

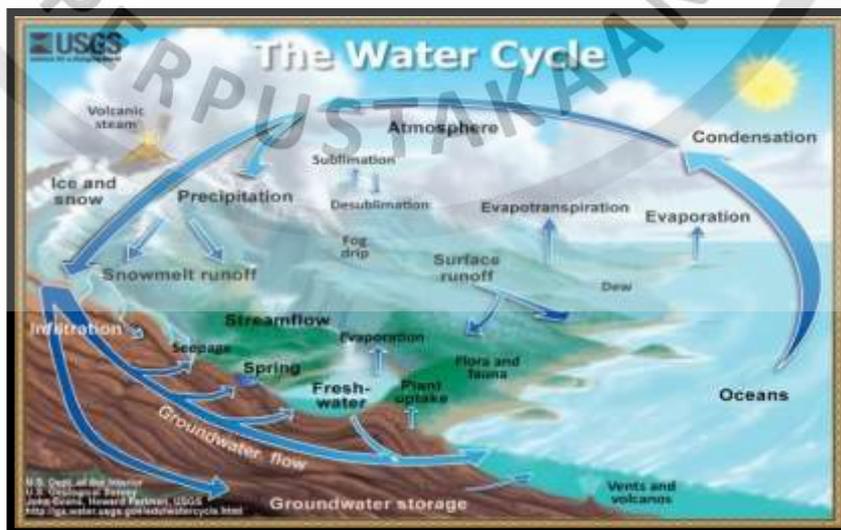
## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Siklus Hidrologi (*Hydrological Cycle*)

Metode tambang terbuka, sangat dipengaruhi oleh iklim yang diantaranya hujan, panas (*temperature*), dan tekanan udara. Curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan naiknya volume air dan terakumulasi pada dasar tambang sehingga kegiatan penambangan menjadi terganggu dan produksi menjadi tidak optimal karena area kerja tegenang air. Air yang masuk ke dalam tambang dapat berasal dari air tanah maupun air limpasan. Air yang berada di permukaan bumi maupun di dalam bumi mengalami suatu proses yang membentuk siklus.

Menurut (*Hendrayanto, 2009*) siklus hidrologi (*hydrological cycle*) merupakan rangkaian proses perubahan fase dan pergerakan air dalam suatu sistem hidrologi. (*Seyhan, 1990* <sup>[17]</sup>) berpendapat siklus hidrologi merupakan tahapan yang dilalui air dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer.



Sumber : John Evans, Hodward Perlman, USGS Dept. of the Interior

**Gambar 3. 1**  
**Skema Siklus Hidrologi**

“Joyce Martha, dalam bukunya - *Mengenal Dasar Dasar Hidrologi*”, daur hidrologi merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan oleh air dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer. Tahapan tersebut adalah :

1. Penguapan air dari permukaan bumi, baik yang berasal dari laut, air sungai, air tanah maupun air dari jaringan tumbuhan.
2. Kondensasi uap air pada lapisan troposfer yang terbentuk dari awan.
3. Perpindahan awan mengikuti arah angin.
4. Presipitasi dalam bentuk air (hujan) atau padat (salju dan kristal es) yang mengembalikan air dari atmosfer ke permukaan bumi.
5. Mengalirnya air mengikuti arah gravitasi (dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah) baik dalam bentuk aliran permukaan maupun air bawah tanah.
6. Terjadinya penguapan air baik yang berasal dari laut, air sungai dan air tanah menuju udara/atmosfer.

Proses infiltrasi terjadi disebabkan karena air hujan yang jatuh ke permukaan tanah kemudian mengisi sebagian atau seluruhnya pori-pori didalam tanah. Pergerakan air ke dalam tanah disebabkan oleh gaya gravitasi. Pergerakan air di dalam tanah dibatasi oleh adanya pori – pori. Air yang merupakan bagian dari tanah dan menempati pori – pori tanah disebut *ground water*. Curah hujan yang mencapai permukaan tanah dan bergerak sebagai air limpasan atau *run off*. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi air tanah sebagai berikut :

- a. Faktor tanah faktor-faktor yang berkaitan dengan keadaan atau sifat fisik tanah yang meliputi ukuran butir, derajat penggumpalan dan struktur tanah.
- b. Vegetasi (tumbuh-tumbuhan) Tumbuh-tumbuhan berpengaruh terhadap keadaan tanah. Keberadaan tumbuh-tumbuhan menyebabkan permukaan tanah semakin berpori. Hal ini memudahkan air meresap ke dalam tanah.

Faktor-faktor lain yang juga memengaruhi infiltrasi adalah kemiringan tanah dan suhu air.

Daur hidrologi secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut, (*Viessman dan Lewis, 1996* <sup>[20]</sup>):

$$P - R - G - ET = \Delta S$$

Keterangan :

P = Presipitasi (*precipitation*)

R = Aliran permukaan (*surface runoff*)

G = Aliran air tanah (*groundwater flow*)

ET = Evapotranspirasi (*evaporation*)

$\Delta S$  = Cadangan air (*storage*)

## 2.2 Penyaliran Tambang

Untuk menangani masalah air tersebut, dilakukan perencanaan penyaliran tambang yang dititik beratkan pada suatu tindakan untuk mencegah, mengurangi dan mengeluarkan air yang masuk ke dalam front kerja. (*Suwadhi, 2004* <sup>[18]</sup>) mengemukakan :

“Sasaran penyaliran adalah membuat lokasi kerja di areal penambangan selalu kering karena apabila tidak terkontrol akan menimbulkan masalah antara lain : (1) lokasi kerja (2) jalan tambang becek dan licin (3) stabilitasi lereng tambang rawan longsor (4) peralatan tambang cepat rusak (5) efisiensi kerja menurun (6) mengancam keselamatan dan kesehatan kerja”.

Sistem penyaliran yang akan diuraikan merupakan metode atau teknik penanggulangan air yang dilakukan pada tambang terbuka. Sistem yang digunakan dapat bersifat pencegahan atau pengendalian air yang masuk ke lokasi

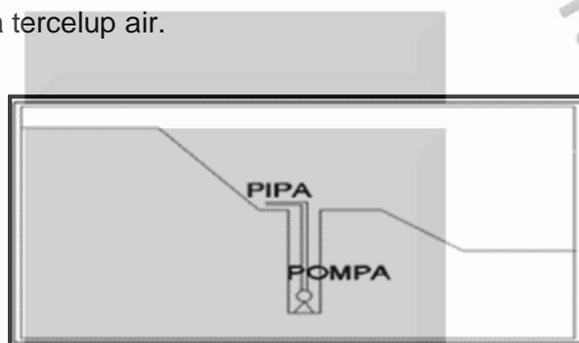
penambangan. Metode atau teknik penanggulangan air dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

### 3.2.1 *Main Drainage*

*Main drainage* merupakan upaya untuk mencegah masuknya air ke daerah penambangan.

#### a. Metode Pemompaan Dalam (*Deep Well Pump*)

Metode ini diperuntukan pada jenis tanah yang memiliki permeabilitas yang rendah dan terletak pada elevasi yang tinggi. Pompa dimasukan ke dalam lubang bor dengan ke dalaman 50 meter hingga 60 meter di mana pompa akan bekerja secara otomatis bila tercelup air.



