statistik dari pengamatan durasi yang terjadi. Nilai curah hujan maksimum didapatkan dari nilai curah hujan terbesar di setiap bulannya, kemudian diurutkan dari nilai curah hujan tertinggi sampai terendah pada masing-masing tahun. Hubungan antara derajat curah hujan dan intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2**  
**Hubungan Derajat dan Intensitas Curah Hujan**

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm/menit)	Kondisi
---------------------	-----------------------------------	---------

Hujan lemah	0,05 – 0,25	Tanah sedikit basah semuanya
Hujan normal	0,05 – 0,25	Bunyi curah hujan terdengar
Hujan deras	0,25 – 1,00	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan terdengar bunyi dari genangan
Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan, saluran penirisan meluap

Sumber : Sayoga, R, 1993

Untuk pengolahan data curah hujan menjadi intensitas curah hujan dapat digunakan dengan tahapan analisis sebagai berikut :

1. Analisis Seri data tahunan;

Pada suatu sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (ekstrem), seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Tujuan analisis distribusi frekuensi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrem dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kata ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berlangsung berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut (Suripin, 2004).

Menurut Bambang, Triatmodjo, 2015 Ada dua macam seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi, yaitu:

a. Data maksimum tahunan (*annual maximum series*);

Metode ini digunakan apabila tersedia data debit atau hujan minimal 10 tahun data runtut waktu. Tipe ini yaitu dengan mengambil satu data maksimum setiap tahunnya yang berarti bahwa hanya besaran maksimum setiap tahun saja yang dianggap berpengaruh dalam analisis data. Maksudnya, besaran data maksimum kedua dalam suatu

tahun yang mungkin lebih besar dari besaran kedua dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis. Dengan cara ini, data terbesar kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari data maksimum pada tahun yang lain tidak diperhitungkan.

b. Seri parsial (*Partial Duration Series*).

Metode ini digunakan apabila jumlah data kurang dari 10 tahun data runtut waktu, yaitu dengan menentukan lebih dahulu batas bawah tertentu dari curah hujan. Selanjutnya data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan data yang akan dianalisis. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat, semua besaran data yang cukup besar diambil, kemudian diurutkan dari besar ke kecil. Dengan demikian dalam satu tahun bisa terdapat lebih dari satu data yang digunakan dalam analisis.

2. Analisis Distribusi Frekuensi.

Analisis distribusi frekuensi dilakukan dari seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan. Analisis distribusi frekuensi didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian masa lalu.

Pada tahapan analisis frekuensi, setelah penentuan seri data yang akan digunakan dalam analisis lalu dilakukan pengukuran dispersi yang diperlukan untuk menganalisis secara statistik agar dapat diperoleh pola sebaran yang sesuai dengan sebaran curah hujan rata-rata yang ada. Tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya.

Menurut Soewarno, 1995 dalam Suripin, 2004 cara pengukuran dispersi adalah sebagai berikut :

a. Standar Deviasi / *Standard Deviation* ( $S_x$ );

Standar deviasi ini merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Standar Deviasi ini merupakan nilai statistik yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu ke rata-rata nilai sampel. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai  $S_x$  akan besar. Akan tetapi, apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai  $S_x$  akan kecil.

b. Koefisien Variasi / *Coefficient of Variation* ( $C_v$ );

Koefisien Variasi merupakan suatu ukuran variasi yang dapat digunakan dalam membandingkan suatu distribusi data yang mempunyai satuan yang berbeda (perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi).

c. Koefisien Kemencengan / *Coefficient of Skewness* ( $C_s$ );

Koefisien Kemencengan adalah sebuah distribusi yang tidak simetris yang akan memiliki rata-rata, median, dan modus yang tidak sama besarnya sehingga distribusi akan terkonsentrasi pada salah satu sisi dan kurvanya menceng.

d. Koefisien Keruncingan / *Coefficient Of Kurtosis* ( $C_k$ ).

Koefisien Keruncingan merupakan ukuran kelancipan dari suatu distribusi, dimana distribusi normal dijadikan sebagai pembanding. Koefisien Keruncingan biasanya digunakan untuk menentukan keruncingan kurva dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Kepuncakan (*peakedness*) distribusi biasanya dibandingkan dengan distribusi normal yang

mempunyai :  $C_k=3$  dinamakan *mesokurtik*,  $C_k<3$  berpuncak tajam dinamakan *leptokurtik*, dan  $C_k>3$  berpuncak datar dinamakan *platikurtik*.

Menurut Soewarno, 1995 dalam Suripin, 2004 ada 4 (empat) jenis distribusi frekuensi yang sering digunakan dalam hidrologi yaitu :

a. Distribusi Normal;

Distribusi normal disebut juga Distribusi Gauss. Distribusi normal merupakan suatu perhitungan statistik yang sangat penting untuk menaksir dan meramalkan peristiwa-peristiwa yang lebih luas. Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, dan debit rata-rata tahunan.

b. Distribusi Log Normal;

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan cara merubah nilai varian  $x$  menjadi nilai logaritmik varian  $x$  di dalamnya.

c. Distribusi E.J. Gumbel;

Distribusi E.J. Gumbel banyak digunakan untuk analisis data maksimum, *Gumbel* beranggapan bahwa distribusi variabel-variabel hidrologi tidak terbatas sehingga harus digunakan distribusi dari harga-harga yang terbesar (harga maksimal).

d. Distribusi Log Person Tipe III.

Bentuk distribusi *Log-Pearson* Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi *Pearson* Tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritma. Distribusi *Log-Pearson* Tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi terutama dalam analisis data maksimum dan minimum dengan nilai ekstrim.



Menurut Bambang, Triatmodjo, 2015 untuk menentukan dugaan (hipotesa) distribusi (sebaran) data sesuai parameter statistik adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.3**  
**Analisis Distribusi Frekuensi**

Jenis Distribusi Frekuensi	Syarat
Distribusi Normal	Cs $\approx$ 0 Ck $\approx$ 3
Distribusi Log Normal	Cs $\approx$ 3CV + CV <sup>3</sup> Ck = CV <sup>8</sup> + 6CV <sup>6</sup> + 15CV <sup>4</sup> + 16CV <sup>2</sup> + 3
Distribusi <i>Gumbel</i>	Cs = 1,14 Ck = 5,4
Distribusi Log <i>Pearson</i> tipe III	Selain di atas

Sumber: Bambang, Triatmodjo (2016)

Setelah diketahui proses pengukuran dispersi dan macam-macam distribusi frekuensi yang sering digunakan dalam hidrologi, maka untuk penentuan metode yang digunakan dilakukan dengan cara pengukuran dispersi curah hujan pada suatu daerah. Dalam penentuan nilai dispersi pada intensitas curah hujan dilakukan dengan perhitungan statistik dan logaritma sebagai berikut :

a. Perhitungan Statistik

Perhitungan ini digunakan untuk analisa distribusi Normal dan E.J. Gumbel. Persamaan perhitungannya sebagai berikut :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{x}} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$C_s = \frac{n \cdot (X_i - X_{rt})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_x^3} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$C_k = \frac{n^2 \cdot (X_i - X_{rt})^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S_x^4} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

$S_x$  : *Standard Deviation*

$C_v$  : *Coefficient of Variation*

$C_s$  : *Coefficient of Skewness*

$C_k$  : *Coefficient Of Kurtosis*

$X_i$  : Besarnya curah hujan maksimum (mm)

$\bar{x} / X_{rt}$  : Rata-rata curah hujan maksimum (mm)

$n$  : Jumlah data

b. Perhitungan Logaritma

Sementara perhitungan ini digunakan untuk analisa distribusi Log Normal dan Log Pearson III.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.6)$$

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{x}} \quad (3.7)$$

$$C_s = \frac{n \cdot (\text{Log } X_i - X_{rt})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_x^3} \quad (3.8)$$

$$C_k = \frac{n^2 \cdot (\text{Log } X_i - X_{rt})^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S_x^4} \quad (3.9)$$

Keterangan :

$S_x$  : Standar Deviasi

$C_v$  : Koefisien Variasi

$C_s$  : *Coefficient of Skewness*

$C_k$  : *Coefficient Of Kurtosis*

$\text{Log } X_i$  : Besarnya logaritma curah hujan maksimum (mm)

$\bar{x} / X_{rt}$  : Rata-rata curah hujan maksimum (mm)

$n$  : Jumlah data

Kemudian hasil dari pengukuran nilai dispersi yang didapat dibandingkan dengan nilai dispersi persyaratan pada tiap distribusi (Tabel 3.3) sehingga didapat jenis distribusi yang mendekati persyaratan dan dapat digunakan pada pengolahan statistik kedepannya.

