

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Siklus Hidrologi

Air memiliki susunan molekul yang sangat sederhana. Dua atom hidrogen dan satu atom oksigen, H-O-H atau yang ditulis dengan rumus H₂O. Air juga mempunyai sifat unik yang memungkinkan berperan sebagai material yang universal. Salah satu sifat khusus air adalah bisa berubah wujud. Air dapat kita jumpai di bumi ini dalam tiga wujud yaitu : cair, padat dan gas. Ketiga wujud air ini berperan sangat penting bagi siklus hidrologi (siklus air).



Sumber : Erwin Seyhan, 1995

Gambar 3.1
Siklus Air

Berdasarkan Gambar 3.1 terlihat bahwa laut tempat penampungan air terbesar di bumi ini. Sinar matahari yang dipancarkan ke bumi memanaskan suhu air di permukaan laut, danau, atau yang terikat pada permukaan tanah. Kenaikan suhu

memacu perubahan wujud air dari cair menuju gas. Molekul air dilepaskan menuju gas. Ini dikenal dengan sebutan evaporasi (penguapan). Air yang terperangkap di permukaan tanaman juga berubah menjadi gas karena pemanasan dari sinar matahari. Proses ini dikenal sebagai transpirasi. Air yang menguap melalui proses evaporasi dan transpirasi selanjutnya naik ke atmosfer membentuk uap air.

Uap air di atmosfer selanjutnya menjadi dingin dan terkondensasi (mengembun) membentuk awan. Kondensasi terjadi ketika suhu udara berubah. Air akan berubah bentuk ketika suhu berfluktuatif. Sehingga jika udara cukup dingin, uap air akan terkondensasi menjadi partikel-partikel di udara membentuk awan. Awan yang terbentuk selanjutnya dibawa oleh angin mengelilingi bumi, sehingga awan terdistribusikan ke seluruh penjuru dunia. Ketika awan sudah tidak mampu lagi menampung air, awan melepas uap air yang ada di dalamnya kedalam bentuk presipitasi yang dapat berupa salju, hujan, dan hujan es.

Selanjutnya, sebagian air hujan yang jatuh ke permukaan bumi diserap (*intercepted*) oleh permukaan tanaman, sisanya akan mengalir di permukaan tanah sebagai aliran permukaan (*surface run-off*). Aliran permukaan kemudian mengalir melalui sungai menjadi debit sungai (*streamflow*) atau tersimpan di permukaan tanah dalam bentuk danau (*freshwater storage*). Sebagian lagi masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (penyerapan) dan sebagian lagi mengalir di dalam lapisan tanah melalui aliran-air-tanah (*sub surface flow*). Berdasarkan kemampuan batuan/tanah pelapukan untuk menyimpan dan mengalirkan air terdapat 4 jenis batuan, yaitu:

- Akuifer (*Aquifer*) adalah lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air.

Contoh : pasir, kerikil, batupasir, batugamping rekahan.

- Akuikud (*Aquiclude*) adalah lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan dalam jumlah yang berarti. Contoh : lempung, serpih, tuf halus, lanau.
- Akuifug (*Aquifuge*) adalah lapisan batuan yang kedap air, tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air. Contoh : batuan kristalin, metamorf kompak.
- Akuitar (*Aquitard*) adalah lapisan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan dalam jumlah yang terbatas. Contoh : lempung pasir (*sandstone, clay*).

Pada lokasi tertentu air yang mengalir dalam tanah akan keluar sebagai mata air (*spring*) dan bergabung dengan aliran permukaan. Lebih jauh lagi air yang terinfiltrasi mungkin dapat mengalami proses perkolasi ke dalam tanah menjadi aliran dalam tanah.

Siklus hidrologi ini akan berlangsung secara *continuous* (menerus) bagi penyediaan air untuk makhluk hidup di bumi, tanpa proses ini tidak mungkin ada kehidupan di bumi.

Air akan terdistribusi dalam berbagai bentuk dan dimanapun juga. Untuk memahami karakteristik air, kita perlu melihat bagaimana dan dimana air terdistribusi, dan bagaimana air berubah pada berbagai bentuk penyimpanan berbeda. Oleh karena itu dalam proses penambangan air salah satu aspek yang harus kita dapat tangani, karena air sendiri dapat bermanfaat apabila bisa dikendalikan dan sebaliknya bisa menjadi ancaman yang cukup tinggi apabila kita tidak bisa menanganinya. Dalam proses penambangan (tambang terbuka), air akan datang dalam bentuk sebagai berikut :

1. hujan (*presipitasi*).
2. aliran permukaan (*surface run-off*).
3. aliran-air-tanah (*sub surface flow*).

Dalam hal penanganan air sendiri, pada dasarnya kita dapat memperkirakan debit air dari tiga proses tadi yang akan masuk ke dalam tambang terbuka tersebut. Oleh karena itu kita bisa memperkirakan hidrologinya dengan memperhitungkan debit air limpasan di permukaan dan debit limpasan aliran-air-tanah yang akan masuk.

