

## **BAB II**

### **TINJUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Menghitung Populasi Penduduk**

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Cipta Karya, kebutuhan air bersih yang ditetapkan untuk kawasan hunian baru adalah 5 orang per rumah.

#### **2.2 Sistem Penyediaan Air Bersih**

Air merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan manusia juga makhluk hidup lainnya. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/Men.Kes/PER/IX/1990 tentang Persyaratan dan Pengawasan Kualitas Air, Pasal 1 menyebutkan bahwa air bersih adalah air yang dinyatakan aman untuk dikonsumsi setelah dimasak dan memenuhi baku mutu sesuai dengan ketentuan kesehatan.

Air yang telah sesuai standar kualitas didistribusikan kepada pengguna melalui sistem penyediaan air bersih. Jaringan pipa menghubungkan instalasi pengolahan air dengan titik penyaluran air. Dalam pemenuhan permintaan air, sistem penyediaan air bersih harus mampu menyalurkan dalam jumlah yang memadai.

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/Men.Kes/PER/IX/1990 tentang Baku Mutu dan Pengawasan Air, Pasal 1 mendefinisikan air bersih adalah air yang dinyatakan aman untuk diminum setelah dimasak dan memenuhi kriteria mutu yang ditetapkan dalam peraturan kesehatan. Dengan jaringan pipa, SPAM terdiri dari beberapa unit, yaitu: unit sumber air baku yang diperoleh dari sumber alami seperti mata air, sungai, atau bendungan; unit produksi yang mencakup instalasi pengolahan, perangkat operasional dan struktur penyimpanan; unit distribusi yang mencakup jaringan pipa, sistem pemompaan dan alat pemantauan; unit pelayanan yang mencakup sambungan rumah, hidran umum dan hidran kebakaran; serta unit pengelolaan, baik teknis yang meliputi operasional, perawatan dan pengawasan, maupun non-teknis yang mencakup administrasi dan layanan kepada pelanggan

Sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007 mengenai Implementasi Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, desain layout sistem distribusi ditentukan oleh keadaan merancang topografi dan posisi lembaga yang mengelola air, serta tipe pengaliran air didasarkan dari keadaan topografi wilayah pelayanan.

### **2.3 Sumber Air Baku**

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 memperbolehkan pemanfaatan mata air, air permukaan, air tanah, dan air hujan sebagai sumber air baku. Agar air dapat diklasifikasikan sebagai sumber air baku, air tersebut harus memenuhi berbagai kriteria, seperti debit minimum dari sumbernya, penyediaan air yang andal, dan kualitas air yang memenuhi standar yang berlaku, serta jarak maksimal antara sumber air dan area penyediaan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

### **2.4 Kebutuhan Air Bersih**

Kebutuhan air suatu wilayah harus dievaluasi untuk merencanakan jaringan distribusi air bersih. Berdasarkan data populasi yang tersedia, jumlah pengguna domestik menentukan permintaan air bersih. Dengan semakin banyaknya penduduk, kebutuhan air juga akan semakin meningkat, serta pola peningkatannya dipengaruhi oleh kebiasaan penduduk setempat serta kondisi sosial-ekonomi yang ada. Kran umum dan sambungan rumah tangga adalah dua bentuk penyediaan air yang paling umum. Sambungan rumah tangga ditandai dengan keran yang ditarik ke dalam rumah dan jumlahnya ditentukan oleh rata-rata penghuni per rumah yang dianggap sebagai tempat tinggal tetap. Sebaliknya, keran umum adalah sumber daya air yang digunakan oleh banyak rumah tangga. Kebutuhan air untuk keperluan domestik dan non-domestik di wilayah perkotaan diklasifikasikan menjadi lima kategori: Kategori I hingga Kategori V (metropolitan, besar, sedang, kecil, dan pedesaan).

#### **2.4.1 Kebutuhan Air Domestik**

Jumlah jiwa di suatu daerah pemukiman serta penggunaan air per kapita digunakan untuk menghitung permintaan air untuk keperluan rumah tangga.

Tergantung pada klasifikasi kota, permintaan air harian per orang disesuaikan dengan standar dan kriteria yang berlaku. Dalam setiap kategori yang berbeda, kebutuhan air per individu setiap harinya dapat bervariasi. Menurut SNI tahun 1997, kebutuhan air harian setiap orang sebaiknya ditentukan secara tepat berdasarkan kriteria umum yang tercantum didalamnya. Kriteria untuk perencanaan air terdapat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

**Tabel 2. 1** Acuan Teknis Perencanaan Air Bersih Mengacu pada SNI 1997

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Jiwa				
		>1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	200.000 s/d 100.000	<20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) 1/org/hari	190	170	150	130	100
2	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) 1/org/hari	30	30	30	30	30
3	Konsumsi Unit Non Domestik (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	10-20
4	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
5	Faktor Maksimum Perhari	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
6	Faktor Pada Jam Puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa Per SR	5	5	6	6	10
8	Jumlah Jiwa Per HU	100	100	100	100-200	200
9	Sisa tekan di Jaringan Distribusi (meter)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasional (jam)	24	24	24	24	24
11	Volume Reservoir (%)	20	20	20	20	20
12	SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80-20	70-30	70-30
13	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	90

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya (1997)

#### 2.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Standar untuk penyediaan air non-rumah tangga ditentukan menurut jumlah pengguna yang termasuk ke dalam kategori tersebut, misalnya seperti kantor, rumah sakit, toko, lembaga pemerintahan dan sebagainya. Semakin banyak fasilitas yang memerlukan pasokan air, maka permintaan air juga akan meningkat. Permintaan ini dapat mencapai antara 20% hingga 25% dari total produksi air yang ada.