Sumber : *Kajian Teknis Penyaliran Tambang*, Hendra Pratama (2013)

**Gambar 3. 2**  
**Metode Pemompaan Dalam**

### 3.2.2 *Mine Dewatering System*

*Mine Dewatering System* adalah upaya mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan. Sistem ini dilakukan pada air yang telah masuk ke daerah tambang seperti air yang berasal dari air hujan. Terdapat beberapa metode *Mine Dewatering System* yaitu :

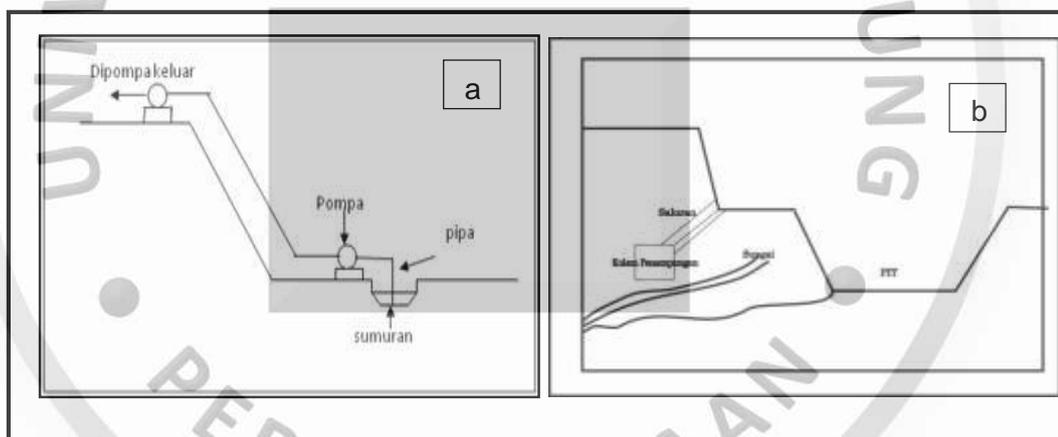
#### a. Metode Kolam Terbuka (*Main Kolam penampungan*)

Sistem ini diterapkan untuk membuang air tambang dari lokasi kerja. Air tambang dikumpulkan pada sumuran (*kolam penampungan*), kemudian dipompa

keluar. Pemasangan jumlah pompa tergantung pada ke dalaman penggalian dengan kapasitas pompa menyesuaikan debit air yang masuk ke dalam lokasi penambangan.

#### b. Metode Peralihan

Pembuatan parit sangat ideal diterapkan pada tambang terbuka *open cast* atau kuari. Parit dibuat berawal dari sumber mata air atau air limpasan menuju kolam penampungan, langsung ke sungai atau diarahkan ke selokan (*riool*). Jumlah parit ini disesuaikan dengan kebutuhan sehingga bisa lebih dari satu. Apabila parit harus dibuat melalui lalu lintas tambang maka dapat dipasang gorong-gorong yang terbuat dari beton atau galvanis. Dimensi parit diukur berdasarkan volume maksimum pada saat musim penghujan deras dengan memperhitungkan kemiringan lereng. Bentuk standar melintang dari parit umumnya trapesium.



Sumber : *Kajian Teknis Penyaliran Tambang*, Hendra Pratama (2013)

**Gambar 3. 3**

**a) Sistem Kolam Terbuka b) Sistem Peralihan**

### 3.3 Daerah tangkapan air hujan (Catchment Area)

Daerah tangkapan didefinisikan sebagai bagian dari suatu daerah aliran di mana aliran air tanah menjauhi muka air tanah. Biasanya didaerah tangkapan, muka air tanah terletak pada suatu ke dalaman tertentu (*Sri Harto, 1993*). Daerah tangkapan juga dapat diartikan sebagai suatu wilayah daratan yang menjadi satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai di mana aliran air permukaan (*run*

off) akan terkonsentrasi pada suatu titik tertentu. Batas daerah tangkapan hujan ditentukan berdasarkan titik – titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya akan membentuk suatu poligon tertutup, yang mana polanya disesuaikan dengan kondisi topografi, dengan mengikuti arah aliran air.

Adapun cara penentuan luas tangkapan hujan dapat dilakukan dengan menentukan arah aliran air (*water divide*) pada peta topografi, kemudian membatasi arah aliran air yang berlawanan atau bila ditinjau pada kontur merupakan kontur ketinggian yang membentuk puncak gunung atau bukit, lembah antar gunung atau bukit. Setelah itu sambungkan batas-batas dari punggung yang akan membentuk poligon tertutup. Dari daerah tangkapan hujan tersebut maka akan didapatkan luas *Catchment Area*.

### **3.3 Penyelidikan Hidrologi**

Curah hujan adalah besarnya air hujan yang jatuh ke permukaan bumi pada satuan luas. Satuan curah hujan dinyatakan dalam millimeter (mm). Dengan demikian jika diketahui curah hujan 1 mm berarti curah hujan tersebut adalah sama dengan 1 liter/m<sup>2</sup>. Jadi curah hujan merupakan jumlah air hujan yang jatuh pada suatu satuan luas. Pengamatan curah hujan dilakukan menggunakan alat penakar curah hujan.

#### **3.3.1 Debit Air Limpasan**

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 dengan rumus sebagai berikut :

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

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).

### 3.3.2 Koefisien Limpasan

Jenis material pada areal penambangan berpengaruh terhadap kondisi penyerapan air limpasan karena untuk setiap jenis dan kondisi material yang berbeda memiliki koefisien materialnya masing-masing. Koefisien tersebut merupakan parameter yang menggambarkan hubungan curah hujan dan limpasan, yaitu memperkirakan jumlah air hujan yang mengalir menjadi limpasan langsung dipermukaan. Koefisien limpasan dipengaruhi oleh faktor-faktor tutupan tanah, kemiringan dan lamanya hujan.

Koefisien limpasan dapat diartikan juga sebagai suatu bilangan perbandingan antara besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan yang ada pada daerah tertentu. Koefisien limpasan tiap-tiap daerah berbeda-beda tergantung pada faktor-faktor penentuan koefisien limpasan di antaranya :

#### 1. Kerapatan Vegetasi

Daerah dengan tingkat kerapatan vegetasi yang rapat akan memberikan nilai koefisien limpasan (c) yang kecil. Karena air hujan yang turun tidak akan langsung jatuh ke dalam tanah, sehingga daerah gundul mempunyai nilai koefisien limpasan yang tinggi.

#### 2. Tata Guna Lahan

Pada daerah persawahan atau rawa – rawa nilai koefisien limpasan kecil karena air hujan yang turun akan tertahan pada petak – petak sawah sebelum akhirnya menjadi air limpasan permukaan.

#### 3. Kemiringan Tanah

Daerah dengan kemiringan kecil (<3%) akan memberikan nilai c yang kecil, dibandingkan dengan daerah yang memiliki kemiringan sedang sampai curam untuk kemiringan yang sama.

Besarnya nilai koefisien limpasan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini :

**Tabel 3. 1**  
**Nilai Koefisian Limpasan**

Kemiringan	Tutupan/Jenis Lahan	C (Koefisien Limpasan)
< 3% (Landai)	Sawah, Rawa	0,2
	Hutan, perkebunan	0,3
	Perumahan	0,4
3% - 15% (sedang)	Hutan, perkebunan	0,4
	Perumahan	0,5
	Semak-semak agak jarang	0,6
	Lahan terbuka	0,7
> 15% (curam)	Hutan	0,6
	Perumahan	0,7
	Semak-semak agak jarang	0,8
	Lahan Terbuka daerah tambang	0,9

Sumber : Rudy Sayoga, 1993

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

Perhitungan intensitas curah hujan bertujuan untuk mendapatkan curah hujan yang sesuai, yang nantinya dapat dipakai sebagai dasar perencanaan debit limpasan hujan pada daerah penelitian.

Analisis frekuensi merupakan prosedur memperkirakan distribusi frekuensi suatu kejadian pada masa yang lalu atau masa yang akan datang. Prosedur tersebut dapat digunakan untuk menentukan curah hujan rencana dalam berbagai periode ulang berdasarkan perhitungan distribusi frekuensi yang cocok dengan wilayah penelitian (Suroso, 2006).