3.2 Air Permukaan (*Surface Water*)

Air permukaan adalah bagian dari siklus air yang mengalir di atas permukaan bumi. Air permukaan juga merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau atau laut. Air limpasan secara garis besar dipengaruhi oleh elemen-elemen meteorologi yang diwakili oleh curah hujan dan elemen-elemen daerah pengaliran yang menyatakan sifat-sifat dari daerah pengaliran (Sosrodarsono, 1976 : 135).

$$Q = C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

Q = Debit air, m³/menit

C = Koefisien limpasan

I = Intensitas curah hujan, mm/jam

A = Luas daerah limpasan (penadah hujan), km²

3.2.1 Penyelidikan Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari keterdapatan dan sifat fisik air permukaan. Penyelidikan hidrologi dilakukan dengan cara pengumpulan dan analisis terhadap data sekunder meteorologi (curah hujan, hari hujan, tata guna lahan dan lain-lain) dari daerah penyelidikan dan daerah di sekitarnya, serta penentuan luas *catchment area*.

3.2.2 Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

Catchment area atau daerah tangkapan hujan ditentukan berdasarkan kondisi topografi daerah yang akan diteliti. Daerah tangkapan hujan ini biasanya dibatasi oleh punggung pegunungan dan bukit-bukit yang berfungsi sebagai garis pemisah air hujan. Luas daerah tangkapan hujan diukur pada peta kontur, yaitu dengan menarik hubungan dari titik-titik yang tertinggi di sekeliling tambang dan membentuk poligon tertutup, dengan melihat kemungkinan arah mengalirnya air. Luas daerah pengaliran dihitung berdasarkan batas poligon tersebut. Semua air yang mengalir di permukaan belum tentu menjadi sumber air dari suatu sistem penyaliran. Kondisi ini tergantung dari cakupan daerah tangkapan hujan yang juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi topografi, rapat tidaknya vegetasi serta keadaan geologi.

3.2.3 Curah Hujan

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

Curah hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada suatu satuan luas, dinyatakan dalam satuan mm. Curah hujan sebesar 1 mm berarti pada luasan 1 m² jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 liter. Sehingga curah hujan 1 mm identik dengan 1 liter/m². Klasifikasi hujan yang digunakan adalah klasifikasi berdasarkan Badan Meteorologi dan Geofisika, yaitu seperti pada (Tabel 3.1).

Tabel 3.1
Klasifikasi Curah Hujan Menurut BMG

Hujan	Intensitas Hujan (mm/jam)	Intensitas Hujan (mm/hari)
Ringan	1-5	5 - 20
Sedang	5 - 10	20 - 50
Lebat	10 - 20	50 - 100
Sangat Lebat	> 20	> 100

Sumber : Badan Meteorologi Geofisika (BMG)

Dalam pembuatan suatu rancangan penyaliran tambang data distribusi curah hujan yang diperlukan adalah distribusi curah hujan jangka waktu pendek yaitu jangka waktu harian. Penggunaan dari masing-masing data distribusi curah hujan tersebut disesuaikan dengan tujuan dari perencanaan yang dilakukan.

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

Data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pengamatan hujan merupakan besarnya curah hujan harian maksimum yang terjadi selama satu tahun dan dinyatakan dalam satuan mm/24 jam. Data curah hujan tersebut merupakan data kasar yang tidak dapat digunakan secara langsung untuk perhitungan dalam analisis curah hujan (*Gumbel, E. J, 1954*).

Analisis curah hujan dapat dilakukan dengan beberapa metoda, diantaranya metoda analisis frekuensi langsung (*direct frequency analysis*). Analisis ini dilakukan untuk menentukan curah hujan rencana berdasarkan data curah hujan yang tersedia.

Analisis frekuensi langsung dapat dilakukan dengan dua sajian data curah hujan, yaitu :

a. Seri Tahunan (*Annual Series*)

Pengolahan data curah hujan dilakukan dengan mengambil satu curah hujan tertinggi dalam rentang waktu satu tahun. Kekurangan dalam analisis ini adalah data curah hujan dibawah curah hujan maksimum pada tahun tertentu tetapi lebih tinggi dari curah hujan maksimum pada tahun yang lain tidak diperhitungkan.

b. Seri Sebagian (*Partial Duration Series*)

Cara ini dapat menutupi kekurangan cara seri tahunan, karena pengolahan data dilakukan dengan mengambil data curah hujan yang melebihi suatu nilai tertentu dengan mengabaikan waktu kejadian hujan yang bersangkutan. Sebelum dilakukan analisis, harus ditentukan jumlah data yang akan diolahnya lebih dulu. Pada *partial duration series*, data diambil dari nilai maksimum yang mewakili tiap bulannya, Jumlah data curah hujan yang akan dipakai dalam analisis intensitas curah hujan ada 30 buah data.