Agar proyeksi kebutuhan air untuk konsumen non-domestik dapat dilakukan secara akurat, perlu pemahaman terhadap rencana pembangunan kota dan jenis aktivitas yang ada. Jika data rinci belum tersedia, estimasi kebutuhan dapat dilakukan melalui pendekatan kesetaraan populasi, yaitu dengan mengasumsikan bahwa konsumsi air pengguna non-domestik mengikuti pola dan standar penyediaan air rumah tangga. Kebutuhan air pada sektor non-domestik umumnya dikelompokkan ke dalam beberapa kategori, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

**Tabel 2. 2** Standar Konsumsi Air Non Domestik menurut Kategori Kota (I-IV)

No	Sektor	Besaran	Satuan
1.	Sekolah	10	Liter/murid/hari
2.	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3.	Puskesmas	2000	Liter/hari
4.	Masjid	3000	Liter/hari
5.	Kantor	10	Liter/pegawai/hari
6.	Pasar	12000	Liter/hektar/hari
7.	Hotel	150	Liter/bed/hari
8.	Rumah Makan	100	Liter/tempat duduk/hari
9.	Kompleks Militer	60	Liter/orang/hari
10.	Kawasan Industri	0,2 - 0,8	Liter/orang/hari
11.	Kawasan Pariwisata	0,1 - 0,3	Liter/detik/hari

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya (2000)

**Tabel 2. 3** Standar Konsumsi Air Non Domestik menurut Kategori Kota (V)

No	Sektor	Besaran	Satuan
1.	Sekolah	5	Liter/murid/hari
2.	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3.	Puskesmas	1200	Liter/hari
4.	Hotel/losmen	90	Liter/hari
5.	Komersial/industri	10	Liter/pegawai/hari

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya (2000)

#### 2.4.3 Fluktuasi Konsumsi Kebutuhan Air

Kebutuhan air di suatu wilayah bersifat dinamis dan tidak selalu konstan, karena dipengaruhi oleh faktor musim dan aktivitas masyarakat. Oleh karena itu,

perencanaan sistem penyediaan air perlu mempertimbangkan variasi konsumsi yang terjadi. Secara umum, kebutuhan air dibagi menjadi tiga kategori:

1. Kebutuhan harian rata-rata, yaitu jumlah rata-rata air yang diperlukan per orang per hari untuk kebutuhan rumah tangga dan non-rumah tangga, termasuk kehilangan air yang dihitung berdasarkan rata-rata penggunaan air per jam dalam sehari.
2. Kebutuhan pada jam puncak, yakni tingkat konsumsi tertinggi yang terjadi dalam satu hari, yang dapat diperoleh dengan mengalikan kebutuhan harian rata-rata dengan faktor pengali antara 1,5 hingga 2,0 (Badan Standardisasi Nasional, 2011).
3. Kebutuhan harian tertinggi, khususnya jumlah air terbesar yang dibutuhkan dalam satu hari selama satu tahun dalam suatu wilayah layanan, ditentukan dari kebutuhan harian rata-rata dikalikan dengan faktor berkisar antara 1,1 sampai dengan 1,15 (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

## **2.5 Kehilangan Air**

Kebocoran atau kehilangan air dapat terjadi dalam perencanaan sistem penyediaan air bersih, terutama akibat pemasangan sambungan (fittings) yang kurang tepat, adanya sambungan ilegal atau tekanan eksternal yang menyebabkan kerusakan pada jaringan perpipaan. Air yang hilang karena kebocoran pipa dapat dideteksi dengan alat khusus seperti *leak detector*. Untuk meminimalkan tingkat kehilangan air, dapat diterapkan strategi teknis seperti pembagian area distribusi menjadi beberapa zona pengawasan yang memudahkan pemantauan serta pengendalian aliran. Selain itu, pemasangan meter air secara sistematis juga membantu dalam mengidentifikasi sumber kebocoran dan konsumsi yang tak terukur secara lebih efektif.

## **2.6 Sistem Pengaliran**

Air bersih bisa disalurkan melalui beberapa metode, tergantung pada bentuk tanah yang menghubungkan sumber air dengan pengguna. Berikut adalah beberapa cara penyediaan air bersih:

### 1. Secara gravitasi

Sistem ini diterapkan ketika reservoir berada di ketinggian yang memadai sehingga tidak memerlukan pompa, sebab air bisa mengalir secara alami karena adanya gravitasi. Metode ini efisien karena hanya mengandalkan variasi ketinggian antara berbagai lokasi dan sangat cocok untuk daerah dengan kontur lahan yang menurun.

### 2. Secara pompa

Sistem dengan menggunakan pompa digunakan saat sumber air atau penampungan berada di tempat yang lebih rendah, sehingga air tidak bisa mengalir dengan sendirinya. Dalam sistem ini, pompa diperlukan untuk memberikan dorongan tambahan agar air dapat mengalir melalui jaringan pipa dan sampai ke pengguna. Metode ini umumnya diterapkan di lokasi yang memiliki permukaan tanah datar atau tidak ada perbedaan ketinggian yang signifikan.

### 3. Secara gabungan

Sistem gabungan merupakan perpaduan antara sistem gravitasi dan pemompaan, dan sering kali menjadi pilihan utama dalam distribusi modern. Dengan cara ini, air yang tidak langsung digunakan saat permintaan rendah akan dipompa ke dalam tangki pengimanan, lalu didistribusikan secara gravitasi ketika ada lonjakan permintaan. Tangki ini berfungsi untuk menyeimbangkan tekanan dan menyediakan cadangan air dalam keadaan darurat, sehingga kinerja pompa tetap terjaga dan efisien.