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

- Distribusi Gumbel
- Distribusi Normal
- Distribusi Log-Pearson III.

Analisis distribusi frekuensi dihitung dari seri data curah hujan yang didapatkan dari setiap pos penakaran hujan lalu di analisis berdasarkan pada sifat statistik dari data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran curah hujan yang akan terjadi di masa yang akan datang dengan anggapan bahwa dari sifat statistik tersebut akan memperoleh perulangan di masa yang akan datang. Ada dua macam seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi, yaitu:

1. Data maksimum tahunan (*maximum annual series*)

Data statistika nilai maksimum dari setiap tahun dengan asumsi bahwa hanya besaran maksimum setiap tahunnya yang akan berpengaruh dalam analisis data.

## 2. Seri parsial (*Partial Duration Series*)

Data statistik curah hujan dibuat pengelompokan dari besar hingga terkecil kemudian ditentukan batas bawah terlebih dahulu kemudian dari nilai data yang melebihi batas bawah akan dijadikan data untuk dianalisis.

## 3. Periode Ulang Hujan (*Repetition period* atau *Return Period*)

Merupakan jangka waktu suatu hujan dengan tinggi intensitas hujan yang sama atau kemungkinan dapat terjadi lagi.

Sebelum melakukan analisis distribusi frekuensi, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan pola sebaran data curah hujan dengan menggunakan pengukuran dispersi. Di mana data yang didapat akan menentukan jenis distribusi yang dapat dipakai dalam menganalisis curah hujan rencana dari variabel-variabel statistik karena tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi sama dengan nilai rata-ratanya. (Menurut Soewarno, 1995), adapun cara pengukuran dispersi yaitu :

### 1. Standar Deviasi ( $S_x$ )

Perhitungan standar deviasi dilakukan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu terhadap nilai rata-rata sampel. Apabila nilai standar deviasi dari kumpulan data sama dengan nol maka hal tersebut menunjukkan bahwa semua nilai-nilai dalam himpunan tersebut adalah sama. Sebuah nilai deviasi yang lebih besar akan memberikan makna bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

Keterangan :

$S_x$  = standar deviasi

$\bar{x}$  = nilai rata-rata variat

$x_i$  = nilai rata-rata variat ke  $i$

$n$  = jumlah data

## 2. Koefisien *Skewness* ( $C_s$ )

Koefisien kemencengan (*skewness*) adalah tingkat ketidaksimetrisan atau kejauhan simetri dari sebuah distribusi. Sebuah distribusi yang tidak simetris akan memiliki rata-rata, median, dan modus yang tidak sama besarnya sehingga distribusi akan terkonsentrasi pada salah satu sisi dan kurvanya akan menceng. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$C_s = \frac{n \sum (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien *skewness*

$S_x$  = standar deviasi

$\bar{x}$  = nilai rata-rata variat

$x_i$  = nilai rata-rata variat ke  $i$

$n$  = jumlah data

## 3. Koefisien Kurtosis ( $C_k$ )

Koefisien keruncingan merupakan derajat atau ukuran tinggi rendahnya puncak suatu distribusi data terhadap distribusi normalnya data. Jika bentuk kurva runcing berarti nilai data terkonsentrasi terhadap nilai rata-rata atau nilai penyebarannya kecil, sebaliknya jika bentuk kurva nya tumpul berarti nilai data tersebar terhadap nilai rata-rata atau nilai penyebaran besar. Apabila  $C_k=3$  dinamakan *mesokurtik*,  $C_k<3$  berpuncak tajam dinamakan *leptokurtik*, dan  $C_k>3$  berpuncak datar dinamakan *platikurtik*. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_x^4} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

$C_k$  = koefisien kurtosis

$S_x$  = standar deviasi

$\bar{x}$  = nilai rata-rata variat

$x_i$  = nilai rata-rata variat ke i

n = jumlah data

#### 4. Koefisien Variansi ( $C_v$ )

Koefisien variansi merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata varian distribusi data. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{x}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

$C_v$  = koefisien variansi

S = standar deviasi

$\bar{x}$  = nilai rata-rata variansi

Dalam analisis hidrologi terdapa beberapa 4 macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan yaitu distribusi Normal, distribusi Log-Normal, distribusi *Gumbel*, distribusi Log-*Pearson* tipe III sesuai dengan syarat statistik yang berlaku (Tabel 3.2).

**Tabel 3. 2**  
**Analisis Distribusi Frekuensi Data**

Jenis Distribusi Frekuensi	Syarat
Distribusi Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Distribusi Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^3$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Distribusi <i>Gumbel</i>	$C_s = 1,139$ $C_k = 5,4002$
Distribusi Log <i>Pearson</i> tipe III	Selain Di atas

Sumber: Soewarno (1995)

### 3.3.2 Analisis Intensitas Curah Hujan Rencan

Analisis curah hujan rencana dilakukan setelah mengetahui sebaran dari data dengan menggunakan analisis distribusi frekuensi, di mana data yang telah dihitung dapat direncanakan berdasarkan tingkat variansi data sehingga dalam penentuan curah hujan rencana akan memiliki tingkat keyakinan yang tinggi.

#### 1. Distribusi Normal

Distribusi normal (*Gauss*) merupakan fungsi densitas peluang normal (*probability density function*) digunakan untuk memprediksi peristiwa dalam cakupan yang luas. Analisis hidrologi distribusi normal digunakan untuk menganalisis curah hujan dengan distribusi data tersebut hampir merata atau tidak ada nilai kemencengan.

$$X_r = \bar{x} + z \cdot S_x \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :

$X_r$  = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{x}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$S_x$  = standar deviasi

$z$  = nilai variabel reduksi *Gauss* (Tabel 3.2)

## 2. Distribusi Log-Normal

Distribusi Log-Normal merupakan modifikasi dari distribusi Normal dengan menaksir varian  $x$  menjadi nilai logaritma variansi  $x$ . Berikut Merupakan rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini :

$$X_r = \bar{x} + K_t \cdot S_x \dots\dots\dots (3.7)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (\log \bar{x} - \log x_i)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

$X_r$  = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang  $T$ ,  
Tahun (mm/hari)

$\bar{x}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$x_i$  = curah hujan maksimum ke  $i$

$K_t$  = standar variabel untuk periode ulang tahun

$S_x$  = standar deviasi

## 3. Distribusi *Gumbel*

Distribusi *Gumbel* merupakan metode yang didasarkan atas distribusi nilai ekstrim dari sebuah data. Distribusi variabel-variabel hidrologi yang tidak terbatas akan membentuk perulangan pada nilai maksimum seperti pada analisis frekuensi banjir tahunan. Persamaan *Gumbel* tersebut adalah sebagai berikut :

$$X_r = \bar{x} + K \cdot S_x \dots\dots\dots (3.9)$$

$$K = \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan :

$X_r$  = hujan harian maksimum (periode ulang tertentu), (mm/hari)

$\bar{x}$  = curah hujan rata-rata maksimum (mm/hari)

$S_x$  = standar deviasi nilai curah hujan

$K$  = faktor probabilitas untuk harga-harga ekstrem Gumbel

$S_n$  = standar deviasi dari reduksi varian, berdasarkan jumlah data ( $n$ )

$Y_t$  = nilai reduksi varian pada periode ulang hujan

$Y_n$  = nilai rata-rata dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data

Nilai *Reduced Mean* dapat diterapkan menggunakan rumus :

$$Y_n = -\ln \left[ -\ln \left( \frac{n+1-m}{n+1} \right) \right] \dots \dots \dots (3.11)$$

Keterangan :

$n$  = jumlah sampel

$m$  = urutan sampel dari yang terbesar ( $m = 1,2,3,\dots$ )

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

Keterangan :

$T$  = periode Ulang (tahun)

Besarnya standar deviasi dari reduksi varian ( $S_n$ ) dihitung dengan rumus :