Adapun dalam menganalisis data curah hujan yang perlu diketahui diantaranya yaitu :

1. Periode Ulang Hujan

Periode ulang hujan (PUH) adalah periode (tahun) dimana suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama kemungkinan bisa terjadi lagi. Kemungkinan terjadinya adalah satu kali dalam batas periode (tahun) ulang yang ditetapkan (Yunus Ashari, 2011).

Tabel 3.2
Penentuan Periode Ulang Hujan

Lokasi	Periode Ulang Hujan
	(Tahun)
Sarana Tambang	2-5
Lereng Tambang dan Penimbunan	5 - 10
Sumuran Utama	10 - 25
Penyaliran Keliling Tambang	25
Pemindahan Aliran Sungai	100

Sumber : Kite, G.W, 1997

Penentuan periode ulang hujan dilakukan dengan menyesuaikan data dan keperluan pemakaian saluran yang berkaitan dengan umur tambang serta tetap memperhitungkan resiko hidrologi (*Hidrology Risk*). Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijakan.

Resiko hidrologi (Pt).

$$Pt = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{TL} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Pt = Resiko Hidrologi, %

Tr = Periode Ulang, Tahun

TL = Umur tambang, Tahun

2. Analisis Intensitas Curah Hujan Rencana (CHR)

Intensitas Curah Hujan adalah jumlah curah hujan dalam jangka waktu tertentu, dan dinyatakan dalam mm persatuan waktu (mm/jam, mm/menit dan mm/detik). 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 dimaksudkan untuk mendapatkan kurva durasi yang nantinya dapat dipakai sebagai dasar perencanaan debit limpasan hujan pada

daerah penelitian. Untuk mengolah data curah hujan menjadi intensitas curah hujan digunakan cara statistik dari pengamatan durasi yang terjadi. Analisis statistik yang digunakan adalah dengan formula *Extreme Value E.J Gumbel*. Adapun langkah-langkah analisis dari formula tersebut adalah sebagai berikut :

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

$$\bar{X} = \frac{\sum CH}{\sum n} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

\bar{X} = Rata-rata nilai data, mm

$\sum CH$ = Jumlah nilai data, mm

n = Jumlah data.

b. Tentukan koreksi rata-rata (γ_n), dengan rumus :

$$\gamma N = \frac{\sum \gamma_n}{n} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

γN = Rata-Rata γ_n ,

$\sum \gamma_n$ = Jumlah Nilai γ_n ,

n = Jumlah Data.

c. Tentukan standar deviasi (S), dengan rumus :

- Standar Deviasi *Distribusi Gumbel*

$$S = \frac{\sqrt{(x_i - x \text{ rata-rata})^2}}{(n-1)} \dots\dots\dots (5)$$

- Koreksi Simpangan (SN):

$$S = \frac{\sqrt{\sum (\gamma_n - \gamma_n \text{ rata-rata})^2}}{(n-1)} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

S = Standar Deviasi,

γN = Rata-Rata γ_n ,

$\sum y_n$ = Jumlah Nilai y_n ,

n = Jumlah Data.

d. Tentukan koreksi simpangan (S_n), dengan rumus :

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (y_n - \bar{Y}_N)^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

S_n = Koreksi simpangan

\bar{Y}_N = Rata-Rata y_n ,

$\sum y_n$ = Jumlah Nilai y_n ,

n = Jumlah Data.

e. Tentukan koreksi varian (y_t), dengan rumus :

$$Y_t = -\ln[-\ln[\frac{T-1}{T}]] \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

y_t = Koreksi Varians,

T = Periode Ulang Hujan.

Nilai koreksi varian (y_t) dipengaruhi oleh lama periode ulang yang dipakai.

f. Tentukan curah hujan rencana (CHR)

Tujuan akhir dari analisis ini adalah untuk memperoleh curah hujan rencana (CHR), nilai tersebut diperoleh dengan memasukkan nilai diatas kedalam persamaan seperti berikut :

$$CHR = \bar{X} + S.S_n \times (Y_t - \bar{Y}_N) \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

CHR = Curah Hujan Rencana *E.J. Gumbel* (mm/hari),

\bar{X} = Rata-Rata Intensitas Curah Hujan (mm/hari),

S = Standar Deviasi,

S_n = Koreksi Simpangan,

γ_t = Koreksi Varian,

γ_N = Rata-Rata Nilai γ_n .

g. Curah Hujan untuk Periode Ulang Hujan (X_T) menurut *E.J Gumbel* :

$$X_T = R_{24} + \frac{\gamma_t - \gamma_n}{S_{\gamma n}} \times S \quad \dots \quad (10)$$

Keterangan :

X_T = Curah Hujan untuk Periode Ulang Hujan (mm/hari),

CHR = Curah Hujan Rencana *E.J. Gumbel* (mm/hari), R_{24}

γ_t = Koreksi Varians,

γ_n = Koreksi Rata-Rata,

$S_{\gamma n}$ = Standar Deviasi dari γ_n ,

S = Standar Deviasi Curah Hujan Harian.