## 2.7 Sistem Perpipaan Distribusi

Sistem perpipaan distribusi adalah jaringan perpipaan yang dibuat untuk mengalirkan air bersih dari tempat penyimpanan menuju pengguna akhir, seperti rumah tangga, fasilitas umum, atau bangunan komersial. Pipa-pipa ini umumnya dipasang mengikuti jalur jalan atau area yang telah dikembangkan, dan memanfaatkan tekanan agar aliran air tetap lancar ke setiap titik sambungan. Di sepanjang jalur distribusi terdapat berbagai macam sambungan yang memenuhi kebutuhan pengguna, seperti sambungan rumah, hidran umum, atau sambungan

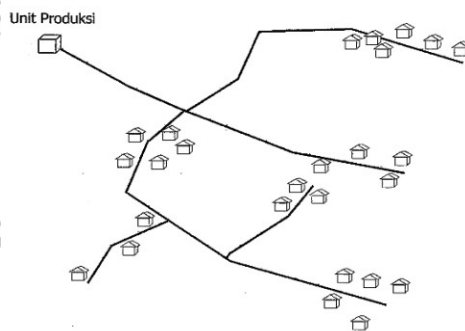
usaha. Ada beberapa tipe sistem jaringan distribusi air, antara lain sistem pipa bercabang, pipa melingkar, sistem gridiron, dan sistem radial.

Secara umum. Terdapat dua tipe sistem penyediaan air bersih yang biasa diterapkan, yakni sistem cabang dan melingkar. Masing-masing tipe memiliki ciri-ciri, manfaat, dan keterbatasan tersendiri bergantung pada keadaan zona layanan.

#### 1. Jaringan Pipa Cabang

Sistem cabang terdiri dari jaringan pipa yang terhubung dalam satu aliran dengan percabangan berdasarkan zonasi wilayah layanan. Aliran air berakhir di titik-titik akhir tanpa adanya aliran kembali. Model sistem ini umumnya diterapkan di daerah yang memanjang dengan jalan yang tidak saling terhubung dan dengan keadaan topografi yang searah.

Keuntungan dari sistem ini termasuk kemudahan dalam perhitungan ukuran pipa, proses instalasi yang lebih sederhana, kebutuhan pipa yang relatif minimal, serta kecenderungan untuk memiliki tekanan air lebih tinggi dibagian paling ujung jaringan. Namun, sistem ini juga memiliki beberapa kelamahan, seperti risiko terjadinya endapan di bagian ujung pipa yang mengharuskan perawatan secara rutin, kerusakan di satu titik dapat berdampak pada distribusi di area lain, tekanan air di sambungan mungkin tidak cukup, dan distribusi air sering kali tidak merata serta tidak stabil terutama di lokasi paling jauh.



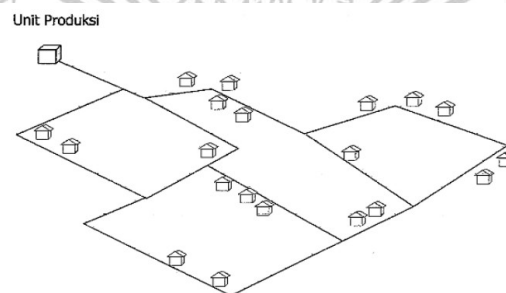
Sumber: Kementerian PUPR

**Gambar 2. 1** Jaringan pipa distribusi sistem cabang

#### 2. Jaringan Pipa Melingkar

Sistem ini merupakan sistem distribusi tertutup di mana pipa-pipa utama saling terhubung membentuk siklus, sehingga menghindari keberadaan ujung jalan mati. Sistem ini sangat cocok untuk daerah dengan jaringan jalan yang saling terhubung, pertumbuhan kota yang menyebar ke segala arah, serta wilayah dengan topografi relatif datar.

Beberapa keuntungan dari sistem ini, yaitu pencegahan penumpukan lumpur atau tanah yang lebih mudah, aliran air yang lebih seimbang dan distribusi yang lebih merata, serta pengurangan gangguan dalam distribusi akibat kerusakan pipa karena air bisa dialihkan ke saluran lain. Namun, ada juga beberapa kekurangan seperti desain pipa yang lebih kompleks, lebih banyaknya peralatan dan variasi pipa yang dibutuhkan, kemungkinan tekanan air yang lebih rendah dan kurang stabil, serta perhitungan hidraulik yang lebih rumit karena aliran yang seimbang di setiap *loop* perlu diperhatikan.



Sumber: Kementerian PUPR

**Gambar 2. 2** Jaringan pipa distribusi sistem melingkar

## 2.8 Perpipaan

### 2.8.1 Jenis - Jenis Pipa

Dalam merancang sistem distribusi air bersih, pilihan jenis pipa sangat dipengaruhi oleh karakteristik material yang digunakan. Setiap jenis material memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri yang perlu dipertimbangkan dengan memperhatikan tekanan operasional, kondisi lingkungan dan efisiensi biaya.

#### 1. Pipa besi cor (CI)

Pipa ini tersedia dalam panjang standar 3,7 m dan 5,5 m dengan diameter antara 50 mm hingga 900 mm, dan mampu menahan tekanan

sampai 240 mKa tergantung pada ukurannya. Pipa CI terkenal karena kekuatannya, ketahanannya, kemudahan dalam penyambungan dan biaya yang relatif terjangkau. Namun, disisi lain kekurangan dari pipa ini termasuk beratnya yang cukup besar, rentan terhadap kerusakan saat diangkut, dan kondisi permukaan bagian dalam yang dapat menjadi kasar seiring waktu yang menyebabkan penurunan kapasitas aliran.

## 2. Pipa beton

Pipa ini ideal untuk sistem dengan tekanan rendah dimana kebocoran tidak terlalu menjadi masalah. Pipa beton memiliki permukaan bagian dalam yang halus dan tahan terhadap korosi, serta dapat bertahan hingga 75 tahun. Meskipun demikian, beratnya yang cukup besar membuat proses pemasangan dan perbaikan menjadi sulit dan juga rentan terhadap kerusakan saat diangkut.

## 3. Pipa baja

Pipa baja biasanya diterapkan pada sistem dengan diameter besar dan bertekanan tinggi. Pipa ini memiliki bobot yang lebih ringan dibandingkan pipa CI, mudah untuk dipasang, dan mampu menahan tekanan hingga 7 mKa. Namun, pipa ini rentan terhadap air yang bersifat asam atau basa sehingga berisiko mengalami korosi jika tidak dilindungi dengan pelapisan khusus. Umum teknis dari pipa baja ini berkisar antara 25 hingga 30 tahun.