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum(Y_n - Y_{ni})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan :

$Y_n$  = nilai *reduced mean* rata-rata

$Y_{ni}$  = nilai *reduced mean* tiap tahun

#### 4. Distribusi Log-Pearson tipe III

Distribusi Log-Pearson tipe III merupakan analisis yang sering digunakan dalam analisis curah hujan yang nilai sebaran datanya tidak seragam dan memiliki nilai variansi yang sangat ekstrim. Di bawah ini merupakan rumus Log-Pearson tipe III :

$$\text{Log } x = \frac{\sum \log x}{n} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log } \bar{x} - \text{Log } x_i)^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} \dots\dots\dots (3.15)$$

Keterangan :

$\bar{x}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$x$  = curah hujan variansi (mm/hari)

$n$  = jumlah data

$C_s$  = koefisien *skewness*

$S_x$  = standar deviasi

Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki :

$$\text{Log } X_r = \text{Log } \bar{x} + K.S_x \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan:

$X_r$  = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{x}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$K$  = variabel standar yang diperoleh dengan menggunakan Tabel 3.3

$S_x$  = standar deviasi

### 3.3.3 Penentuan Curah Hujan Rencana

Setelah menghitung Standar deviasi (S), Koreksi rata – rata (YN) dan standar deviasi reduksi varian (Sn). Tentukan curah hujan rencana (CHR), dengan rumus :

$$\text{CHR} = \bar{X} + S \left( \frac{Y_t - \bar{Y}_n}{S_n} \right) \dots\dots\dots (3.17)$$

Di mana : 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  $Y_n$

### 3.3.4 Menentukan Periode Ulang Hujan

Periode ulang hujan merupakan waktu terulangnya suatu tingkat curah hujan tertentu. Contohnya untuk curah hujan lima tahunan, akan terjadi satu kali tingkat hujan tersebut selama lima tahun, dan akan terjadi dua kali pada 10 tahun. 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 berlangsung. Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijakan dan resiko yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan. Menurut *Benyamin Lakitan*, dalam bukunya “*Dasar-Dasar Klimatologi*”, selain itu perlu diperehatikan pula resiko hidrologinya. Acuan untuk menentukan periode ulang hujan (PUH) dapat dilihat pada (Tabel 3.3).

**Tabel 3. 3**  
**Periode Ulang Hujan Rencana**

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

Sumber : Sayoga, R, 1993

### 3.3.5 Risiko Hidrologi

Risiko hidrologi merupakan nilai atau angka kemungkinan akan adanya debit yang sama besar. Seperti contoh jika nilai resiko hidrologi sebesar 0,5 maka kemungkinan hujan dengan debit yang sama atau melampaui adalah sebesar 50%. Resiko Hidrologi dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$P_t = 1 - \left( 1 - \left( \frac{1}{T_t} \right)^{T_L} \right) \dots \dots \dots (3.18)$$

Keterangan :

Pt = Risiko hidrologi

Tt = Periode ulang

TL = Umur tambang

### 3.3.6 Waktu Konsentrasi

Lamanya waktu air hujan untuk mengalir dari titik terjauh hingga terkonsentrasi ke tempat penyaliran disebut waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus dari "Kirpich" atau dapat menggunakan rumus "Kerby" sebagai berikut :

$$t_c = 0,01947 L^{0,77} S^{0,385} \text{Jam} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$T_c = T_0 + T_f \dots \dots \dots (3.20)$$

$$T_0 = 1,44 \left( nd \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,476} \dots \dots \dots (3.21)$$

$$T_f = \frac{L}{V} \dots \dots \dots (3.22)$$

Keterangan :

$T_c$  = Waktu konsentrasi (Jam)

$L$  = Jarak terjauh sampai titik pengaliran (meter)

$S$  = Beda ketinggian dari titik terjauh sampai ke tempat berkumpulnya air (meter)

$V$  = Kecepatan Aliran

Tabel 3. 4  
Harga Koefisien Hambatan

Jenis Permukaan	nd
Permukaan impervious dan licin	0.02
Tanah padat terbuka dan licin	0.10
Permukaan sedikit berumput, tanah dengan tanaman berjajar, tanah terbuka kekasaran sedang	0.20
Padang rumput	0.40
Lahan dengan pohon-pohon musim gugur	0.60
Lahan dengan pohon-pohon berdaun, hutan lebat, lahan berumput tebal	0.80

Sumber : Kerby (2006)

### 3.3.7 Intensitas Curah Hujan

Besar nilai Intensitas hujan yang kemungkinan terjadi dalam kurun waktu tertentu dihitung berdasarkan persamaan Mononobe, yaitu :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(3.23)$$

Keterangan :

$R_{24}$  = Curah hujan rencana per hari (24 jam)

$t_c$  = Waktu konsentrasi, jam

$I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)

Hubungan antara derajat curah hujan dan intensitas curah hujan dapat dilihat dalam tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3. 5**  
**Hubungan derajat curah hujan dan intensitas curah hujan**

Derajat Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm/menit)	Kondisi
Hujan lemah	0,02 – 0,05	Tanah basah semua
Hujan normal	0,05 – 0,25	Bunyi hujan terdengar
Hujan deras	0,25 – 1,00	Air akan tegenang diseluruh permukaan dan terdengar bunyi dari genangan
Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan, saluran pengaliran meluap

Sumber : Sayoga, Rudy, "Pengantar Penyaliran Tambang", 1993

### 3.5 Sedimentasi

Analisa Tingkat Bahaya Erosi (TBE) adalah perkiraan jumlah tanah yang maksimum hilang yang akan terjadi pada suatu lahan. Besarnya tingkat bahaya erosi (TBE) ditentukan dari laju erosi tanah dibagi dengan erosi yang diperbolehkan.

Sedimen merupakan material atau fragmen yang terangkut melalui proses suspensi oleh air maupun oleh angin. Hasil sedimen (sedimen yield) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di *Catchment Area* yang diukur pada periode tertentu dan tempat tertentu.

Sedimen terjadi karena adanya proses erosi yang disebabkan oleh air yang meliputi tiga tahap dalam keadaan normal di lapangan, yaitu tahap pemecahan bongkah-bongkah atau agregat tanah ke dalam bentuk butir-butir kecil, tahap kedua pemindahan atau pengangkutan butir-butir kecil tersebut, dan tahap ketiga adalah pengendapan partikel-partikel tersebut di tempat yang lebih rendah atau dasar sungai atau waduk.

Pada daerah penambangan, pengendapan akhir dari proses erosi akan terjadi pada daerah akhir aliran yang biasanya terletak pada elevasi paling rendah, yaitu pada sumuran sehingga akan terjadi pendangkalan pada tempat tersebut.

Model Erosi *MUSLE* merupakan pengembangan dari persamaan *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang pertama kali diterbitkan dalam *Agricultural Handbook No. 282 (1965)* dan dipublikasikan lagi pada *Agricultural Handbook No.587 (1978)*. Selanjutnya, persamaan pendugaan erosi dikembangkan oleh Williams (1975), yaitu menerapkan faktor erosivitas hujan (*R*) sebagai *rainfall-runoff* basis sebagai persamaan *MUSLE* (Murtiono, 2008). Secara umum rumus dasar model *MUSLE* adalah sebagai berikut:

$$S_y = a (V_q, Q_R)^b \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \dots\dots\dots (3.24)$$

Keterangan:

$S_y$  = Hasil sedimen (ton/hari)

$a, b$  = Konstanta *Williams*, masing-masing 11,8 dan 0,56

$V_q$  = Limpasan permukaan(mm/hari)

$Q_R$  = Debit maksimum ( $m^3/s$ )

$K$  = Faktor erodibilitas tanah

$LS$  = Faktor panjang dan kemiringan lereng

$C$  = Faktor tanaman penutup lahan dan pengelolaan tanaman

$P$  = Faktor tindakan konservasi praktis oleh manusia.