3. Intensitas Curah Hujan Perjam

Rumus yang dapat digunakan untuk mengolah data curah hujan harian kedalam satuan jam adalah dengan *Rumus Mononobe* :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot (24/t)^{2/3} \quad \dots \quad (11)$$

Keterangan :

R_{24} = Curah Hujan Dalam Satu Hari (mm/hari),

t = Durasi Hujan (jam),

I = Intensitas Curah Hujan Perjam (mm/jam).

3.2.4 Koefisien Limpasan (C)

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

Koefisien limpasan untuk beberapa jenis tataguna lahan dengan berbagai kemiringan secara umum, dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3
Koefisien Limpasan

Kemiringan	Tutupan/jenis Lahan	C
< 3% (datar)	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 : C.W Fetter, 1994.

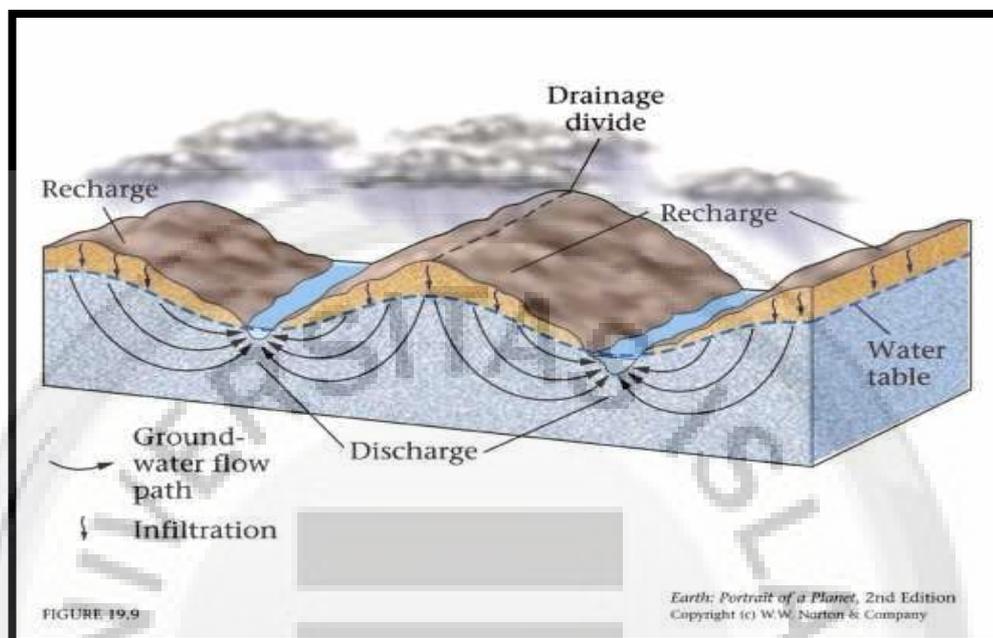
3.3 Airtanah (*Groundwater*)

Airtanah adalah air yang berada di bawah permukaan tanah (di dalam tanah) dan mengisi rongga atau pori-pori tanah dan batuan, pada zona jenuh air yang gerakan atau alirannya dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

Keberadaan lapisan tanah atau batuan yang mampu meresapkan dan meluluskan air yang muncul di permukaan disebut kawasan resapan (*recharge area*). Kemunculan lapisan tersebut tidak selalu ada di setiap wilayah permukaan. Apabila suatu wilayah yang bagian permukaannya tertutup oleh lapisan kedap seperti lempung yang cukup tebal maka daerah tersebut bukan merupakan kawasan resapan (*discharge area*).

Discharge area merupakan vektor resultan dari aliran airtanah, energi (*head*) airtanah paling kecil sehingga adanya penumpukan aliran airtanah dan dicirikan