## 4. Pipa asbes-semen

Pipa asbes-semen dibuat dari kombinasi serat asbes dan semen dengan tekanan tinggi, memiliki ukuran diameter bervariasi dari 50 mm hingga 900 mm. Pipa ini memiliki bobot yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, tidak berkarat, dan memiliki permukaan dalam yang halus. Namun, kelemahannya adalah sifatnya yang rapuh sehingga tidak ideal untuk tekanan tinggi.

## 5. Pipa besi galvanis

Pipa GI biasa dipakai untuk sistem perpipaan di bangunan dengan ukuran antara 60 mm hingga 750 mm. kelebihan dari pipa ini adalah harganya yang terjangkau, ringan, dan mudah dalam proses

penyambungannya. Di sisi lain, pipa ini memiliki rentang waktu pemakaian yang singkat (sekitar 7 sampai 10 tahun), mudah terpengaruh oleh air asam atau basa, dan rentan terhadap terbentuknya endapan di dalamnya.

#### 6. Pipa plastik

Pipa plastic sering dipilih karena bobotnya yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan sifat yang tidak reaktif. Terdapat dua jenis utama, yaitu polietilena densitas rendah (LDPE) yang memiliki fleksibilitas tinggi dan ideal untuk digunakan pada pipa dengan diameter kecil dalam jangka panjang, meskipun kurang direkomendasikan untuk air bersih di dalam gedung. Di sisi lain, polietilena densitas tinggi (HDPE) lebih kuat dan tersedia dalam ukuran diameter yang lebih besar, sehingga lebih sesuai untuk sistem distribusi jarak jauh.

#### 7. Pipa PVC (polivinil klorida)

Pipa PVC banyak dipilih karena kekuatannya yang tinggi, ketahanan terhadap berbagai bahan kimia dan korosi, serta kemudahan dalam proses pengelasan. Pipa PVC hadir dalam berbagai ukuran dan umumnya digunakan dalam sistem pasokan air minum, sistem air dingin, serta jaringan drainase dan pembuangan limbah yang terletak di bawah tanah.

### 2.8.2 Perpipaan Distribusi

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (Nomor 18 Tahun 2007 tentang Pelaksanaan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum), pipa distribusi berfungsi untuk menyalurkan air dari reservoir ke konsumen. Ukuran pipa distribusi air bersih ditentukan oleh aliran maksimum per jam dengan tekanan sisa yang minimum. Berikut adalah table ukuran pipa distribusi:

**Tabel 2. 4 Dimensi Pipa Distribusi**

Cakupan Sistem	Pipa Distribusi Utama	Pipa Distribusi Pembawa	Pipa Distribusi Pembagi	Pipa Pelayanan
Sistem Kecamatan	> 100 mm	75 - 100 mm	75 mm	50 mm
Sistem Kota	> 150 mm	100 - 150 mm	75 - 100 mm	50 - 75 mm

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.18 Tahun 2007

**Tabel 2. 5** Dimensi Pipa PVC

DN (Diameter Nominal)		OD (Outside Diameter)	Tekanan Kerja Maksimal (Bar)
mm	inch		
16	1/2"	22	10
20	3/4"	26	
25	1"	32	
35	1 1/4"	42	
40	1 1/2"	48	
50	2"	60	
65	2 1/2"	76	
75	3"	89	
100	4"	114	
125	5"	140	
150	6"	165	
200	8"	216	
250	10"	267	
300	12"	318	
Keterangan: 10 Bar = 1101,97 m			

Sumber: Katalog Harga dan Ukuran Pipa PVC PT. Wahana Duta Jaya Rucika

## 2.9 Reservoir

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (No 18 Tahun 2007 mengenai SPAM), reservoir adalah suatu tempat untuk menyimpan air secara sementara sebelum air tersebut disalurkan kepada konsumen. Reservoir dapat dibangun baik di bawah permukaan tanah maupun di permukaan, dan umumnya ditempatkan pada elevasi yang memungkinkan suplai air tetap stabil dan merata ke seluruh wilayah pelayanan.

Secara fungsi, reservoir berperan sebagai penyeimbang antara produksi dan konsumsi air, menjaga kestabilan tekanan, serta sebagai cadangan pasokan dalam sistem distribusi. Penentuan kapasitas reservoir dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu sebesar 20% dari kebutuhan air harian maksimum atau 20% dari volume distribusi harian.

Tangki atau bak penampung hasil pompa juga termasuk dalam kategori reservoir. Tangki ini dapat ditempatkan di atas tanah atau pada struktur bangunan dan berfungsi untuk menampung air sebelum dialirkan ke jaringan. Dimensi dan

kapasitas tangki ditentukan menggunakan rumus teknis tertentu yang mempertimbangkan kebutuhan pasokan dan efisiensi sistem.

$$V = P \times L \times D \dots\dots\dots(2.1)$$

di mana: V = Volume (m<sup>3</sup>)

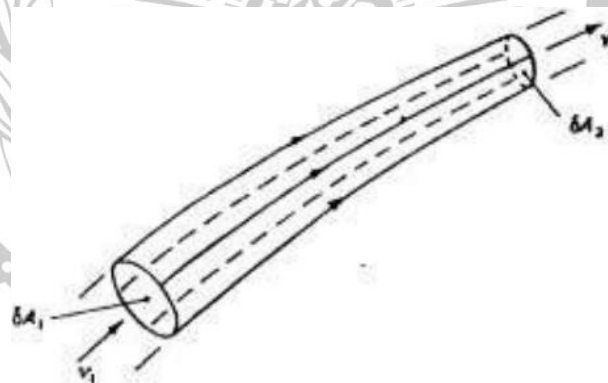
L = Lebar (m)

P = Panjang (m)

D = Kedalaman (m)

## 2.10 Prinsip Kontinuitas Aliran Fluida

Menurut Triatmodjo (1993:116), hukum kontinuitas menyatakan bahwa dalam sistem aliran cairan, baik itu melalui saluran terbuka maupun pipa, jumlah cairan yang mengalir per satuan waktu tetap sama di setiap penampang melintang asalkan tidak ada massa yang hilang atau bertambah. Ini menunjukkan bahwa laju aliran tetap sama meskipun kecepatan atau ukuran penampang dapat berubah. Prinsip ini diterapkan untuk aliran yang konstan maupun yang berubah-ubah dan menjadi dasar untuk menganalisis sistem perpipaan dan saluran dalam hidraulika.