Berikut ini penjelasan faktor-faktor dari rumus *MUSLE* adalah sebagai berikut:

#### 1. Volume aliran

Metode yang digunakan untuk estimasi volume aliran, yaitu *SCS (Soil Conservation Service)*. Persamaan *SCS*, yaitu (*Chow, 1964*<sup>[4]</sup>):

$$s = ((1000/CN) - 10) 25,4 \dots \dots \dots (3.25)$$

$$V_q = (P - 0,2 s)^2 / (P + 0,8 s) \dots \dots \dots (3.26)$$

Keterangan:

$V_q$  = Limpasan permukaan (mm/hari)

$CN$  = *Curve number* (angka kurva limpasan)

$P$  = Curah hujan (mm/hari)

Nilai  $CN$  berkisar antara 0–100. Indeks  $CN$  mencerminkan kombinasi tiga faktor hidrologi, yaitu: jenis (tekstur) tanah, tutupan tanah, dan kelembaban tanah awal.

**Tabel 3. 6**  
**Kelompok Hidrologi Tanah**

Kelompok Tanah	Laju Infiltrasi (mm/jam)	Tekstur Tanah
A	8 – 12	Pasir, Pasir berlempung, lempung
B	4 – 8	Lempung berdebu, lempung
C	1 – 4	Lempung pasir berliat
D	<1	Lempung berliat, lempung berdebu

Sumber: McCuen dan US SCS (1972) dalam Murtiono (2008)

**Tabel 3. 7**  
**Jenis Tutupan Lahan dan Nilai CN**

Tutupan Lahan	Kelas Hidrologi			
	A	B	C	D
Sungai/Tubuh Air/Danau/Waduk/Situ	98	98	98	98
Hutan Primer	25	55	70	77
Hutan Sekunder	30	58	71	78
Hutan Pinus	45	66	77	83
Perkebunan	49	69	79	84
Kebun Campuran	64	75	83	87
Ladang/Tegalan	68	79	85	88
Padang rumput/Ilalang	72	82	88	90
Permukiman	81	88	91	93
Kawasan dan zona industri	89	92	94	95
Sawah	59	70	78	81
Semak Belukar	49	69	78	81
Tanah kosong/terbuka	77	86	91	94
Kawasan Pertambangan/Galian	79	87	92	94

Sumber: McCuen dan US SCS (1972) dalam Murtiono (2008)

2. Debit maksimum

Debit maksimum merupakan debit puncak yang didapat dari rumus rasional.

3. Erodibilitas tanah

Erodibilitas tanah menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan. Meskipun besarnya resistensi tersebut akan tergantung pada topografi, kemiringan lereng, dan besarnya gangguan oleh manusia. Akan tetapi, besarnya erodibilitas tanah juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti : tekstur

tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, serta kandungan organik dan kimia tanah.

**Tabel 3. 8**  
**Faktor Erodibilitas Tanah**

No.	Jenis Tanah	Faktor K
1	Latosol coklat kemerahan dan litosol	0,43
2	Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36
3	Komplek mediteranian dan filosol	0,46
4	Latosol kuning kemerahan	0,56
5	Gramusol	0,20
6	Aluvial	0,47
7	Regosol	0,40

Sumber: Departemen Kehutanan

Menurut (Hardiyatmo, 2006), hasil erodibilitas tanah dalam keadaan ekstrem memiliki nilai 0,7.

#### 4. Panjang dan Kemiringan lereng

Faktor indeks topografi L dan S, masing-masing mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Panjang lereng mengacu pada aliran air permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen.

Tanah yang mempunyai topografi datar memiliki laju aliran permukaan yang kecil apabila dibandingkan dengan tanah yang mempunyai topografi yang curam. Kecepatan aliran permukaan tanah yang memiliki kemiringan besar serta tidak tertutup tanah akan semakin cepat daya kikis serta daya penghanyutan.

Komponen panjang dan kemiringan lereng (L dan S) diintegrasikan menjadi faktor LS dan dihitung dengan formula *Wischmeier dan Smith* (Hardiyatmo, 2006) adalah sebagai berikut :

$$LS = \left(\frac{L}{22}\right)^z (0,006541 S^2 + 0,0456 S + 0,065) \dots \dots \dots (3.27)$$

Keterangan:

LS = Faktor panjang kemiringan (m)

- L = Panjang lereng (m)
- S = Kemiringan lereng (%)
- H = Beda tinggi (m)
- Z = Konstanta
- = 0,5 jika  $S \geq 5\%$
- = 0,4 jika  $5\% > S \geq 3\%$
- = 0,3 jika  $3\% > S \geq 1\%$
- = 0,2 jika  $S < 1\%$

#### 5. Tanaman penutup dan konservasi praktis

Faktor penutupan oleh tanaman (C) merupakan perbandingan antara besarnya erosi dari tanah akibat aliran permukaan dengan pengelolaan tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan tanpa pengelolaan.

**Tabel 3. 9**  
**Nilai Faktor Penutupan Tanah dan Pengelolaan Tanaman**

No.	Macam Penggunaan	Nilai Faktor
1	Tanah terbuka / tanpa tanaman	1
2	Tegalan / Perkebunan	0,7
3	Kebun campuran : Kerapatan tinggi	0,1
	Kerapatan sedang	0,2
	Kerapatan rendah	0,5
4	Perladangan	0,4
5	Hutan alam : serasah banyak	0,001
	serasah kurang	0,005
6	Hutan Produksi : tebang habis	0,5
	tebang pilih	0,2
7	Semak belukar / padang rumput	0,3

Sumber: Asdak(2004)

Faktor P adalah perbandingan antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu, terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi dengan catatan faktor-faktor erosi yang lain diasumsikan tidak berubah.

**Tabel 3. 10**  
**Nilai Faktor Tindakan Konservasi**

No.	Tindakan khusus konservasi tanah	Nilai P
1	Teras bangku	
	-Konstruksi baik	0,04
	-Konstruksi sedang	0,15
	-Konstruksi kurang baik	0,35
	-Teras tradisional kurang baik	0,4
2	Strip tanaman rumput (padang rumput)	0,4
3	Pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur	
	-Kemiringan 0 – 8 %	0,5
	-Kemiringan 9 – 20%	0,75
	-Kemiringan >20%	0,9
4	Tanpa tindakan konservasi	1

Sumber: Asdak(2004)

Dalam menganalisis sedimentasi diperlukan juga kecepatan sedimentasi dalam arah vertikal dan arah horizontal. Sedimen dalam arah vertikal dapat digunakan hukum *Stokes* yang berlaku apabila persen padatan kurang dari 40%, sedangkan jika lebih besar dari 40% berlaku hukum *Newton*. Kecepatan pengendapan padatan tergantung pada diameter partikel dalam cairan yang lolos keluar dari kolam pengendapan sehingga kecepatan pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Stokes* dan *Newton* (Suwandi, 2004), yaitu:

- Hukum *Stokes*

Hukum *Stokes* berlaku bila persen padatan kurang dari 40%.

$$V_t = G \cdot D^2 (SG - 1) / 18 \mu \dots\dots\dots (3.28)$$

Keterangan:

$V_t$  = Kecepatan pengendapan (m/detik)

$G$  = Percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

$D$  = Diameter partikel padatan (m)

$SG$  = Berat jenis partikel padatan

$\mu$  = Viskositas kinematik air (m<sup>2</sup>/detik)

- Hukum *Newton*

Hukum *Newton* berlaku bila persen padatan lebih dari 40% :

$$V_t = \frac{3 (G \cdot D)(\rho_p - \rho_a)}{4 F_g \cdot \mu} \times 0,5 \dots \dots \dots (3.29)$$