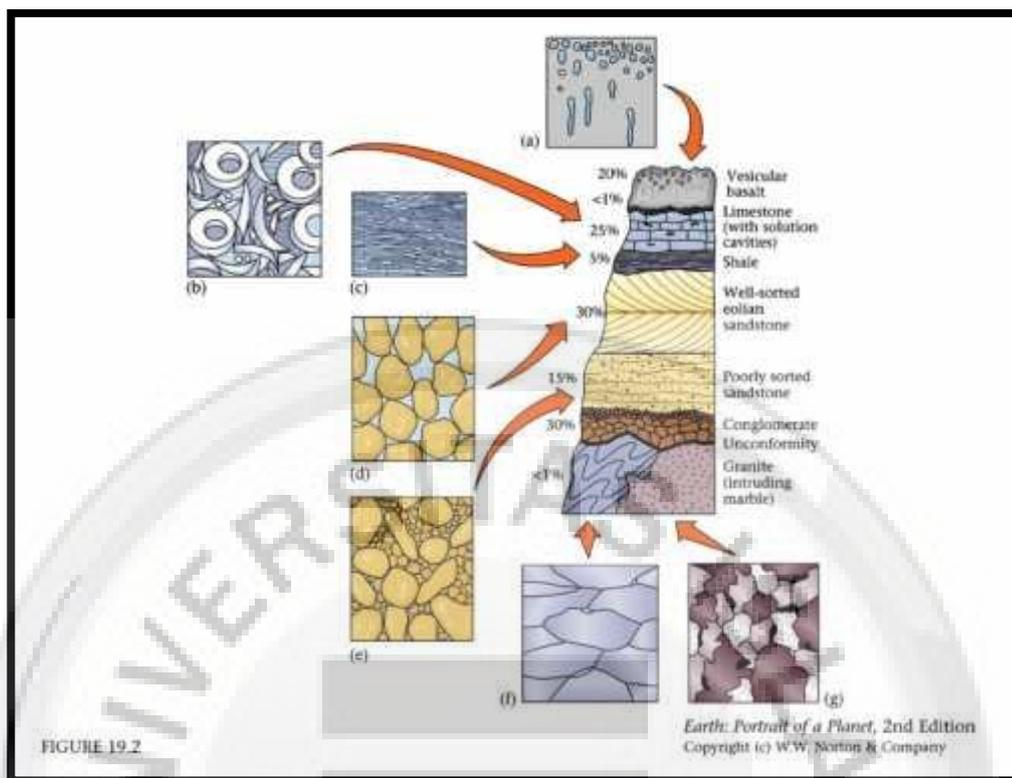
adanya muka airtanah dangkal (kurang dari 5 m), sehingga adanya mata air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Sumber : Potret of a Planet, 2nd Edition Copyright © W.W. Norton and Company.

Gambar 3.2
Water Flow Path

Airtanah berasal dari sumber utama ialah air meteorik. Sumber lainnya relatif sedikit, misalnya air juvenil (air magma) dan air konnat (air yang terperangkap di sedimen pada saat pembentukannya). Sehubungan dengan itu, airtanah sangat tergantung dari jumlah air hujan yang meresap ke dalam tanah. Proses peresapan akan sangat tergantung dari laju turun hujan, zona saturasi, kandungan awal dari dalam airtanah, porositas, permeabilitas dan vegetasi di permukaan tanah (Bell, 1980). Adapun persentase keterdapatn air di dalam batuan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



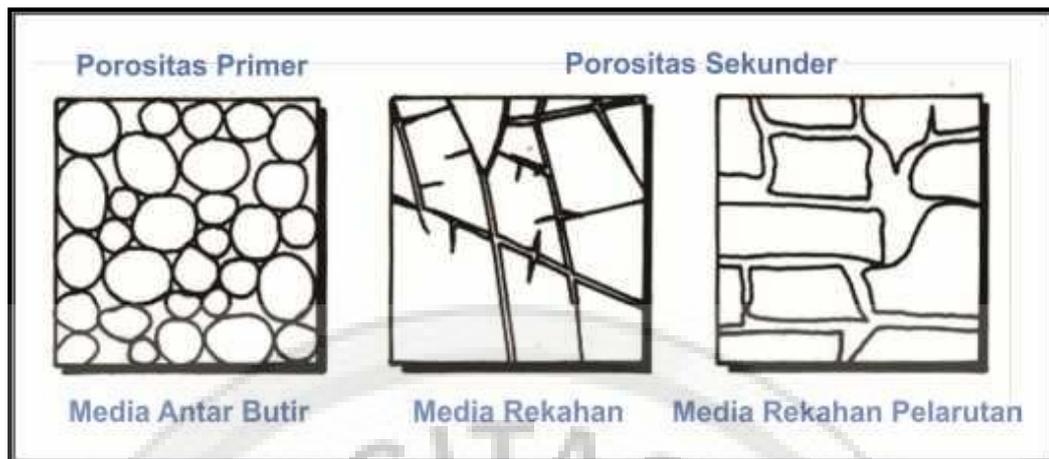
Sumber : Potret of a Planet, 2nd Edition Copyright © W.W. Norton and Company.

Gambar 3.3
Persentase Keterdapatn Air di Dalam Batuan

Bila terjadi hujan yang sangat lebat, ternyata tidak selalu menghasilkan peresapan bermakna, karena air lebih banyak mengalir sebagai air permukaan. Sedangkan jika tidak terlalu lebat namun teratur, lebih efisien untuk terjadi peresapan. Dalam hal ini vegetasi di permukaan dapat mengaturnya. Permukaan zona yang telah tersaturasi air disebut muka airtanah, nama lainnya yaitu freatik (*phreatic*).

Klasifikasi zona airtanah misalnya dibuat oleh *Meinzer*, 1942, *De Weist*, 1966 dan *Domenico & Schwartz*, 1990 antara lain :

- **Akuifer (*Aquifer*)** Lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang ekonomis. Contoh: Pasir, kerikil, batupasir, batugamping rekahan.



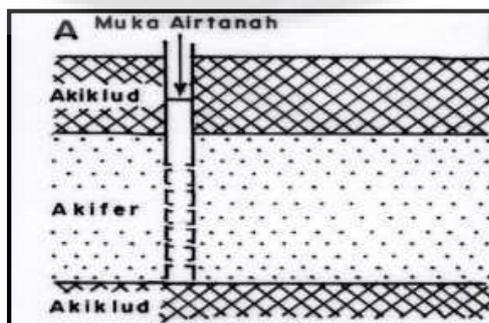
Sumber : Meinzer, 1942, De Weist, 1966 dan Domenico & Schwartz, 1990.