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap curah hujan yang turun pada wilayah tersebut. Analisis intensitas curah hujan harian dapat ditentukan dan di proses berdasarkan data curah hujan yang telah terjadi pada tahun-tahun sebelumnya. Perhitungan besarnya intensitas curah hujan harian dapat dipergunakan beberapa persamaan empiris dalam hidrologi. Sedangkan analisis curah hujan jam-jaman metode perhitungan yang digunakan adalah Persamaan Mononobe. Persamaan tersebut dipakai apabila data curah hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian.

Setelah melakukan perhitungan dispersi dan didapat jenis distribusi frekuensi yang paling sesuai, tahap selanjutnya adalah pengujian kecocokan sebaran dengan cara analisis statistik dengan Rumus Extreme Value E.J Gumbel.

Adapun langkah-langkah analisis dari formula tersebut adalah berikut :

- a. Tentukan rata-rata  $\bar{X}$  nilai data, dengan rumus :

$$\bar{X} = \frac{\sum CH}{n} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan :  $\bar{X}$  = Rata-rata nilai data

$\sum CH$  = Jumlah nilai data

n = Jumlah data

- b. Tentukan standar deviasi (S), dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan : S = Standard deviasi  
 Xi = Data ke-l  
 $\bar{X}$  = Rata-rata intensitas curah hujan  
 n = Jumlah data

c. Tentukan koreksi varians ( $Y_t$ ), dengan rumus :

$$Y_t = -\ln \left[ -\ln \left[ \frac{T-1}{T} \right] \right] \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :  $Y_t$  = Koreksi varians  
 T = Periode ulang hujan

d. Tentukan koreksi rata-rata ( $Y_n$ ), dengan rumus :

$$Y_n = -\ln \left[ -\ln \left[ \frac{n+1-m}{n+1} \right] \right] \dots\dots\dots(3.13)$$

Keterangan :  $Y_n$  = Koreksi rata-rata  
 n = Jumlah urut data  
 m = Nomor urut data

Kemudian tentukan :

$$Y_N = \frac{\sum Y_n}{n} \dots\dots\dots(3.14)$$

Keterangan :  $Y_N$  = Rata-rata  $Y_n$

$\sum Y_n$  = Jumlah nilai  $Y_n$

n = Jumlah data

e. Tentukan koreksi simpangan ( $S_n$ ), dengan rumus :

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum Y_n - Y_N}{n-1}} \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :  $S_n$  = Koreksi simpangan

- $Y_n$  = Nilai  $Y_n$  ke- $i$   
 $\bar{Y}_n$  = Rata-rata nilai  $Y_n$   
 $n$  = Jumlah data

f. Tentukan curah hujan rencana (CHR), dengan rumus :

$$CHR = \bar{X} + S \left( \frac{Y_t - \bar{Y}_n}{S_n} \right) \dots\dots\dots(3.16)$$

Keterangan :

CHR = Curah hujan rencana E.J. Gumbel

$\bar{X}$  = Rata-rata intensitas curah hujan

S = Standard deviasi

$S_n$  = Koreksi Simpangan

$Y_t$  = Koreksi varians

$\bar{Y}_n$  = Rata-rata nilai  $Y_n$

g. Menentukan Periode Ulang Hujan

Periode ulang hujan merupakan waktu terulangnya suatu tingkat curah hujan tertentu, misalnya untuk curah hujan lima tahunan, akan terjadi satu kali tingkat curah hujan tersebut dalam lima tahun, yaitu terjadi lima kali dalam 25 (dua puluh lima) tahun atau 10 (sepuluh) kali dalam waktu 50 (lima puluh) tahun. Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijakan dan risiko yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan. Selain itu, penetapan periode hujan bisa ditetapkan dengan melihat keterjadian banjir besar yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Dengan menggunakan Distribusi Gumbel curah hujan rencana untuk periode ulang tertentu dapat ditentukan. Periode ulang hujan merupakan suatu kurun waktu di mana curah hujan rencana tersebut diperkirakan akan kembali berlangsung.

**Tabel 3.4**  
**Periode Ulang Hujan Rencana**

Keterangan	Periode Ulang Hujan (Tahun)
Daerah Terbuka	0,5
Sarana Tambang	2-5
Lereng-lereng Tambang dan Penimbunan	5-10
Sumuran Utama	10-25
Penyaliran Keliling Tambang	25
Pemindahan Aliran Sungai	100

Sumber : Sayoga, R, 1993

Setelah periode ulang hujan ditetapkan maka dapat ditentukan nilai ekstrim dari curah hujan yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan dalam rangka mendesain sistem penyaliran.

- h. Kemudian dari hasil analisis menggunakan Rumus Gumbel tersebut, data hasil tersebut lalu di distribusikan dengan menggunakan Rumus Mononobe.

Untuk analisis curah hujan rencana jam-jaman, nilai curah hujan ini dipengaruhi oleh waktu konsentrasi yang akan berpengaruh terhadap tingkat sirkulasi debit air limpasan dan kecepatan pengaliran saluran yang ada pada kurun waktu hujan tertentu. Analisis intensitas curah hujan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^{2/3}}{t} \dots\dots\dots(3.17)$$

Keterangan :

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

t : Lamanya curah hujan / durasi curah hujan (jam)

R<sub>24</sub> : Curah hujan rencana suatu periode ulang (mm/hari)

### 3.6 Penyelidikan Hidrogeologi

Hidrogeologi didefinisikan sebagai bagian dari hidrologi yang mempelajari penyebaran dan pergerakan airtanah di dalam tanah dan batuan di kerak bumi (umumnya dalam akuifer). Penyelidikan hidrogeologi dilakukan dengan mempelajari lapisan geologi batuan dan melakukan uji kelulusan air dengan metoda *Falling Head Test*. Lapisan yang diuji adalah lapisan yang diperkirakan bersifat permeabel yang dianggap sebagai sumber air yang berpotensi merembes masuk ke dalam bukaan tambang.