Keterangan:

$V_t$  = Kecepatan pengendapan (m/detik)

$G$  = Percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

$D$  = Diameter partikel padatan (m)

$F_g$  = Nilai koefisien tekanan

$\rho_p$  = Berat jenis partikel padatan (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_a$  = Berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

Pergerakan sedimen di kolam penampungan dalam arah horizontal ( $V_h$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$V_h = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (3.30)$$

$$V_h = h \times p \dots \dots \dots (3.31)$$

Keterangan:

$Q$  = debit air (m<sup>3</sup>/jam)

$A$  = luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

$h$  = tinggi aliran (m)

$P$  = panjang aliran (m)

### 3.6 Perencanaan Kolam Penampung (*Sump*)

Kegunaan dari pembuatan kolam penampungan di daerah penambangan adalah untuk menampung limpasan air tambang yang terdapat di lokasi penggalian sebelum air itu dipompakan. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam

perancangan dimensi kolam penampungan, faktor-faktor tersebut antara lain debit air yang akan ditampung kolam penampungan, permeabilitas tanah, waktu pengaliran, lebar kolam penampungan dan faktor lainnya sehingga untuk memudahkan perhitungan maka perancangan kolam penampungan ini menggunakan analisis perbandingan volume air yang dapat ditampung kolam penampungan dan debit aliran air yang masuk ke kolam penampungan.

Pada Sistem kolam terbuka (*open sump*) dapat dipasang sejumlah pompa tergantung dengan ke dalaman penggalian. Apabila kemampuan tinggi isap pompa tidak mampu menghisap mencapai elevasi yang lebih tinggi, maka dapat diterapkan kolam penampungan tunda. Kapasitas pompa harus melebihi atau sama dengan debit air yang masuk ke penambangan tersebut. Dalam beberapa kasus jika kapasitas pompa sama dengan debit air yang masuk ke dalam penambangan tersebut maka pompa diharuskan bekerja tanpa henti. Penggunaan pompa dengan kapasitas yang lebih besar memberikan keuntungan di mana penggunaan pompa bisa secara periodik untuk membuang air dari lokasi kerja penambangan. Volume kolam penampungan yang optimum dapat juga dicari dari selisih antara volume air limpasan dengan volume pemompaan harian. Ada dua jenis tata letak sistem penyaliran tambang yaitu :

a. Sistem Penirisan Terpusat

Pada sistem ini kolam penampungan 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 pada main kolam penampungan untuk kemudian dipompakan keluar tambang.

b. 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 kolam penampungan ke luar tambang. Berdasarkan penempatannya, kolam penampungan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu (Suyono, 2010<sup>[19]</sup>):

- *Travelling Sump*

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

- *Sump Jenjang*

Kolam penampungan ini dibuat secara terencana baik dalam pemilihan lokasi maupun volumenya. Penempatan kolam penampungan ini adalah pada jenjang tambang dan biasanya di bagian lereng tepi tambang. Kolam penampungan ini disebut sebagai kolam penampungan 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.

- *Main Sump*

Kolam penampungan ini dibuat sebagai tempat penampungan air terakhir. Pada umumnya kolam penampungan ini dibuat pada elevasi terendah dari dasar tambang.

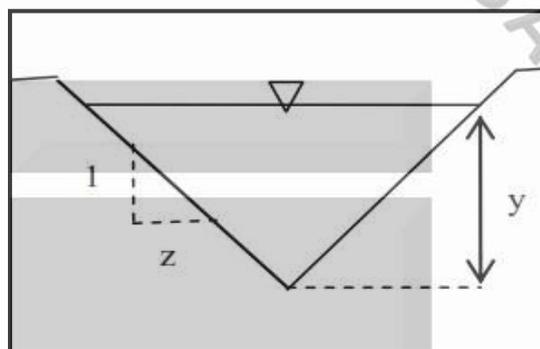
### 3.7 Saluran Terbuka

Saluran terbuka atau saluran pengalihan pada tambang digunakan untuk menampung limpasan permukaan pada suatu daerah dan mengalirkannya ke tempat penampungan air seperti kolam penampungan, *settling pond*, dan lain-lain. Dalam merancang bentuk saluran penyaliran, 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<sup>[3]</sup>), 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.



Sumber : Chow. V. T (1961)

**Gambar 3. 4**  
**Penampang Segitiga**

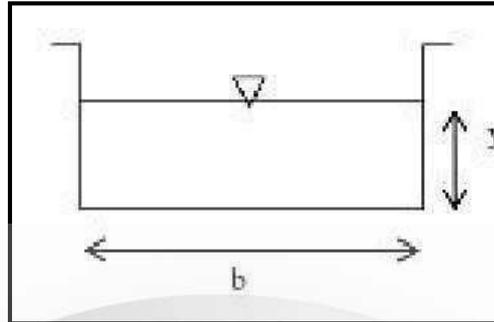
Keterangan :

Y = Ke dalam aliran

Z = Lebar yang terbentuk dari sudut kemiringan

2. Bentuk penampang persegi panjang

Bentuk saluran ini digunakan untuk debit air yang besar lebihannya 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 :

$Y = Ke$  dalam aliran

$b =$  Lebar dasar

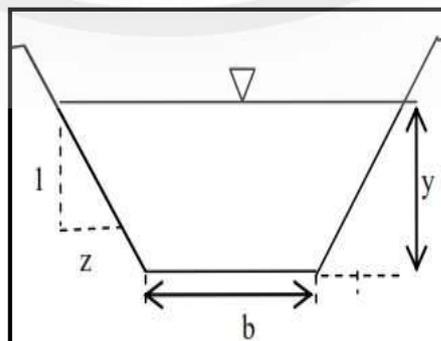
3. Bentuk penampang trapesium,

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

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

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 = Ke dalam 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 3.11 (Chow, 1959<sup>[3]</sup>) berikut :

Tabel 3. 11  
Unsur-unsur Geometris Penampang Saluran

Penampang Melintang	Area (A)	Keliling Penampang Basah (P)	Radius (R)	Lebar Atas (T)	Ke dalam (D)
Persegi Panjang	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b	y
Trapesium	$\frac{(b+zy)h}{2}$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b+2y	$\frac{(b+zy)y}{b+2y}$
Segitiga	$\frac{zy^2}{2}$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zy	$\frac{1}{2y}$

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

Debit (Q) 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<sup>[10]</sup>). Secara teoritis, dimensi saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = V \cdot y^2 \sqrt{3} \dots\dots\dots (3.32)$$

Keterangan :

Q : Debit ( $m^3/detik$ )

V : Kecepatan Aliran ( $m/detik$ )

y : Ke dalam 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, 1959* <sup>[3]</sup>) dalam bukunya *Handbook of Applied Hydrology*. Berikut pada Tabel 3.12 adalah nilai kecepatan aliran pada berbagai jenis material, dan pada Tabel 3.13 adalah nilai kemiringan dinding saluran menurut jenis bahannya.

**Tabel 3. 12**  
**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. 13**  
**Dinding Saluran yang Sesuai untuk Berbagai Bahan Kemiringan**

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).

Tentukan nilai jari-jari hidrolis (R). Jari-jari hidrolis adalah bagian dari pipa maupun penampang aliran lain yang terkena air. 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 :

$$S = \left( \frac{\text{Elevasi Tertinggi (m)} - \text{Elevasi Terendah (m)}}{\text{Jarak datar (m)}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3.33)$$

Setelah itu hitung nilai kekasaran Manning (n) pada saluran pengalihan, adapun untuk menghitung nilai n dengan menjumlahkan semua parameter yang ada seperti berikut :

$$N = n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \dots\dots\dots (3.34)$$

Berikut adalah parameter kekasaran Manning menurut (*Manning & Delp* <sup>[11]</sup>) yang tercantum pada Tabel 3.14.