Gambar 3.4
Media Penyusun Akuifer

- Akuifug (*Aquifug*) Lapisan batuan yang kedap air, tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air, misalnya batuan kristalin dan batuan metamorf.
- Akuitar (*Aquitard*) Lapisan batuan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan dalam jumlah yang terbatas, misalnya lempungpasiran.
- Akuiklud (*Aquiclude*) Lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan air dalam jumlah yang berarti, misalnya lempung, serpih dan tuf.

Tiga tipe akuifer menurut Hidrodinamika :

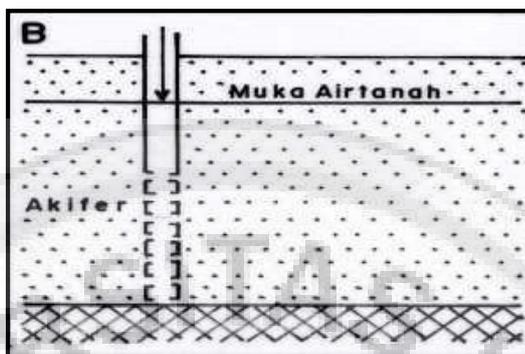
- Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*) Adalah akuifer yang bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan bersifat akuifug atau akuiklud seperti Gambar 3.5 di bawah ini.



Sumber : Meinzer, 1942, De Weist, 1966 dan Domenico & Schwartz, 1990.

Gambar 3.5
Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*)

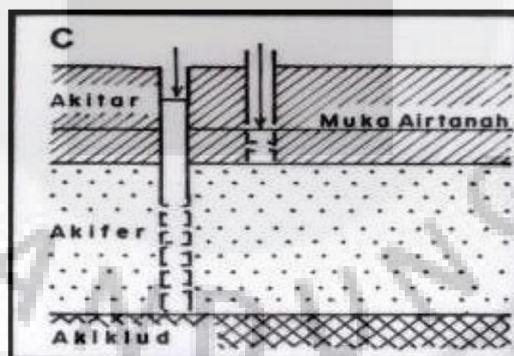
- Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*) Adalah akuifer yang dibatasi oleh lapisan *impermeabel* di bagian bawahnya tetapi pada bagian atasnya tidak ada lapisan penutup seperti Gambar 3.6 di bawah ini.



Sumber : Meinzer, 1942, De Weist, 1966 dan Domenico & Schwartz, 1990.

Gambar 3.6
Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

- Akuifer Bocor (*Leaky Aquifer*) Adalah akuifer yang dibatasi oleh lapisan *impermeabel* di bagian atas dan atau di bagian bawahnya seperti Gambar 3.7 di bawah ini.



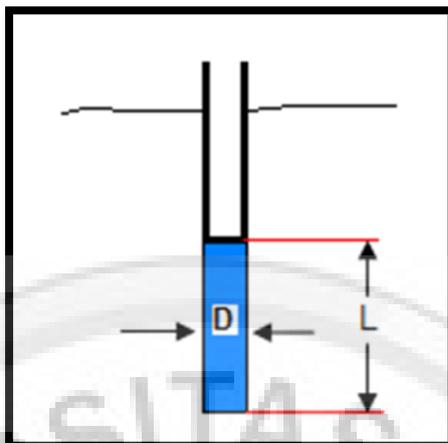
Sumber : Meinzer, 1942, De Weist, 1966 dan Domenico & Schwartz, 1990.

Gambar 3.7
Akuifer Bocor (*Leaky Aquifer*)

3.4 Penyelidikan Hidrogeologi

Hidrogeologi didefinisikan sebagai studi berbagai ilmu dengan interaksi ekstensif antara air dan kerangka kerja geologi (Maxey, 1964). 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.



Sumber : Skema Uji *Falling Head Test*

Gambar 3.8

Skema Uji *Falling Head Test*

Debit airtanah adalah volume air yang masuk ke dalam tambang (*pit*) yang berasal dari rembesan batuan pada dinding lereng tambang. Debit airtanah dihitung dengan Persamaan *Darcy*, 1856 yaitu sebagai berikut :

$$Q = k \cdot i \cdot A \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

Q = Debit Airtanah, m³/detik

k = Koefisien Permeabilitas, m/detik

i = Gradien Hidrolik

A = Luas Penampang Akuifer, m²

Dari data-data yang didapat dari pengukuran *falling head test*, perhitungan koefisien permeabilitas (k) menggunakan persamaan dari (*Hoek and Bray, 1981*), yaitu sebagai berikut :

$$k = \frac{A}{F(t_2-t_1)} \times Ln \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

k = Koefisien Permeabilitas, m/s

A = Luas Penampang dari Kolom Air, m²

F = *Shape Factor* yang disesuaikan dengan kondisi *bottom* dari lubang,

t_1, t_2 = Pengukuran Peubah Waktu Penurunan Level Air (detik),

H_1, H_2 = Level Air di Dalam Pipa.

$$F = \frac{2\pi L}{Ln \frac{2L}{D}} \dots \text{Untuk } L > 4 D \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

L = Kedalaman Lubang (cm),

D = Diameter Lubang (cm).