Sumber: Triatmodjo (1993:116)

**Gambar 2. 3** Representasi Aliran Zat Cair untuk Persamaan Kontinuitas

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Atau

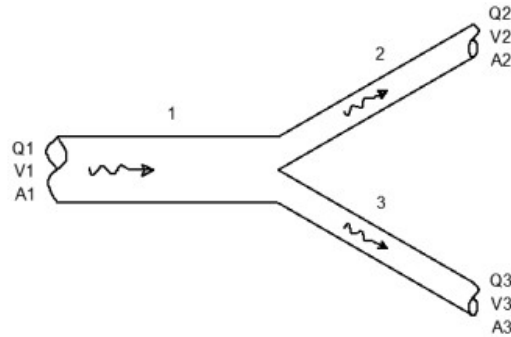
$$Q = A \times V = \text{konstan} \dots\dots\dots(2.3)$$

di mana:

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

V = Kecepatan aliran (m/detik)

Pada percabangan pipa, jumlah debit air yang mengalir masuk ke titik percabangan akan selalu sama dengan total debit yang keluar dari titik tersebut.



Sumber: Triatmodjo (1993:117)

**Gambar 2. 4** Representasi Hukum Kontinuitas pada Titik Percabangan

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 + A_3 V_3 \dots\dots\dots(2.5)$$

Sumber: Hidraulika I Bambang Triatmojo, 1993:117

**2.10.1 Kecepatan Aliran Fluida**

Untuk menentukan kecepatan aliran di setiap cabang, prinsip kontinuitas dapat digunakan sebagai dasar perhitungannya.

$$Q = A \times V = \frac{1}{4} \pi D^2 V \dots\dots\dots(2.6)$$

$$V = \frac{4 Q}{\pi D^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

di mana:

Q = Debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

D = Diameter pipa (m)

Sumber: Hidraulika II Bambang Triatmodjo, 1993:27

### 2.10.2 Kehilangan Energi

Air yang melewati pipa dalam perjalanannya akan mengalami kehilangan energi, disebabkan adanya gesekan pada dinding pipa. Faktor yang mempengaruhi terjadinya kehilangan energi pada perpipaan yaitu:

#### 1. Kerugian Energi Mayor

Ini merujuk pada hilangnya tekanan yang terjadi akibat adanya gesekan antara cairan dan permukaan pipa saat mengalir. Gesekan ini muncul akibat viskositas air dan ketidakrataan pada permukaan pipa. Kehilangan tekanan ini sering kali terjadi secara konsisten sepanjang pipa dan merupakan elemen penting dalam analisis hidraulik. Dua rumus utama yang digunakan untuk menghitung kehilangan energi karena gesekan adalah:

##### a. Persamaan Darcy Weisbach

Rumus ini dipakai untuk menghitung kehilangan energi (atau kehilangan tekanan) yang disebabkan oleh gesekan dan dinyatakan sebagai berikut:

$$hf = f \frac{L \times V^2}{D \times 2g} \dots \dots \dots (2.8)$$

di mana: hf = Kehilangan energi akibat gesekan(m)

f = Koefisien gesek Darcy

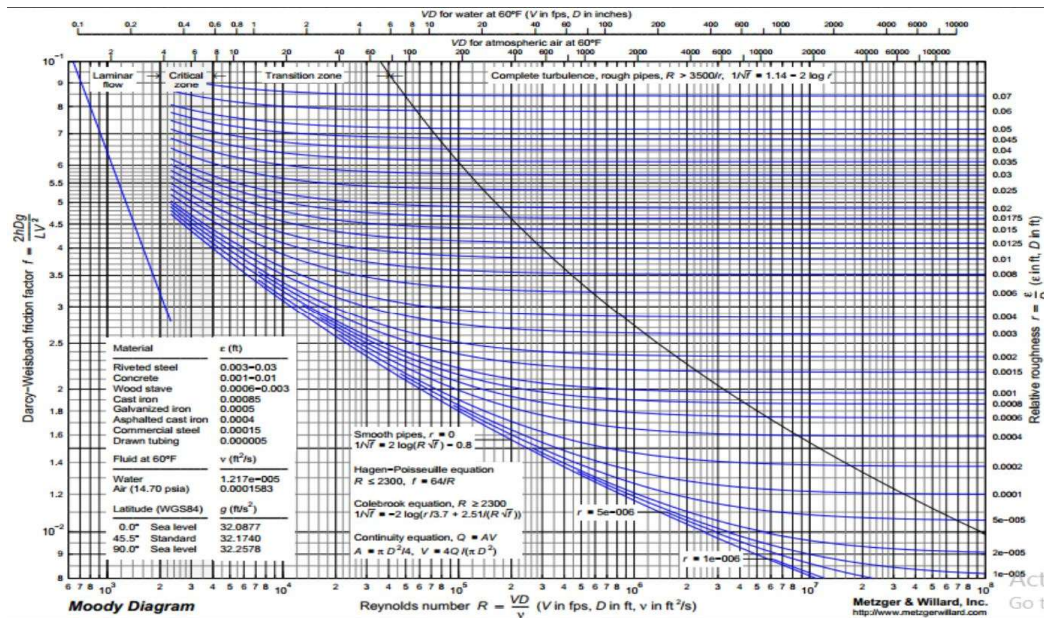
L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

D = Diameter dalam pipa (m)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)

Nilai f diperoleh dari diagram moody, dengan memplot bilangan reynold (R) terhadap kekasaran relatif (r) dari pipa.