Dalam praktiknya aliran airtanah diperlukan untuk mengetahui banyaknya rembesan yang mengalir ke dalam *pit*, perubahan volume tanah akibat aliran airtanah, dan lain sebagainya. Air yang tertampung pada suatu massa batuan atau material tertentu memiliki debit. Untuk itu untuk menghitung aliran air yang melalui tanah berlaku Hukum Darcy sebagai berikut :

$$Q = k \times I \times A \dots\dots\dots(3.18)$$

Keterangan :

Q : Debit air limpasan (m<sup>3</sup>/detik)

k : Koefisien permeabilitas (m/detik)

I : Gradien hidrolis

A : Luas lapisan tangkapan hujan (m<sup>2</sup>)

Jadi faktor-faktor yang berpengaruh dalam debit airtanah terdiri dari tiga faktor yaitu koefisien permeabilitas (k), gradien hidrolis (I), dan luas lapisan tangkapan hujan (A) seperti berikut :

### 3.6.1 Koefisien Permeabilitas (k)

Permeabilitas tanah pada dasarnya akan menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur serta unsur organik lainnya ikut berperan dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi dan dengan demikian, menurunkan laju aliran air. Koefisien

permeabilitas tanah tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Secara garis besar, semakin kecil ukuran partikel, semakin kecil pula ukuran pori dan semakin rendah koefisien permeabilitasnya.

Hukum Darcy menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya. Ada 2 asumsi utama yang digunakan dalam penetapan Hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar, sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh.

Dari data yang didapat dari pengukuran *Falling head Test*, perhitungan untuk menentukan nilai koefisien *permeabilitas* (K) dapat menggunakan persamaan dari Hoek and Bray (1981), yaitu sebagai berikut :

$$K = \frac{A}{F (t_2 - t_1)} \times \ln \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots(3.19)$$

Keterangan :

K : Koefisien Permeabilitas (m/detik)

A : Luas Penampang dari kolom Air (m<sup>2</sup>)

F : *Shape Factor* yang disesuaikan dengan kondisi *Bottom* dari lubang

t<sub>1</sub>,t<sub>2</sub> : Pengukuran peubah waktu penurunan level Air (detik)

H<sub>1</sub>,H<sub>2</sub> : Level Air di dalam Pipa

$$F = \frac{2 \pi L}{\ln \frac{2L}{D}} \dots\dots\dots\text{Untuk } L > 4 D \dots\dots\dots(3.20)$$

Keterangan:

L : Kedalaman Lubang (cm)

D : Diameter Lubang (cm)



### 3.6.2 Gradien Hidrolik (I)

Gradien hidrolik pada dasarnya menggambarkan efektifitas kekuatan pada pemindahan air seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$I = \Delta H / L \dots\dots\dots(3.21)$$

Keterangan :

- I : Gradien hidrolik  
 $\Delta H$  : Beda tinggi muka Airtanah antara 2 sumur uji (m)  
 L : Panjang lintasan yang dilalui air dari sumur uji 1 dan 2 (m)

### 3.6.3 Luas Penampang Basah (A)

Airtanah sendiri merupakan suatu batasan yang digunakan untuk menggambarkan keadaan semua air yang ditemukan di bawah permukaan tanah. Lapisan akuifer adalah formasi geologi yang mengandung air dan secara signifikan mampu mengalirkan air melalui kondisi alaminya. Dalam keterdapatannya di alam suatu lapisan memiliki tebal tertentu di mana ketebalan itu menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi dalam menentukan debit airtanah. Tebal dari lapisan dikalikan panjang lubang bukaan sehingga didapatkan luas lapisan yang menjadi parameter inti dalam menentukan debit airtanah. Luas lapisan yang ditentukan tersebut dapat bersifat *permeable* atau *impermeable* yang dianggap dapat menjadi sumber air yang berpotensi meresap ke dalam tambang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung luas lapisan tangkapan hujan sebagai berikut :

$$A = P \times T \dots\dots\dots(3.22)$$

Keterangan :

- A : Luas lapisan tangkapan hujan (m<sup>2</sup>)  
 P : Panjang lapisan tangkapan hujan (m)  
 T : Tebal lapisan tangkapan hujan (m)

### 3.7 Sistem Penanggulangan Air Tambang

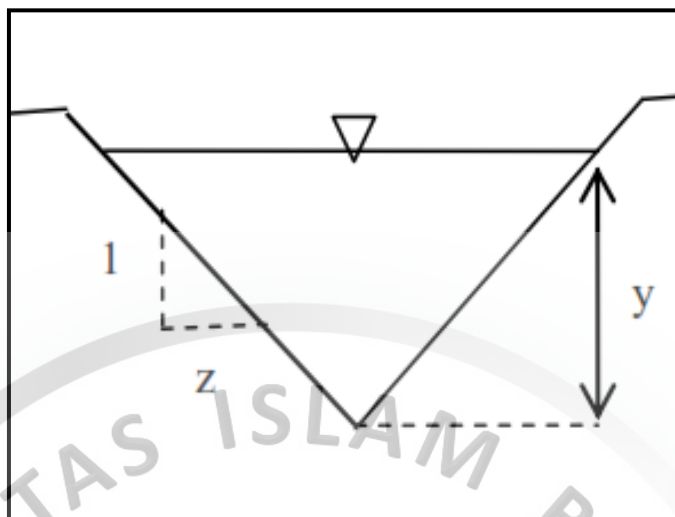
Dengan mengetahui perkiraan debit air, koefisien permeabilitas batuan yang akan ditambang, dan perkiraan debit airtanah yang potensial masuk ke dalam bukaan tambang, maka sasaran akhir dari studi hidrologi dan hidrogeologi ini adalah membuat rekomendasi sistem pengendalian air tambang.

#### 3.7.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka atau saluran pengalihan pada tambang digunakan untuk menampung limpasan permukaan pada suatu daerah dan mengalirkannya ke tempat penampungan air seperti *sump*, *settling pond*, dan lain-lain. Dalam merancang bentuk saluran pengalihan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain, dapat mengalirkan debit air yang direncanakan dan mudah dalam penggalian saluran serta tidak lepas dari penyesuaian dengan bentuk topografi dan jenis tanah. Adapun macam-macam bentuk penampang saluran terbuka dibagi menjadi 3 macam (Chow, 1961), yaitu :

1. Bentuk penampang segitiga;

Bentuk ini biasanya dipergunakan untuk saluran dangkal. Saluran bentuk ini tidak mudah digerus oleh air. Kelemahannya adalah membutuhkan waktu yang cukup lama dalam pembuatannya. Adapun bentuknya seperti pada Gambar 3.4 berikut :



Sumber : Chow. V. T (1961)

**Gambar 3.4**  
**Penampang Segitiga**

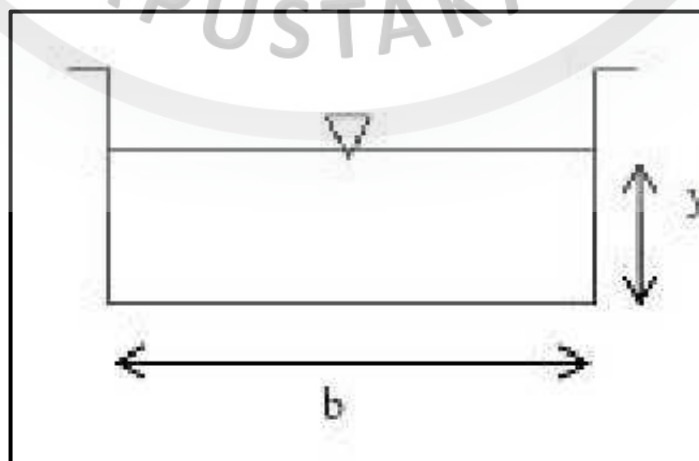
Keterangan :

Y = Kedalaman aliran

Z = Lebar yang terbentuk dari sudut kemiringan

2. Bentuk penampang persegi panjang;

Bentuk saluran ini digunakan untuk debit air yang besar kelebihannya yaitu mudah dalam pembuatannya dan biasanya dibangun pada bahan yang stabil misalnya kayu, batu dan lain-lain. Kelemahannya adalah mudah terjadi pengikisan sehingga terjadi pengendapan pada dasar saluran. Adapun bentuknya seperti pada Gambar 3.5 berikut :