3.5 Sistem Penanggulangan Air Tambang

Dengan mengetahui perkiraan debit air, koefisien permeabilitas lapisan 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.

3.5.1 Penanggulan Air Limpasan di Luar Area Pit

Air limpasan di luar area *pit* akan dialihkan melalui saluran pengalihan air yang disesuaikan dengan kondisi topografi dan posisi sungai dekat *pit*, sehingga air limpasan yang akan masuk ke dalam *pit* dapat langsung dialirkan ke luar lokasi penambangan. Perancangan dimensi saluran pengalihan air limpasan di luar *pit* didasarkan atas perhitungan debit air limpasan di luar *pit*.

Dalam merancang dimensi saluran perlu dilakukan analisis pada daerah lokasi penambangan sehingga saluran air tersebut dapat memenuhi hal-hal sebagai berikut :

- Dapat mengalirkan debit air yang direncanakan,
- Kecepatan air yang tidak merusak saluran (erosi),

- Kecepatan air yang tidak menyebabkan terjadinya pengendapan,
- Kemudahan dalam penggalian atau pembuatan,
- Kemudahan dalam hal pemeliharaan.

Salah satu bentuk saluran yang sering digunakan pada perusahaan tambang yaitu bentuk saluran trapesium. Keuntungan dari bentuk penampang trapesium adalah sebagai berikut :

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

Pada perencanaan saluran pengalihan air di luar *pit* ada beberapa faktor lapangan yang perlu diperhatikan yaitu :

a. *Catchment Area* atau *Water Divide*

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

b. Koefisien kekasaran *Manning* (n)

Menentukan koefisien kekasaran *Manning* (n) berguna untuk memperkirakan hambatan aliran pada saluran tertentu yang benar-benar tidak dapat diperhitungkan, seperti kekasaran permukaan, tetumbuhan, ketidakteraturan saluran, pengendapan dan penggerusan serta belokan saluran. Adapun tabel koefisien kekasaran *Manning*

(n) dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Koefisien Kekasaran *Manning* (n)

Chanel Conditions		Values	
<i>Material Involved</i>	<i>Earth</i>	no	0,02
	<i>Rock Cut</i>		0,025
	<i>Fine Gravel</i>		0,024
	<i>Coarse gravel</i>		0,028
<i>Degree of Irregularity</i>	<i>Smooth</i>	n1	0
	<i>Minor</i>		0,005
	<i>Moderate</i>		0,01
	<i>Severe</i>		0,02
<i>Variations off channel cross section</i>	<i>Gradual</i>	n2	0
	<i>Alternating occasionally</i>		0,005
	<i>Alternating frequently</i>		0,01 - 0,015
<i>Relative effect of obstruction</i>	<i>Negligible</i>	n3	0
	<i>Minor</i>		0,01 - 0,015
	<i>Appreciable</i>		0,02 - 0,03
	<i>Severe</i>		0,04 - 0,06
<i>Vegetation</i>	<i>Low</i>	n4	0,005 - 0,01
	<i>Medium</i>		0,01 - 0,025
	<i>High</i>		0,025 - 0,5
	<i>Very High</i>		0,05 - 0,1
<i>Degree of meandering</i>	<i>Minor</i>	m5	1
	<i>Appreciable</i>		1.15
	<i>Severe</i>		1.3

Sumber : Ven Te Chow, 1961

Penampang saluran buatan biasanya direncanakan berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang umum dipakai untuk saluran berdinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segitiga merupakan bentuk khusus selain trapesium. Dari kondisi-kondisi tersebut bisa diperkirakan dimensi dan pola aliran salurannya. Kemudian untuk merencanakan suatu dimensi saluran pengalihan air bisa dengan mengikuti tahapan berikut :

- Tentukan pembagian water divide untuk setiap kemungkinan kondisi areal penambangan yang ada dari pembacaan peta rencana. Dan untuk mengukur luasnya tersebut bisa dengan menggunakan pembuatan poligon pada peta rencana tersebut.
- Buat jalur saluran dari masing-masing water divide,
- Hitung intensitas curah hujan rencana dengan menggunakan *Metoda Gumbel*,
- Tentukan koefisien material yang sesuai dengan kondisi dilapangan,
- Hitung debit rencana dengan menggunakan Rumus Rasional,
- Analisis dimensi saluran pengalihan.

Bentuk penampang saluran yang paling sering digunakan dan umum dipakai adalah bentuk trapesium, sebab mudah dalam pembuatannya, murah, efisien dan mudah dalam perawatannya, serta stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan dengan keadaan daerah.