Sumber: Triatmodjo, 1993:33  
**Gambar 2.5** Diagram Moody

b. Persamaan Hazen Williams

Rumus ini lebih mudah dibandingkan dengan persamaan Darcy Wesbach karena koefisien gesekan yang terdapat di dalamnya tidak terpengaruh oleh bilangan Reynold. Namun, rumus ini hanya berlaku untuk air dan sering digunakan dalam sistem distribusi air bersih. Meskipun kurang tepat untuk fluida non-laminer atau cairan lainnya, rumus ini tetap banyak dipakai karena kepraktisan dalam perhitungan teknisnya.

$$Q = C_u \times C_{HW} \times D^{2.63} \times i^{0.54} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$hf = \frac{Q^{1.85}}{(0.2785 \times D^{2.63} \times C)^{1.85}} \times L \dots\dots\dots(2.10)$$

di mana:  $C_u = 0,2785$

$C_{WH}$  = koefisien Hazen William

$i$  = kemiringan atau slope garis tenaga ( $i = \frac{hf}{L}$ )

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

$h_f$  = kehilangan energi (m)

$D$  = diameter pipa (m)

$L$  = panjang pipa (m)

**Tabel 2. 6** Nilai Koefisien Hazen William Setiap Jenis Pipa

Jenis Pipa	Nilai C
<i>Asbes cement (ACP)</i>	120
U-PVC	120
<i>Polyethylene (PE)</i>	130
<i>Ductile (DCIP)</i>	110
<i>Besi tulang (CIP)</i>	110
<i>GIP</i>	110
<i>Baja</i>	110
<i>Pre-stress Concrete (PSC)</i>	120

Sumber: SNI 7509 Tahun 2011

## 2. Kerugian Energi Minor

Menurut Triatmodjo (1993:48), kehilangan energi minor atau sekunder biasanya bernilai lebih kecil dibandingkan kehilangan utama. Kehilangan ini terjadi akibat hambatan dalam aliran air, seperti perubahan mendadak pada penampang pipa, keberadaan katup, belokan, dan sambungan. Karena sifatnya menyebar dan tidak selalu signifikan, kehilangan minor sering kali dianggap terdistribusi di sepanjang sistem aliran.

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

di mana:  $h_f$  = kehilangan energi minor (m)

$K$  = Koefisien kehilangan lokal

$V$  = kecepatan aliran (m/detik)

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)

### 2.11 Program EPANET

EPANET adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *water supply* dan *water supply and water resources division* dari *USEPA's National Risk Management Research Laboratory*, dan dirancang khusus untuk mensimulasikan

aliran hidrolik serta kualitas air dalam sistem perpipaan. Sistem ini memfasilitasi pemodelan berbagai komponen seperti pipa, sambungan, pompa, katup, tangki, dan juga reservoir. Program ini memungkinkan pengguna untuk meneliti aliran air dalam setiap pipa, menilai tekanan di masing-masing titik, dan mengawasi fluktuasi konsentrasi bahan kimia dalam air selama masa aliran.

Menurut BPPSPAM Departemen Pekerjaan Umum (2014), keunggulan utama EPANET adalah kemampuannya dalam menghitung kehilangan energi (*headloss*) menggunakan berbagai rumus seperti Darcy-Weisbach, Hazzen-Williams dan Chezy-Manning. Selain itu, EPANET juga unggul dalam simulasi kualitas air, keluasan dalam menentukan kebutuhan air, dan kemudahan penggunaan, bahkan saat menyusun model dengan kategori kebutuhan yang sama pada satu titik aliran (*node*).

## 2.12 Air Buangan

Air limbah dari aktivitas rumah tangga, industri, sekolah, dan fasilitas lainnya yang tidak lagi digunakan setelah memenuhi fungsinya disebut air buangan. Umumnya, jumlah air buangan diambil sekitar 90% total kebutuhan air bersih harian per orang dan menjadi salah satu hal terpenting dalam merancang sistem drainase dan pengolahan limbah

Berikut merupakan langkah dalam menghitung debit air buangan:

1. Menentukan kebutuhan air bersih harian maksimum  

$$= \text{kebutuhan air rata-rata per hari} \times 1,15 \dots\dots\dots(2.12)$$

2. Menentukan banyaknya air kotor harian maksimum ( $q_m$ )  

$$= \text{kebutuhan air maksimum per hari} \times 90\% \dots\dots\dots(2.13)$$

3. Menentukan banyaknya air buangan harian maksimum rata-rata ( $q_r$ )  

$$= \text{banyaknya air kotor maksimum} / \text{jam} \frac{q_m}{24 \text{ jam}} \dots\dots\dots(2.14)$$

4. Q air kotor maksimum  

$$(Q_{\text{peak}}) = p \times q_m \dots\dots\dots(2.15)$$

$$P = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{qm}} \dots\dots\dots (2.16)$$

5. Q air kotor puncak

$$= Q_{\text{peak}} : \text{kepadatan penduduk} \dots\dots\dots (2.17)$$

## 2.13 Drainase

Kata “drainase” diambil dari Bahasa Inggris “*drainage*” yang berarti mengalirkan, membuang, atau menguras air. Menurut Suripin (2004), drainase ialah tindakan yang dilakukan dalam mengurangi air hujan yang berlebih, rembesan, atau limpasan dari irigasi agar tidak mengganggu suatu area. Drainase mencakup tidak hanya limpasan di permukaan, tetapi juga air yang tersimpan di dalam tanah.