Sumber : Chow. V. T (1961)

**Gambar 3.5**

### Penampang Persegi Panjang

Keterangan :

Y = Kedalaman aliran

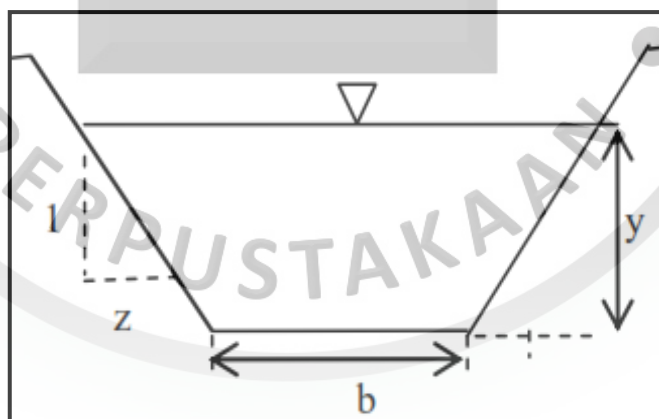
b = Lebar dasar

3. Bentuk penampang trapesium.

Merupakan salah satu bentuk saluran yang sering digunakan pada perusahaan tambang yaitu bentuk saluran trapesium. Keuntungan dari bentuk penampang trapesium :

- a. Dapat mengalirkan debit air yang besar;
- b. Tahan terhadap erosi dan mudah dalam pembuatan;
- c. Tidak terjadi pengendapan didasar saluran.

Bentuk ini sering digunakan pada daerah tambang karena tahan terhadap pengikisan dan mudah dalam pembuatannya serta cocok untuk debit air yang besar. Adapun bentuk dari penampang trapesium ini seperti pada Gambar 3.6 berikut :



Sumber : Chow. V. T (1961)

**Gambar 3.6**  
**Penampang Trapesium**

Keterangan :

Y = Kedalaman aliran

b = Lebar dasar

z = Lebar yang terbentuk dari sudut kemiringan

Selanjutnya untuk menghitung besarnya kapasitas daya tampung saluran, dapat dilakukan dengan cara perhitungan unsur-unsur geometris saluran yang persamaannya dapat dilihat pada Tabel 3.5 (Chow,1959) berikut :

**Tabel 3.5**  
**Unsur-unsur Geometris Penampang Saluran**

Penampang Melintang	Area (A)	Keliling Penampang Basah (P)	Radius (R)	Lebar Atas (T)	Kedalaman (D)
Persegi Panjang	Bh	B+2h	$\frac{bh}{b+2h}$	b	h
Trapesium	(b+zh)h	$b+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zh)h}{b+2h\sqrt{1+z^2}}$	B+2y	$\frac{(b+zh)h}{b+2z}$
Segitiga	Zh <sup>2</sup>	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zh	$\frac{1}{2h}$

Sumber : Chow. V. T. (1959).

Debit (Q) di sini dipengaruhi oleh nilai kemiringan saluran (S) di mana nilai tersebut akan dipengaruhi oleh kecepatan aliran air (v) yang melewati saluran. Di lapangan sendiri bila kemiringan dasar saluran tersebut landai maka kecepatan aliran akan lambat yang dapat menimbulkan banyak endapan di dasar saluran. Sedangkan bila kemiringan dasar saluran tersebut terlalu miring maka kecepatan aliran akan menjadi cepat yang dapat menimbulkan pengerosian pada dinding saluran. Dengan demikian, maka harus ditentukan terlebih dahulu nilai kecepatan aliran mana yang sesuai dengan debit pada saluran.

Oleh karena itu untuk penentuan dimensi saluran pada saluran pengalihan dapat dihitung dengan Persamaan Manning. Secara teoritis, dimensi saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = V \cdot y^2 \sqrt{3} \dots\dots\dots(3.23)$$

Keterangan :

- Q : Debit (m<sup>3</sup>/detik)
- V : Kecepatan Aliran (m/detik)
- y : Kedalaman Aliran (m)

Dalam pembuatan saluran pengalihan nilai debit rencana pembuangan ( $Q_r$ ) dan debit yang bisa ditampung saluran ( $Q_s$ ) harus bernilai sama. Maka dari itu untuk mendapatkan dimensi saluran pengalihan yang sesuai harus dilakukan beberapa kali percobaan (*trial and error*) terhadap nilai kecepatan aliran ( $v$ ), sehingga tidak bisa dilakukan sekali perhitungan untuk menghitung dimensi saluran pengalihan karena harus dilakukan simulasi perhitungan (*trial and error*) terhadap kecepatan agar nilai debit rencana pembuangan ( $Q_r$ ) dan debit yang bisa ditampung saluran ( $Q_s$ ) sama sehingga didapat dimensi saluran pengalihan yang tepat.

Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan dimensi saluran pengalihan disesuaikan dengan parameter yang telah dibuat oleh Chow, V, T, (1959) dalam bukunya *Handbook of Applied Hydrology*. Berikut pada Tabel 3.6 adalah nilai kecepatan aliran pada berbagai jenis material, dan pada Tabel 3.7 adalah nilai kemiringan dinding saluran menurut jenis bahannya.

**Tabel 3.6**  
**Koefisien Material dan Kecepatan Izin Aliran**

No	Material	Nilai N	Kecepatan Aliran (m/det)	
			Air Jernih	Air Keruh
1	Pasir halus koloida	0,020	0,457	0,672
2	Lanau kepasiran non koloida	0,020	0,534	0,762
3	Lanau non koloida	0,020	0,610	0,914
4	Lanau alluvial non koloida	0,020	0,610	1,067
5	Lanau kaku	0,020	0,672	1,067
6	Debu vulkanis	0,020	0,672	1,067
7	Lempung kompak	0,025	1,143	1,524
8	Lanau alluvial, koloida	0,025	1,143	1,524
9	Kerikil halus	0,025	0,672	1,524
10	Pasir kasar non koloida	0,030	1,143	1,524
11	Pasir kasar koloida	0,025	1,129	1,829
12	Batuan D 20 mm	0,028	1,340	1,9
13	Batuan D 50 mm	0,028	1,980	2,4
14	Batuan D 100 mm	0,030	2,810	3,4
15	Batuan D 200 mm	0,030	3,960	4,5

16	Tanah berumput	0,030	-	2
17	Tembok diplester	0,010	-	5

Sumber : Chow,(1959).

**Tabel 3.7**  
**Kemiringan Dinding Saluran yang Sesuai untuk Berbagai Bahan**

Bahan	Kemiringan Dinding Saluran
Batu / cadas	Hampir tegak lurus
Tanah gambut ( <i>peat</i> )	¼ : 1
Tanah berlapis beton	½ : 1
Tanah bagi saluran yang lebar	1 : 1
Tanah bagi parit kecil	1,5 : 1
Tanah berpasir lepas	2 : 1
Lempung berpori	3 : 1

Sumber : Chow, (1959).

Setelah parameter-parameter tersebut diketahui, selanjutnya lakukan perhitungan waktu konsentrasi (TC). Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan hujan untuk mengalir dari titik terjauh ke tempat penyaliran. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus dari “*California Division of Highways*”.

$$T_c = 0,87 \times \frac{[L^3]^{0,385}}{H} \dots\dots\dots(3.24)$$

Keterangan :

$T_c$  = Waktu konsentrasi (jam)

$L$  = panjang saluran dari sumber ke pelepasan DAS (km)

$H$  = Total penurunan dari sumber ke pelepasan (m)

Setelah nilai waktu konsentrasi didapatkan, kemudian tentukan nilai jari-jari hidrolis (R). Jari-jari hidrolis adalah bagian dari pipa maupun penampang aliran lain yang terkena air. Jadi misalnya pipa hanya terisi setengah, maka radius hidrolisnya hanya setengah dari jari-jarinya. Kalau pipa teraliri penuh, maka jari-jari hidrolisnya sama dengan jari-jarinya.