Dimensi penampang yang paling efisien yaitu dapat mengalirkan debit yang maksimum untuk suatu luas penampang basah tertentu. Perhitungan kapasitas penyaliran suatu saluran air dilakukan dengan *Rumus Manning*.

$$V = \frac{A^{2/3} S^{1/2}}{nP^{2/3}} \dots\dots\dots (15)$$

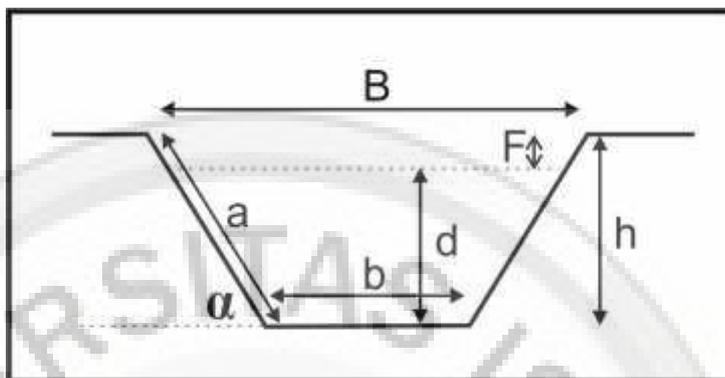
Atau

$$Q_s = V d^2 \sqrt{3} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

- Qs = Debit, m³/detik,
- S = Gradien, %,
- A = Luas Penampang Basah, m²,
- P = Keliling Basah, m,

- n = Koefisien Manning Menunjukkan Kekasaran Dinding Saluran
- v = Kecepatan Aliran Air m/detik,
- d = Kedalaman Basah Saluran, m.



Sumber : Skema Penampang Saluran pengalihan

Gambar 3.12
Penampang Saluran Pengalihan Bentuk Trapesium

Keterangan :

- B = Lebar Permukaan, m,
- F = *Freeboard*, m,
- d = Kedalaman Basah, m,
- h = Kedalaman Saluran, m,
- a = Panjang Sisi saluran, m,
- α = Kemiringan Dinding Saluran, $^{\circ}$.

3.5.2 Penanggulangan Air di Dalam Pit dengan Sistem Pemompaan

Air di dalam *area* pit berasal dari air limpasan permukaan dari air hujan dan airtanah yang merembes di bawah permukaan melalui lapisan batuan yang dapat merembeskan air baik melalui pori-pori maupun melalui rekahan batuan. Debit air tambang yang akan ditanggulangi dengan sistem pemompaan merupakan jumlah air di dalam pit akibat hujan yang turun langsung ke *area* tambang dan rembesan dari batuan di dalam pit. Pompa adalah alat yang berfungsi mengalirkan cairan ke tempat yang memiliki tekanan atau perbedaan posisi tertentu, sehingga

tidak dimungkinkannya cairan tersebut mengalir dengan secara alami.

Pemompaan adalah suatu proses penambahan energi kinetik dan energi potensial kepada fluida untuk memindahkannya dari satu titik ke titik lain. Energi ini menyebabkan fluida mengalir melalui pipa atau naik ke ketinggian tertentu dan pompa memberikan tekanan kepada fluida untuk melewatinya dan keluar melalui ujung *outlet* (Sularso dan Haruo Tahara, 1983).

Kapasitas pompa dipengaruhi oleh :

- Beda elevasi antara antara tempat penampungan dengan tempat pembuangan,
- Kecepatan fluida yang mengalir,
- Gesekan antara fluida dengan pipa,
- Belokan-belokan dan perubahan aliran yang terjadi,
- Densitas cairan, dan
- Ukuran butiran material dalam cairan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi umur alat adalah :

- pH Cairan

pH cairan yang akan dipompakan sangat berpengaruh terhadap umur pakai alat. Makin kecil pH suatu cairan atau semakin asam, maka cairan itu akan semakin mudah mengakibatkan terjadinya korosi pada logam. Untuk meghindarkan peralatan dari korosi maka sebelum digunakan sebaiknya alat tersebut dicat terlebih dahulu atau dengan pemberian kapur untuk menetralkan keasaman air.

- Jenis Material

Material lumpur yang abrasif akan menyebabkan material bagian dalam pompa cepat aus, karena gesekan antara cairan dengan pipa yang dilaluinya semakin besar. Pompa mempunyai spesifikasi tertentu tentang material yang dihisap yang berkaitan dengan densitas cairan.

➤ Ukuran Butiran Lumpur

Ukuran butiran lumpur dapat mempengaruhi life time pompa karena semakin besar butiran lumpur yang dialirkan, maka semakin besar pula gesekan antara material lumpur dengan bagian dalam pompa.

➤ Perawatan Alat

Cara perawatan dan pemeliharaan alat yang baik dapat mempengaruhi life time alat, misalnya pengecatan shock yang digunakan sebagai penyambung antara rubber house dengan pompa dapat memperlambat proses korosi karena mencegah kontak langsung antara cairan dengan bahan pompa dan pipa yang terbuat dari logam.