### 2.13.1 Tujuan Drainase

Menurut Mulyanto (2013), drainase memiliki beberapa peranan penting dalam pengelolaan ruang, terutama di daerah perkotaan:

1. Menyalurkan air berlebih ke sungai, danau, atau laut untuk mencegah terjadinya banjir.
2. Mengalihkan air limbah serta polutan, terutama yang berasal dari area perkotaan dan terbawa oleh air hujan ke dalam sistem sungai yang dapat membersihkannya secara alami.
3. Mengatur arah dan kecepatan aliran agar air mengalir dengan tertib tanpa menimbulkan sedimentasi atau erosi di saluran.
4. Mengontrol level air tanah untuk menghindari banjir saat musim hujan dan menjaga kelembaban tanah saat musim kemarau.
5. Memberikan sumber air alternatif, karena air dari drainase dapat dimanfaatkan kembali untuk non-rumah tangga jika memenuhi standar tertentu.
6. Mencegah erosi, terutama di daerah berbukit dengan mengatur limpasan permukaan agar tidak merusak lereng.

### 2.13.2 Sistem Drainase

Sistem drainase terdiri dari berbagai struktur yang berfungsi untuk mengalirkan dan mengeluarkan air hujan berlebih dari suatu lokasi agar tidak mengganggu kegiatan atau infrastruktur (Suripin, 2004). Unsur-unsur dalam sistem drainase meliputi:

- a. Saluran penerima (*Interceptor*), berfungsi untuk menghalangi aliran air dari atas menuju ke bawah.
- b. Saluran pengumpul (*Collector*), bertugas mengumpulkan air dari saluran-saluran kecil dan mengarahkannya ke saluran yang lebih besar.
- c. Saluran pembawa (*Conveyor*), memindahkan air dari suatu daerah ke lokasi pembuangan akhir.

Berdasarkan asalnya, sistem drainase dikelompokkan menjadi:

- a. Drainase alami, seperti sungai atau aliran yang terjadi secara alami.
- b. Drainase buatan, yaitu saluran yang dirancang oleh manusia untuk mendukung sistem drainase alami.

Dilihat dari fungsinya:

- a. *Single purpose*, hanya mengalirkan satu jenis air buangan.
- b. *Multi purpose*, menangani beberapa jenis air buangan sekaligus.

Berdasarkan konstruksinya:

- a. Saluran terbuka, seperti saluran tanah, batu kali, atau beton dan umum digunakan di daerah yang masih tersedia ruang terbuka.
- b. Saluran tertutup, digunakan di kawasan perkotaan padat dan biasanya berupa buis beton atau saluran beton bertulang dengan penutup.

Perbedaan yang paling mencolok antara saluran terbuka dan tertutup terletak pada permukaan airnya, saluran terbuka memiliki permukaan bebas, sementara saluran tertutup selalu terisi penuh dengan air dan tidak memiliki permukaan yang bebas (Suripin, 2004).

Saluran terbuka biasanya lebih sering dipilih dalam perencanaan teknik karena lebih mudah untuk dipantau dan dirawat. Dibawah ini adalah berbagai bentuk dari penampang saluran drainase.

Penampang	Luas A	Keliling basah O	Jari-jari hidrolis R	Lebar puncak T	Kedalaman hidrolis D	Faktor penampang Z
 Persegi Panjang	$Bh$	$B+2h$	$\frac{Bh}{B+2h}$	$B$	$h$	$Bh^{1.5}$
 Trapezium	$(B+zh)h$	$B+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(B+zh)h}{B+2h\sqrt{1+z^2}}$	$B+2zh$	$\frac{(B+zh)h}{B+2zh}$	$\frac{[(B+zh)h]^{1.5}}{\sqrt{B+2zh}}$
 Segi tiga	$zh^2$	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2}h$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zh^{2.5}$
 Lingkaran	$\frac{1}{2}(\theta - \sin\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}(1 - \frac{\sin\theta}{\theta})d_0$	$\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{h(d_0-h)}}$	$\frac{1}{6}(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin \frac{1}{2}\theta})d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{32(\sin \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parabola	$\frac{1}{2}Th$	$T + \frac{2}{3}\sqrt{T^2 + 4h^2}$	$\frac{2T^2h}{3T^2 + 8h^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{h}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Th^{1.5}$
 Persegi panjang alir dibulatkan	$(\frac{T}{2}-2)r^2 + (B+2r)h$	$(w-2)r+B+2h$	$\frac{(\frac{T}{2}-2)r^2 + (B+2r)h}{(w-2)r+B+2h}$	$B+2r$	$\frac{(\frac{T}{2}-2)r^2}{B+2r} + h$	$\frac{[(\frac{T}{2}-2)r^2 + (B+2r)h]^{1.5}}{\sqrt{B+2r}}$
 Segi tiga, dasar dibulatkan	$\frac{T^2}{24} - \frac{r^2}{2}(1-z\cot^2\frac{1}{2}\theta)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - 2r(1-z\cot^2\frac{1}{2}\theta)$	$\frac{A}{O}$	$2[z(h-r)+r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

Sumber: Chow, 1992

Gambar 2. 6 Penampang Saluran Terbuka dalam Sistem Drainase

2.14 Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah bidang yang menelaah pergerakan dan penyebaran air di permukaan bumi. Curah hujan merupakan salah satu aspek kunci dalam analisis hidrologi karena sangat mempengaruhi keadaan limpasan di daerah tertentu. Informasi mengenai curah hujan ialah hal yang diperlukan dalam memperkirakan aliran banjir dan limpasan dengan akurasi tinggi yang krusial dalam merancang infrastruktur air seperti saluran pembuangan, bendunagn pengendali banjir, dan saluran air.

Berdasarkan Triatmodjo (2008), hidrologi juga memiliki peran signifikan dalam memprediksi ketersediaan air dari sumber tertentu untuk berbagai keperluan, baik untuk penggunaan rumah tangga maupun industri.