Selanjutnya dalam penentuan dimensi saluran pengalihan maka perlu direncanakan kemiringan saluran dari saluran pengalihan. Adapun persamaan menghitung kemiringan saluran adalah :

$$S = \left( \frac{\text{Elevasi Tertinggi (m)} - \text{Elevasi Terendah (m)}}{\text{Jarak datar (m)}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3.25)$$

Setelah itu hitung nilai Kekasaran Manning (n) pada saluran pengalihan, adapun untuk menghitung nilai n yang sesuai dengan kondisi saluran nantinya, kemudian jumlahkan semua hasil parameter yang ada seperti berikut :

$$n = n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \dots \dots \dots (3.26)$$

Untuk besaran nilai parameter Kekasaran Manning menurut Manning & Delp (1991) terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam penentuan dimensi saluran pengalihan khususnya dalam penentuan nilai kekasaran yang direncanakan pada saluran pengalihan yang akan direncanakan. Besaran nilai parameter Kekasaran Manning dapat dilihat pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8**  
**Parameter Kekasaran Manning**

Keadaan Saluran		Harga	
Material dasar	Tanah	n0	0,020
	Batu		0,025
	Gravel halus		0,024
	Gravel kasar		0,028
Tingkat ketidakseragaman saluran	Halus	n1	0,000
	Agak halus		0,005
	Sedang		0,010
	Kasar		0,020
Variasi penampang melintang saluran	Lambat laun	n2	0,000
	Berubah (kadang-kadang)		0,005
	Sering berubah		0,010 - 0,015
Pengaruh adanya bangunan, pemyempitan, dll pada penampang melintang	Diabaikan	n3	0,000
	Agak berpengaruh		0,010 - 0,030
	Cukup berpengaruh		0,020 - 0,015
	Terlalu berpengaruh		0,040 - 0,060
Tanaman	Rendah	n4	0,000 - 0,010
	Menengah / sedang		0,010 - 0,025
	Tinggi		0,025 - 0,050
	Sangat tinggi		0,050 - 0,100
Tingkat dari pada liku-liku saluran ( <i>meander</i> )	Rendah	n5	0,000
	Menengah		1,150
	Tinggi		1,300

Sumber : Manning & Delp. 1991



Setelah tahapan-tahapan tersebut dilakukan, selanjutnya tentukan kecepatan optimum aliran dalam saluran pengalihan. Kecepatan optimum aliran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$v = (1/n) \times (R^{2/3}) \times S^{1/2} \dots\dots\dots(3.27)$$

Keterangan :

v : Kecepatan optimum aliran air (m/detik)

S : *Slope* atau kemiringan permukaan aliran air

R : Jari-jari hidrolis merupakan perbandingan antara luas penampang basah (A) dan parimeter basah (p)

n : Tetapan kekasaran Manning

Kemudian hitung nilai kedalaman basah (Y) pada saluran dengan menggunakan persamaan :

$$Y = 1 / v \dots\dots\dots(3.28)$$

Untuk menghitung nilai kedalaman aliran (y) maka dapat menggunakan persamaan :

$$y = (Y \cdot v)^{3/2} \dots\dots\dots(3.29)$$

Setelah semua data tersebut di dapat, maka selanjutnya untuk dapat mengitung dimensi dari saluran yang akan dibuat. Adapun untuk menghitung nilai-nilai tersebut dengan menggunakan persamaan Chow, Ven, Te (1959), sebagai berikut :

$$\text{Kemiringan dinding saluran (z)} = \cot\alpha \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\alpha = \text{Arc Tan (z')}$$

(Lihat Tabel 3.7)

$$\text{Lebar dasar saluran (b)} = 2 [(1+z^2)^{1/2}-z]. y \dots\dots\dots (3.31)$$

$$\text{Luas penampang saluran (A)} = b \cdot y + z \cdot y^2 \dots\dots\dots (3.32)$$

$$\text{Jari - jari hidrolis (R)} = 0,5 \cdot y \dots\dots\dots (3.33)$$

$$\text{Lebar permukaan saluran (B)} = b + 2 \cdot z \cdot y \dots\dots\dots (3.34)$$

$$\text{Keliling Basah (P)} = b + 2 \cdot y \sqrt{1 + z^2} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\text{Tinggi jagaan (f)} = \sqrt{0,5 \cdot y} \dots\dots\dots(3.36)$$

### 3.7.2 Perencanaan Sistem Pemompaan

Dalam penentuan titik optimal pompa digunakan dua jenis kurva yaitu kurva resistan dari sistem dan kurva karakteristik pompa. Kurva resistan sistem adalah nilai *head* dari sistem untuk sejumlah variasi debit pemompaan. Sedangkan kurva karakteristik pompa menyatakan kemampuan pompa untuk mengatasi *head* untuk berbagai nilai debit pemompaan atau sebaliknya.

Setelah kedua kurva tersedia, maka langkah selanjutnya kedua kurva digabungkan sehingga diperoleh titik perpotongan yang merupakan titik optimal kerja pompa. Untuk perencanaan pemompaan seperti mengetahui jumlah pompa yang dibutuhkan, dapat dilakukan dengan cara menghitung *total dynamic head* pada pompa. *Total dynamic head* atau *total head* pompa adalah kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air dari satu tempat ke tempat lainnya. Untuk menghitung nilai *total dynamic head* pompa terdiri atas penjumlahan beberapa parameter *head* yang lain yaitu :

1. *Static Head* (HC);

*Static head* adalah tekanan yang disebabkan oleh berkurangnya energi akibat perbedaan tinggi antara tempat pengisapan pompa dengan tempat pembuangan. *Static head* terdiri dari *static head* sisi masuk / statis hisap (*suction head*) dan sisi ke luar / *head* statis hisap (*discharge head*).

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$HC = H_2 - H_1 \dots\dots\dots(3.37)$$

Keterangan :

$H_2$  : Elevasi air keluar

$H_1$  : Elevasi air masuk

2. *Velocity Head* (HV);

*Velocity head* adalah tekanan yang disebabkan oleh berkurangnya energi akibat oleh kecepatan air yang melalui pompa.

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$HV = v^2 / 2g \dots\dots\dots(3.38)$$

Keterangan :

$v$  : Kecepatan air yang melalui pipa (m/detik)

$g$  : Gaya gravitasi bumi (m/detik)

Di mana ( $v$ ) diperoleh dari persamaan :

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3.39)$$

Keterangan :

$Q$  : Debit kemampuan pompa (m<sup>3</sup>/detik)

$A$  : Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

Di mana diperoleh dari persamaan :

$$A = \frac{1}{4} \pi r^2 \dots\dots\dots(3.40)$$

Keterangan :

$\pi$  : Konstanta (3,14)

$r$  : Jari-jari lingkaran (m)

3. *Friction Head* (HF);

*Friction head* adalah nilai yang disebabkan oleh berkurangnya energi akibat gesekan air yang melalui pipa dengan dinding pipa yang dihitung berdasarkan Persamaan *Darcy-Weisbach*. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$HF = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2 \times g} \dots\dots\dots(3.41)$$

Keterangan :

f : Faktor kekasaran pipa, menggunakan diagram Moody

D : Diameter dalam pipa (m)

v : Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

L : Panjang pipa (m)

Selain itu untuk nilai diameter dalam pipa dapat dilihat pada Tabel 3.9 seperti berikut :