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

$$v = (1/n) \times (R^{2/3}) \times S^{1/2} \dots \dots \dots (3.35)$$

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 ke dalaman basah (Y) pada saluran dengan menggunakan persamaan :

$$Y = 1 / v \dots \dots \dots (3.36)$$

Untuk menghitung nilai ke dalaman aliran (y) maka dapat menggunakan persamaan.

$$y = (Y \cdot v)^{3/2} \dots \dots \dots (3.37)$$

Setelah semua data tersebut di dapat, maka selanjutnya mengitung dimensi dari saluran yang akan dibuat. Adapun untuk menghitung nilai-nilai tersebut dengan menggunakan persamaan (*Chow, Ven, Te, 1959* <sup>[3]</sup>), sebagai berikut :

$$\text{Kemiringan dinding saluran } (m) = \cot \alpha \dots \dots \dots (3.38)$$

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

$$\text{Luas penampang saluran } (A) = (b + my) y \dots \dots \dots (3.39)$$

$$\text{Jari - jari hidrolis } (R) = 0,5 \cdot y \dots \dots \dots (3.40)$$

$$\text{Lebar permukaan saluran } (b) = 1,24 y \dots \dots \dots (3.41)$$

$$\text{Keliling Basah} \quad (P) = b + 2 \cdot y \sqrt{1 + m^2} \dots \dots \dots (3.42)$$

$$\text{Tinggi jagaan} \quad (W) = \sqrt{0,5 \cdot y} \dots \dots \dots (3.43)$$

**Tabel 3. 14**  
**Parameter Kekasaran Manning**

Keadaan Saluran		Harga	
Material dasar	Tanah	n0	0,020
	Batu		0,025
	Gravel halus		0,024
	Gravel kasar		0,028
Tingkat ketidak seragaman 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, penyempitan, 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

### 3.8 Perencanaan Sistem Pemompaan

Pompa digunakan untuk membantu pemindahan fluida dari tempat rendah ke tempat tinggi, dengan mengkonversi energi mekanik menjadi hidrolik. Tekanan akan mengatasi friksi atau hambatan (*head*) pada fluida yang timbul didalam pipa saluran pada saat proses pengaliran sedang berlangsung. Hambatan tersebut umumnya disebabkan oleh adanya beda elevasi (ketinggian) antara saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*). Fluida yang berpindah secara horizontal maupun secara vertikal akan mendapatkan hambatan berupa gesekan, turbulensi, permukaan isap (*suction*) dan permukaan tekan/buang (*discharge*).

Suatu sistem pemompaan terdiri atas sumber (*kolam penampungan*, sumur, dll), pompa dan instalansi pompa, sistem perpindahan dan resevoir.

Terdapat 3 faktor yang perlu dipertimbangkan dalam sistem pemompaan dalam tambang, di antaranya :

### 3.8.1 Jenis Sistem Pemompaan

Berdasarkan rangkaian pemompaan maka jenis sistem pemompaan terbagi menjadi dua, di antaranya :

#### 1. Rangkaian Seri

Merupakan sistem pemompaan yang dibuat antar pompa saling berhubungan membentuk pola seri sehingga nilai *head* yang dikerjakan pompa semakin besar namun debit yang dihasilkan tetap sama.

#### 2. Rangkaian Paralel

Merupakan sistem pemompaan yang dibuat antar pompa dibuat saling berhubungan dengan menyatukan kedua pompa tersebut dalam satu pipa sehingga nilai debit yang keluar akan semakin besar namun nilai *head* yang dikerjakan pompa tetap sama.

#### a. Pertimbangan Teknis

Pertimbangan penyaliran teknis ditinjau dari batas kapasitas pompa dan kondisi lapangan. Batas kapasitas pompa umumnya tergantung pada beberapa kondisi, yaitu ;

- Berat dan ukuran terbesar yang dapat diangkut dari pabrik ke tempat pemasangan;
- Lokasi pemasangan pompa dan cara pengangkutannya;
- Jenis penggerak dan cara pengangkatannya;
- Pembatasan pada besarnya mesin perkakas yang dipakai untuk mengerjakan bagian-bagian pompa;

- Pembatasan pada performansi pompa.

b. Pertimbangan ekonomi

Pertimbangan ekonomi merupakan pertimbangan yang menyangkut perhitungan *cost* yang dikeluarkan dari biaya investasi hingga perawatan pompa.

### 3.8.2 Klasifikasi Pompa

Berdasarkan prinsip dalam buku “Sistem *Drainase* Yang Berkelanjutan” oleh *Suripin (2004)*, kerjanya pompa dibedakan menjadi beberapa macam yaitu :

1. *Reciprocating Pump*

Sistem kerja *Reciprocating Pump* bekerja berdasarkan pergerakan torak maju dan mundur secara horizontal dalam silinder. Jenis pompa memiliki keuntungan efisien untuk kapasitas kecil dengan kemampuan mengatasi kebutuhan energi (*head*) yang tinggi. Akan tetapi kerugiannya adalah beban yang berat serta perlu perawatan yang teliti. Pompa ini kurang sesuai untuk jenis air yang berlumpur cepat rusak.

2. *Centrifugal Pump*

Merupakan pompa yang dipengaruhi oleh gerakan sebuah kipas yang tersusun oleh sudut-sudut yang ditempatkan pada suatu rumah pompa. Aliran Zat cair di antara sudut padat kipas yang berputar, mendapat gaya luar pusat (sentrifugal) dan mendapat tambahan tekanan, sehingga zat cair terhisap dan terlempar keluar. Ditampung oleh selongsong yang berbentuk gelung membungkus kipas dan keluar dari selongsong sebagai penghasil pompa.

3. *Axial Pump*

Pada pompa aksial, zat cair mengalir pada arah aksial (sejajar poros) melalui kipas. Umumnya bentuk kipas menyerupai baling-baling kapal. Pompa ini dapat beroperasi secara vertikal maupun horizontal. Jenis pompa ini digunakan untuk julang yang rendah.

### 3.8.3 Julang Kerugian Pompa (Head Of Pump)

Untuk mengetahui kebutuhan pompa terdapat dua faktor yang perlu diperhatikan yaitu debit pompa yang akan dikeluarkan dan julang kerugian (*head*) total yang dibutuhkan untuk memindahkan air tersebut. Penentuan julang kerugian ditentukan dengan memperhatikan parameter – parameter sehingga didapatkan debit aktual yang dapat dikeluarkan oleh pompa, parameter tersebut yaitu :

- Jenis pipa
- Panjang pipa
- Banyaknya sambungan pipa
- Besar sudut dan jumlah dari belokan pipa
- Elevasi antara inlet dan outlet dari pompa
- Jenis material yang akan dipompa

Berikut rumus yang digunakan untuk mendapatkan julang kerugian total :

$$H = H_{f1} + H_b + H_{s1} + H_v + H_{s2} \dots \dots \dots (3.44)$$

Di mana :  $H$  = *Head pompa total*

$H_{f1}$  = *Head of friction*

$H_b$  = *Head of bend*

$H_{s1}$  = *Head of suction valve*

$H_v$  = *Head velocity*

$H_{s2}$  = *Head static*

#### 1. *Head of Friction*

*Head of Friction* merupakan julang kerugian yang timbul karena gesekan partikel fluida dengan dinding pipa yang menyebabkan berkurangnya energi kinetik fluida untuk mengalir. Persamaan (*Darcy-Weisbach*<sup>[8]</sup>) digunakan untuk mencari nilai julang kerugian yang dapat dilihat dibawah ini :

$$H_f = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2 \times g} \dots\dots\dots (3.45)$$

Di mana :

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)

Nilai diameter dalam pipa dapat dilihat pada Tabel 3.15 seperti berikut :