**Tabel 3.9**  
**Diameter Dalam Pipa**

Diameter Pipa (Inci)	Diameter Dalam Pipa (Inci)	Jenis Pipa
6	6,0	Cast Iron
	5,965	Standar Wt. Steel
	5,761	Extra Strong Steel
	4,897	Double Extra Strong Steel
8	8,0	Cast Iron
	7,981	Standar Wt. Steel
	7,625	Extra Strong Steel
	6,875	Double Extra Strong Steel
12	12,0	Cast Iron
	11,95	Standar Wt. Steel
	11,75	Extra Strong Steel
	11,25	Double Extra Strong Steel

Sumber : Binder Raymond C, 1973

Selanjutnya untuk menghitung nilai f (faktor kekasaran pipa) langkah pertama adalah tentukan *density liquid* yang mengalir di dalam air. Adapun nilai viskositas air dan densitas air, terdapat dalam Tabel 3.10, Tabel 3.11 seperti berikut :

**Tabel 3.10**  
**Nilai Viskositas Air**

Temp	Absolute Viscosity	Kinematic Viscosity
------	--------------------	---------------------

°C	Kg/m.s	Centistokes	SSU	ft <sup>2</sup> /sec
0	1,79	1,79	33,0	0,00001931
15,56	1,12	1,12	31,2	0,00001217
21,11	0,98	0,98	30,9	0,00001059
26,67	0,86	0,86	30,6	0,00000930
29,44	0,81	0,81	30,4	0,00000869
37,78	0,68	0,69	30,2	0,00000739
48,89	0,56	0,57	30,0	0,00000609
60	0,47	0,48	29,7	0,00000514
71,11	0,40	0,41	29,6	0,00000442
82,22	0,35	0,36	29,5	0,00000385
100	0,28	0,29	29,3	0,00000319

Sumber : Merle C. Potter dan David C. Wiggert ,2008

Tabel 3.11  
Densitas Air

Temperature - t - (°C)	Density - ρ - (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Weight - γ - (kN/m <sup>3</sup> )
0	999,8	9,806
4	1000	9,807
10	999,7	9,804
20	998,2	9,789
30	995,7	9,765
40	992,2	9,731
50	988,1	9,690
60	983,2	9,642
70	977,8	9,589
80	971,8	9,530
90	965,3	9,467

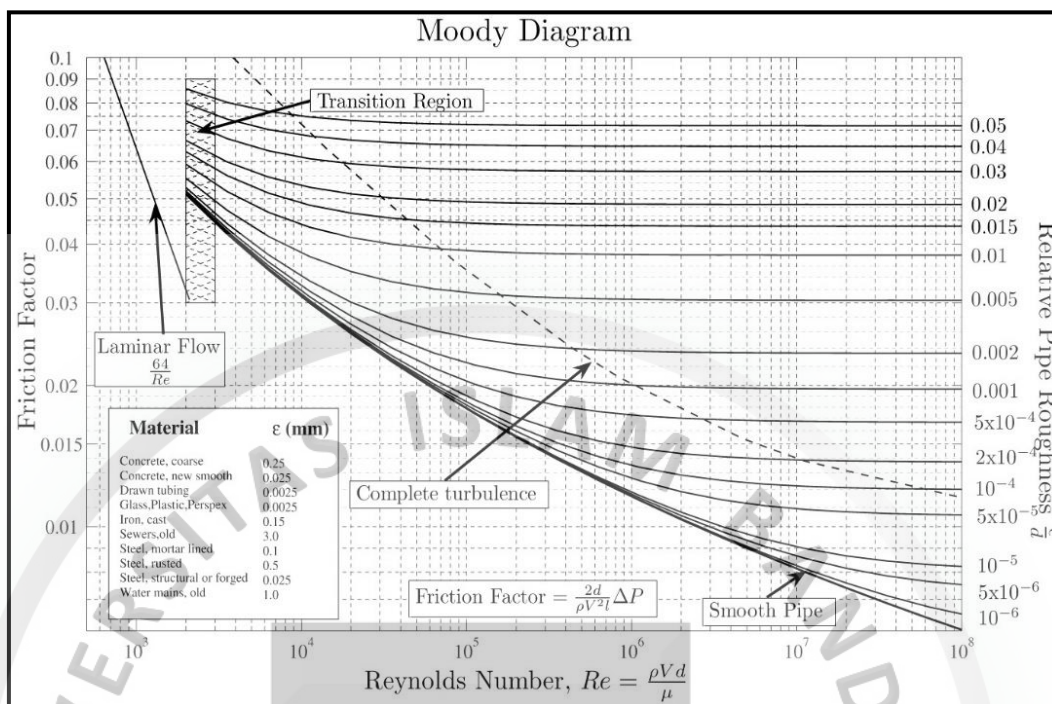
Sumber : Merle C. Potter dan David C. Wiggert ,2008

Untuk pipa halus ( $e = 0$ ) seperti glass, tembaga dan plastik dengan aliran turbulen, menggunakan persamaan Blasius untuk  $f$ , yaitu :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \dots\dots\dots(3.42)$$

Catatan : ( $4,000 < Re < 100,000$ )

Sementara untuk pipa yang kasar dengan aliran turbulen maka menghitung  $f$  dengan menggunakan Diagram Moody seperti pada Gambar 3.7 berikut :



Sumber : Moody L.F, 1944

**Gambar 3.7**  
**Grafik Diagram Moody**

Untuk menggunakan Diagram Moody di atas dibutuhkan Bilangan Reynolds dan nilai kekasaran relatif pipa (*relative pipe roughness*). Untuk menghitung Bilangan Reynolds diperoleh dari persamaan berikut :

$$Re = \frac{v D \rho}{\mu / 1.000} \dots\dots\dots(3.43)$$

Keterangan :

- Re : Bilangan Reynold
- v : Kecepatan aliran (m/detik)
- D : Diameter pipa (m)
- $\rho$  : Massa jenis Zat Cair ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu$  : Viskositas ( $\text{Ns/m}^2$ )

Sedangkan untuk menghitung nilai *relative pipe roughness* dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{\epsilon}{D} \dots\dots\dots(3.44)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  : Nilai *relative pipe roughness* (Micron)

D : Diameter pipa (mm)

Untuk nilai *relative pipe roughness* dapat dilihat pada Tabel 3.12 sebagai berikut :

Tabel 3.12  
Kekasaran Pipa Absolut Berdasarkan Bahan

Pipe Material	Absolute Roughness, $e$	
	$\times 10^{-6}$ feet	Micron (unless noted)
Drawn Brass	5	1,5
Drawn Copper	5	1,5
HDPE	70	0,0213
Commercial Steel	150	45
Wrought Iron	150	45
Asphalted Cast Iron	400	120
Galvanized Iron	500	150
Cast Iron	850	260
Wood Stave	600 to 3000	0,2 to 0,9 mm
Concrete	1000 to 10.000	0,3 to 3 mm

Sumber : Binder Raymond C, 1973

Selanjutnya Bilangan Reynold dan nilai *relative pipe roughness* yang telah didapatkan di plot ke dalam Diagram Moody (Gambar 3.7) untuk mendapatkan nilai *friction factor*.

4. *Shock Loss Head* (HI);

*Shock loss head* adalah tekanan yang disebabkan oleh hilangnya energi pada jaringan pipa akibat adanya perubahan mendadak dari geometri pipa seperti belokan, katup dan sambungan. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$HI = \frac{K \times v^2}{2 \times g} \dots\dots\dots(3.45)$$

Dan HI Total = HI x Jumlah sambungan

Keterangan :

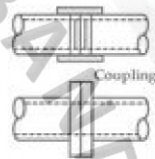
K : Koefisien kekasaran pipa yang tergantung pada jari-jari belokan, diameter pipa dan sudut yang dibentuk antara pipa dan bidang datar (Tabel 3.12).

n : Jumlah belokan

v : Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

**Tabel 3.13**  
**Minor Loss Coefficient (K)**

Fitting	Minor Loss Coefficient	Gambar
Flange Couping	$k = 0,08 \times 9 \times D^{0,69}$ (diameter 10 hingga 101 mm) $k = 0,08$ (diameter 76 hingga 565 mm)	

Sumber: William Janna, 2013

5. Total Dynamic Head (HT);

Selanjutnya untuk menghitung *total dynamic head* pompa atau *total head* pompa (HT) adalah sebagai berikut :

$$HT = HC + HV + HF + HI \dots\dots\dots(3.46)$$

Keterangan :

HC : Static Head (m)

HV : Head Velocity Head (m)

HF : Friction Head (m)

HI : Shock Loss Head (m)

6. Debit Pemompaan.

Untuk menghitung nilai debit pemompaan dapat menggunakan persamaan *Head Kuantitas* :

$$Q2 = Q1 \times \sqrt{\frac{H2}{H1}} \dots\dots\dots(3.47)$$

Keterangan :



$Q_1$  : Debit pompa dari pabrik ( $m^3/det$ )

$Q_2$  : Debit pompa setelah dikoreksi ( $m^3/det$ )

$H_1$  : *Head* dari pabrik belum dikoreksi (m)

$H_2$  : *Head* total perhitungan (m)

### 3.8 Sumuran (*Sump*)

Sumuran berfungsi sebagai penampung air sebelum dipompa ke luar tambang. Dengan demikian, dimensi sumuran ini sangat tergantung dari jumlah air yang masuk serta keluar dari sumuran (Rudy, 1993).

Dimensi sumuran tambang tergantung pada kuantitas volume air limpasan, kapasitas pompa dan waktu pemompaan (volume pemompaan), kondisi lapangan seperti kondisi penggalian terutama pada lantai tambang (*floor*) dan lapisan batubara serta jenis tanah atau batuan di bukaan tambang. Volume sumuran ditentukan dengan menggabungkan grafik intensitas hujan versus waktu, dan grafik volume pemompaan versus waktu serta volume limpasan versus waktu. Penentuan dimensi sumuran ditentukan dengan melihat volume sisa terbesar. Tahapan selanjutnya setelah penentuan ukuran sumuran adalah menentukan lokasi sumuran di bukaan tambang. Pada prinsipnya sumuran diletakkan pada lantai tambang (*floor*) yang paling rendah, jauh dari aktivitas penggalian endapan batubara, jenjang di sekitarnya tidak mudah longsor, dekat dengan kolam pengendapan dan mudah untuk dibersihkan.

Ada dua jenis tata letak sistem penyaliran tambang yaitu :

1. Sistem Penirisan Terpusat;

Pada sistem ini *sump* akan ditempatkan pada setiap jenjang atau bench. Sistem pengaliran dilakukan dari jenjang paling atas menuju jenjang-jenjang yang

berada di bawahnya, sehingga akhirnya air akan terpusat padamain *sump* untuk kemudian dipompakan keluar tambang.

## 2. Sistem Penirisan tidak terpusat.

Sistem ini diterapkan untuk daerah tambang yang relatif dangkal dengan keadaan geografis daerah luar tambang yang memungkinkan untuk mengalirkan air secara langsung dari *sump* ke luar tambang. Berdasarkan penempatannya, *sump* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu (Suyono, 1983):

### a. *Travelling Sump*;

*Sump* ini dibuat pada daerah *front* tambang. Tujuan dibuatnya *sump* ini adalah untuk menanggulangi air permukaan. Jangka waktu penggunaan *sump* ini relatif singkat dan selalu ditempatkan sesuai dengan kemajuan tambang.

### b. *Sump* Jenjang;

*Sump* ini dibuat secara terencana baik dalam pemilihan lokasi maupun volumenya. Penempatan *sump* ini adalah pada jenjang tambang dan biasanya di bagian lereng tepi tambang. *Sump* ini disebut sebagai *sump* permanen karena dibuat untuk jangka waktu yang cukup lama dan biasanya dibuat dari bahan kedap air dengan tujuan untuk mencegah meresapnya air yang dapat menyebabkan longsornya jenjang.

### c. *Main Sump*.

*Sump* ini dibuat sebagai tempat penampungan air terakhir. Pada umumnya *sump* ini dibuat pada elevasi terendah dari dasar tambang.

## 3.9 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan akibat adanya erosi, dan memberi banyak dampak di sungai, saluran, waduk, bendungan atau pintu-pintu air dan di sepanjang sungai

(Soemarto, 1999). Sedimentasi terjadi melalui proses pengendapan material yang di transpor oleh media air, sedimen yang terdapat di mulut-mulut sungai adalah hasil dan proses pengendapan material-material yang diangkut oleh air sungai.

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat ketika kecepatan air melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi, yaitu proses yang bertanggung jawab atas terbentuknya daratan-daratan alluvial yang luas. Dampak lain dari sedimentasi di sungai adalah terjadinya pengendapan sedimen di dasar sungai yang menyebabkan naiknya dasar sungai, kemudian menyebabkan tingginya muka air sehingga berakibat seringnya terjadi banjir yang menimpa lahan-lahan yang tidak dilindungi.

Metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan suatu pengembangan dari metode USLE. Metode MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai penyebab terjadinya erosi melainkan menggunakan faktor limpasan permukaan. Faktor limpasan permukaan mewakili energi yang digunakan untuk penghancuran dan pengangkutan sedimen.

Pada MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) deposisi sedimen dapat diperkirakan karena model MUSLE mengganti faktor energi hujan (*rainfall energy*) menjadi faktor aliran permukaan (*run off energy*). Prediksi hasil sedimen meningkat karena aliran permukaan adalah fungsi dari *antecedent moisture condition* (AMC) sama halnya dengan energi hujan. Dengan memasukan faktor *run off* sebagai sebagai faktor independen dalam pemodelan erosi MUSLE dapat meningkatkan akurasi prediksi erosi tanah atas USLE dan RUSLE. Sehingga secara umum persamaan MUSLE dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = 11,8 \times (Q \times Vq) 0,56 \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(3.48)$$

Keterangan :

Y= Hasil Sedimen (ton),

Q = Total Volume Aliran Permukaan (m<sup>3</sup>),

V<sub>q</sub> = Debit Limpasan Permukaan (m<sup>3</sup> /s),

K = Faktor Erodibilitas Tanah,

LS= Faktor Panjang Dan Kemiringan Lereng

C = Penutupan Tanah Oleh Tanaman

P = Faktor Pendukung Tindakan Konservasi

### 3.10 Perencanaan Dimensi *Settling Pond*

*Settling pond* berfungsi sebagai tempat penampung air tambang sekaligus untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang ikut bersama air dari lokasi penambangan. Dengan adanya *settling pond*, diharapkan air yang keluar dari daerah penambangan sudah bersih dari partikel padatan sehingga tidak menimbulkan kekeruhan pada sungai atau laut sebagai tempat pembuangan akhir. Selain itu juga tidak menimbulkan pendangkalan sungai akibat dari partikel padatan yang terbawa bersama air.