**Tabel 3. 15**  
**Diameter Dalam Pipa**

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

Sumber : Binder Raymond C, 1973

Sebelum menghitung nilai nilai f (faktor kekasaran pipa) terlebih dahulu tentukan *density liquid* yang mengalir di dalam air di mana nilai viskositas air dan densitas air, terdapat dalam Tabel 3.16, Tabel 3.17 seperti berikut :

**Tabel 3. 16**  
**Nilai Viskositas Air**

Temp °C	Absolute Viscosity Kg/m.s	Kinematic Viscosity		
		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. 17**  
**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

Apabila nilai densitas pada suhu yang tidak terdapat di dalam tabel, maka dapat menggunakan persamaan interpolasi liner menurut Gujarati, 1995, sebagai berikut :

$$I = t_{min} - \frac{dk_l - dk_{min}}{dk_{max} - dk_{min}} \times (t_{min} - t_{max}) \dots \dots \dots (3.46)$$

Di mana :

I : Nilai interpol yang dicari

dk<sub>l</sub> : Derajat kebebasan dari I

dk<sub>max</sub> : Derajat kebebasan maksimal (di atas dk<sub>l</sub>)

$dk_{\min}$  : Derajat kebebasan minimal (di bawah  $dk_i$ )

$t_{\max}$  : Nilai suhu dari  $dk_{\max}$

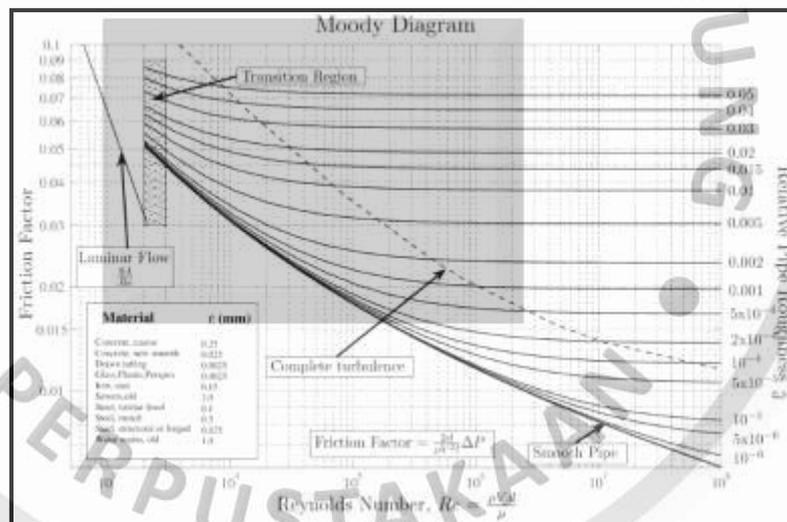
$t_{\min}$  : Nilai suhu dari  $dk_{\min}$

Apabila pipa terbuat dari bahan yang memiliki permukaan halus ( $e = 0$ ) seperti *glass*, tembaga dan plastik dengan aliran turbulen, nilai  $f$  dapat dicari menggunakan persamaan (*Blasius*), yaitu :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \dots \dots \dots (3.47)$$

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

Sedangkan pipa yang kasar dengan aliran turbulen untuk menghitung  $f$  dilakukan 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 :

$$Re = \frac{v D \rho}{\mu / 1.000} \dots \dots \dots (3.48)$$

Di mana :

- Re : Bilangan Reynold  
 V : Kecepatan aliran (m/detik)  
 D : Diameter pipa (m)  
 P : Massa jenis Zat Cair (kg/m<sup>3</sup>)  
 μ : Viskositas (Ns/m<sup>2</sup>)

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

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{\varepsilon}{D} \dots \dots \dots (3.49)$$

Di mana :

ε : Nilai *relative pipe roughness* (Micron)

D : Diameter pipa (mm)

Untuk nilai *relative pipe roughness* dapat dilihat pada Tabel 3.18 :

**Tabel 3. 18**  
**Kekasaran Pipa Absolut Berdasarkan Bahan**

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

Sumber : Binder Raymond C, 1973

Setelah itu bilangan Reynold dan nilai *relative pipe roughness* yang telah didapatkan di plot ke dalam diagram Moody (Gambar 3.7) untuk mendapatkan nilai *friction factor*.

## 2. Head of Bend

*Head of Bend* merupakan julang kerugian yang timbul akibat adanya lekukan atau belokan dari saluran sehingga menyebabkan fluida kehilangan energi kinetik untuk mengalir. Julang kerugian dapat dicari dengan mengetahui banyak belokan dengan sudutnya, sehingga dapat dicari dengan rumus (*Darcy-Weisbach*<sup>[8]</sup>), yaitu :

$$H_b = n \times f_2 \times \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(3.50)$$

Di mana :

$H_b$  = *Head of Bend* (m)

$n$  = Banyak belokan

$f_2$  = faktor perlambatan

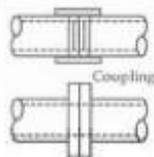
$v_2$  = Kecepatan fluida (m/s)

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

Untuk menentukan nilai  $f_2$  yang merupakan faktor perlambatan akibat adanya belokan sehingga terjadi tumbukan antara dinding saluran dengan partikel fluida, dapat dicari dengan persamaan (*Darcy-Weisbach*<sup>[8]</sup>), yaitu :

$$f_2 = 0,946 \sin^2 (\beta/2) + 2,047 \sin^4 (\beta/2) \dots\dots\dots(3.51)$$

**Tabel 3. 19**  
**Minor Loss Coefficient (K)**

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

Sumber: William Janna, 2013

## 3. Head of Suction Valve

*Head of Suction Valve* adalah julang kerugian yang terjadi akibat adanya tekanan katup hisap yang diberika pompa untuk memindahkan fluida, dan apabila tekanan tersebut terlalu tinggi maka akan terjadi kavitasi. *Head of suction valve* dibagi

menjadi dua macam yaitu *negative suction head* dan *positif suction head*. Untuk mencari julang kerugian akibat katup hisap dapat menggunakan persamaan berikut :

$$H_{s1} = f_3 \times \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (3.52)$$

Di mana :

$H_{s1}$  = *Head of suction valve*

$f_3$  = koefisien katup hisap

$v_2$  = Kecepatan fluida (m/s)

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

**Tabel 3. 20**  
**Harga  $f_3$  untuk Berbagai Jenis Katup dan Sambungan**

Jenis Katup	Nilai $f_3$
Katup bola	10
Katup pengatur ayunan	2,5
Katup pintu	0,2
Tingkungan balik	2,2
T-baku	1,8
Siku-siku 90° baku	0,9

Sumber : Munson, dkk. (2006)

#### 4. *Head of Velocity*

*Head of velocity* yaitu julang kerugian yang timbul oleh adanya kecepatan aliran fluida yang mengalir di dalam pipa yang dipengaruhi oleh panjang pipa dan kecepatan fluida, julang kerugian akibat kecepatan aliran ini dapat dicari dengan rumus :

$$H_v = \frac{v_2^2}{2 \times g} \dots\dots\dots (3.53)$$

$H_v$  = *Head of velocity*

$v_2$  = Kecepatan fluida (m/s)

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

### 5. *Head of Static*

*Head of static* merupakan julang kerugian akibat kehilangan energi yang disebabkan oleh perbedaan elevasi antara *inlet* pompa dan *outlet* pompa. Head of static sendiri terdiri dari dua kategori, *suction head* atau julang kerugian *inlet* dan *discharge head* atau julang kerugian *outlet*. Head of static dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_s = h_o - h_i \dots\dots\dots(3.54)$$

$H_s$  = *Head of static*

$h_o$  = Elevasi *inlet* pompa (m)

$h_i$  = Elevasi *outlet* pompa (m)