Bentuk *settling pond* biasanya hanya digambarkan secara sederhana, yaitu berupa kolam berbentuk empat persegi panjang, tetapi sebenarnya dapat bermacam-macam bentuk disesuaikan dengan keperluan dan keadaan lapangannya. Walaupun bentuknya dapat bermacam-macam, namun pada setiap *settling pond* akan selalu ada 4 zona penting yang terbentuk karena proses pengendapan material padatan. Keempat zona tersebut adalah :

1. Zona Masukan (*Inlet*);

Merupakan tempat masuknya air lumpur kedalam *settling pond* dengan anggapan campuran padatan-cairan yang masuk terdistribusi secara seragam.

2. Zona Pengendapan (*Sediment*) ;

Merupakan tempat partikel akan mengendap. Material padatan di sini akan mengalami proses pengendapan di sepanjang saluran masing-masing.

3. Zona Endapan Lumpur;

Merupakan tempat partikel padatan dalam cairan (lumpur) mengalami sedimentasi dan terkumpul di bagian bawah kolam.

4. Zona Keluaran (*Outlet*) .

Merupakan tempat keluaran buangan cairan yang jernih. Panjang zona ini kira-kira sama dengan kedalaman kolam pengendapan, diukur dari ujung kolam pengendapan.

Dalam menentukan luas kolam pengendapan dapat dihitung berdasarkan hal-hal sebagai berikut :

1. Kekentalan air;
2. Partikel dalam lumpur adalah material yang sejenis;
3. Diameter partikel padatan yang keluar dari kolam pengendapan tidak boleh lebih dari  $9 \times 10^{-6}$  m, karena akan menyebabkan pendangkalan dan kekeruhan sungai;
4. Kecepatan pengendapan material;
5. Perbandingan cairan padatan diketahui.

Dalam perencanaan dimensi kolam pengendapan terdapat beberapa parameter yang harus dipertimbangkan antara lain berat dan volume padatan, kecepatan pengendapan, jenis material, dan lain-lain seperti berikut (Hartono, 2013):

1. Berat dan Volume Padatan;

Berat dan volume padatan yang masuk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$m_s = \% \text{Padatan} \times Q_{\text{total}} \times \rho_s \dots\dots\dots(3.49)$$

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} \dots\dots\dots(3.50)$$

Keterangan :

$m_s$  : Berat padatan (Kg/jam)

$Q_{\text{total}}$  : Debit air yang masuk kolam pengendapan ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$V_s$  : Volume padatan ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$\rho_s$  : Densitas padatan ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

2. Kecepatan Pengendapan;

Kecepatan pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Stokes dan Hukum Newton. Hukum Stokes berlaku bila padatannya kurang dari 40%, sedangkan bila persen padatan lebih dari 40% berlaku hukum Newton. Adapun persamaan kecepatan pengendapan ( $v_t$ ) menurut Hukum Stokes adalah :

$$v_t = \frac{g}{18\mu} (\rho_s - \rho) D^2 \dots\dots\dots(3.51)$$

Keterangan :

$v_t$  : Kecepatan pengendapan ( $\text{m}/\text{jam}$ )

$g$  : Percepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$\mu$  : Viskositas absolut air ( $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )

$\rho_s$  : Densitas padatan ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$\rho$  : Densitas air ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$D$  : Diameter partikel (m)

Sedangkan persamaan kecepatan pengendapan ( $v_t$ ) menurut Hukum Newton adalah :

$$v_t = \left\{ \frac{4xgx D x (\rho_p - \rho_a)}{3xF_f} \right\}^{0,5} \dots\dots\dots(3.52)$$

Keterangan :

$v_t$  : Kecepatan pengendapan (m/jam)

$g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\mu$  : Viskositas absolut air (Kg/m.s)

$\rho_s$  : Densitas padatan ( $Kg/m^3$ )

$\rho$  : Densitas air ( $Kg/m^3$ )

$f_g$  : Nilai koefisien tahanan (m)

3. Luas Kolam Pengendapan;

Luas kolam pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

sebagai berikut :

$$A = \frac{Q_{total}}{v_t} \dots\dots\dots(3.53)$$

Keterangan :

$A$  : Luas kolam pengendap ( $m^2$ )

$Q_{total}$  : Debit air yang masuk kolam pengendapan ( $m^3/jam$ )

$v_t$  : Kecepatan pengendapan (m/jam)

Setelah didapat luas kolam pengendap tersebut maka nantinya dapat dihitung berapa panjang dan lebar yang diinginkan. Untuk kedalaman kolam pengendap sendiri bisa ditentukan sesuai keinginan atau mengikuti kemampuan garuk dari alat berat yang digunakan. *Settling pond* / kolam pengendap nantinya dapat penuh dan tidak bisa menampung air lagi apabila terlalu banyak material endapan yang menumpuk di dasar kolam. Untuk itu diperlukan perhitungan waktu penuh dari kolam pengendap agar nantinya dapat ditentukan waktu pengerukan dari kolam pengendap. Sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu persentase pengendapan *solid* yang terendapkan pada kolam pengendap, dengan persamaan sebagai berikut :

#### 4. Persentase Pengendapan *Solid*.

Perhitungan persentase pengendapan ini bertujuan untuk mengetahui apakah kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan tambang. Untuk menghitung persentase pengendapan *solid* di dasar kolam sebelumnya dilakukan dahulu perhitungan waktu pengendapan partikel ( $t_v$ ) dan waktu yang diperlukan oleh material keluar dari kolam ( $t_h$ ). Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung waktu pengendapan partikel sebagai berikut :

$$t_v = \frac{h}{v_t} \dots\dots\dots(3.54)$$

Keterangan :

$t_v$  : Waktu pengendapan partikel (jam)

$h$  : Kedalaman kolam pengendap (m)

$v_t$  : Kecepatan pengendapan (m/jam)

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan oleh material keluar dari kolam sebagai berikut :

$$t_h = \frac{p}{v_h} \dots\dots\dots(3.55)$$

Keterangan :

$t_h$  : Waktu yang diperlukan oleh material keluar dari kolam (jam)

$p$  : Panjang kolam pengendapan (m)

$v_h$  : Kecepatan air (m/jam)

Untuk menghitung kecepatan air di dalam kolam pengendap dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$v_h = \frac{Q_{total}}{b \times h} \dots\dots\dots(3.56)$$

Keterangan :

$v_h$  : Kecepatan mendatar partikel(m/jam)



$Q_{\text{total}}$  : Debit total air yang masuk ke dalam kolam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$b$  : Lebar kolam pengendapan (m)

$h$  : Tinggi kolam pengendap (m)

Setelah diketahui nilai waktu pengendapan partikel dan waktu yang diperlukan oleh material keluar dari kolam maka nilai persentase pengendapan *solid* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ Pengendapan} = \frac{t_h}{t_h + t_v} \times 100\% \dots \dots \dots (3.57)$$

Keterangan :

$t_v$  : Waktu pengendapan partikel (jam)

$t_h$  : Waktu yang diperlukan oleh material keluar dari kolam (jam)

#### 5. Volume *Solid* yang Terendapkan

Volume *solid* yang terendapkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{st} = V_s \times \% \text{ Pengendapan} \dots \dots \dots (3.58)$$

Keterangan :

$V_{st}$  : Volume padatan terendapkan ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$V_s$  : Volume padatan ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

#### 6. Waktu Penuh Kolam Pengendap

Untuk menghitung waktu penuh kolam pengendap dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_p = \frac{V_k}{V_{st}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.59)$$

Keterangan :

$W_p$  : Waktu penuh kolam pengendap (jam)

$V_k$  : Volume kolam ( $\text{m}^3$ )

$V_{st}$  : Volume padatan terendapkan ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

Dengan diketahuinya waktu penuh dari kolam pengendap maka nantinya dapat ditentukan waktu pembuangan lumpur dalam kolam pengendap.