2.14.1 Parameter Statistik

Dalam analisis sebaran curah hujan, sejumlah parameter statistik diterapkan untuk menggambarkan ciri-ciri data curah hujan yang telah diteliti. Menurut Soemarto (1995), pemilihan tipe distribusi harus diselaraskan dengan ciri-ciri dari data yang diperoleh melalui pengujian statistik. Beberapa parameter penting yang digunakan, seperti rata-rata ( $X_r$ ), standar deviasi (Sd), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan atau skewness (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck). Nilai tersebut dihitung dengan rumus statistik tertentu dalam menentukan tipe distribusi yang paling sesuai untuk digunakan dalam analisis curah hujan:

$$X_{rt} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$C_v = \frac{S_d}{X} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^3}{(n-1)(n-2) S_d^3} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$C_k = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^4}{(n-1)(n-2) S_d^4} \dots\dots\dots(2.22)$$

**2.14.2 Analisis Frekuensi**

Analisis frekuensi digunakan dalam memperkirakan banyaknya curah hujan maksimum yang mungkin terjadi pada periode ulang tertentu, berdasarkan data historis dari stasiun hujan. Hasilnya akan menjadi dasar yang digunakan dalam menghitung debit banjir rencana secara empiris. Metode ini bisa dilakukan menggunakan data hujan maupun debit. Untuk itu, data dianalisis dengan beberapa jenis distribusi probabilitas yang umum digunakan dalam hidrologi, seperti gumbel, normal, log-normal, dan log-pearson III.

Pemilihan jenis distribusi dilakukan dengan mencocokkan data terhadap persyaratan tiap-tiap distribusi, yang dapat dilihat dalam Tabel 2.7.

**Tabel 2. 7** Parameter Penentuan Jenis Sebaran

No	Distribusi	Persyaratan
1	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
3	Log normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log person III	Selain dari nilai di atas

Sumber: Bambang T, 2008

**2.14.2.1 Distribusi E.J Gumbel**

Analisa frekuensi dengan menggunakan metode Gumbel dilakukan dengan persamaan berikut ini.

$$X_T = X_{rt} + k \cdot S \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana :

$X_T$  = Curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

$X_{rt}$  = Nilai rata-rata

Sd = Standar deviasi

K = Frekuensi faktor yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe frekuensi

Dibawah ini adalah perhitungan untuk faktor frekuensi Gumbel:

$$K = \frac{Y_{Tr} + Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana :

$Y_n$  = *Reduced mean* sebagai fungsi dari banyak nya data (n)

$S_n$  = *Reduced standart devisation* sebagai fungsi dari banyak data (n)

$Y_{Tr}$  = *Reduced variate* sebagai fungsi dari periode T =  $-\ln\{-\ln\frac{Tr-1}{Tr}\}$

**Tabel 2. 8** *Reduced mean (Y<sub>n</sub>)*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5401	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5586
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5503	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: Suripin, 2004

**Tabel 2. 9** *Reduced Standart Deviation (S<sub>n</sub>)*

<b>N</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>10</b>	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
<b>20</b>	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
<b>30</b>	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
<b>40</b>	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
<b>50</b>	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
<b>60</b>	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
<b>70</b>	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
<b>80</b>	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,19730	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
<b>90</b>	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
<b>100</b>	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber: Suripin, 2004

**Tabel 2. 10** *Reduced Variate (Y<sub>TR</sub>)*

<b>Periode ulang (Tr) (Thn)</b>	<b>Reduced Variate (TTR)</b>	<b>Periode ulang (Tr) (Thn)</b>	<b>Reduced Variate (TTR)</b>
<b>2</b>	0,3668	<b>100</b>	4,6012
<b>5</b>	1,5004	<b>200</b>	5,2969
<b>10</b>	2,2510	<b>250</b>	5,5206
<b>20</b>	2,9709	<b>500</b>	6,2149
<b>25</b>	3,1993	<b>1000</b>	6,9087
<b>50</b>	3,9028	<b>5000</b>	8,5188
<b>75</b>	4,3117	<b>10000</b>	9,2121

Sumber: Suripin, 2004

**2.14.2.2 Distribusi Normal**

Untuk menganalisis data curah hujan yang terdistribusi secara simetris digunakan distribusi normal. Berdasarkan Suripin (2004), estimasi curah hujan rencana untuk periode yang berulang T tahun dilakukan dengan rumus:

$$X_T = X_{rt} + k \cdot S \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana :

- X<sub>T</sub> = Curah hujan rencana kala ulang T tahun
- K = Faktor reduksi *Gauss* (tabel 2.11)
- X<sub>rt</sub> = Nilai rata-rata
- Sd = Standar deviasi

### 2.14.2.3 Distribusi Log Normal

Distribusi log-normal diterapkan saat data curah hujan menunjukkan distribusi yang tidak simetris. Menurut Suripin (2004), data tersebut diubah ke dalam bentuk logaritma dan dihitung menggunakan:

$$\text{Log} = \text{Log } X_{rt} + k \cdot S \text{ Log } X \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana :

Log X = Rata-rata logaritma data

K = Faktor reduksi (tabel 2.11)

Log  $X_{rt}$  = Nilai rata-rata

SLogX = Standar deviasi logaritmik

**Tabel 2. 11** Faktor Reduksi *Gauss*

No	Periode ulang, T (thn)	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,010	0,990	-2,33
4	1,050	0,950	-1,64
5	1,110	0,900	-1,28
6	1,250	0,800	-0,84
7	1,330	0,750	-0,67
8	1,430	0,700	-0,52
9	1,670	0,600	-0,25
10	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1.000,000	0,001	3,09

Sumber: Suripin, 2004

#### 2.14.2.4 Distribusi Log Person III

Menurut Suripin (2004), distribusi Log-Pearson Tipe III diaplikasikan dalam analisis frekuensi curah hujan yang memiliki distribusi tidak simetris, khususnya saat data menunjukkan kemencengan yang signifikan. Model ini ideal untuk memperkirakan curah hujan rencana pada periode pengulangan tertentu, terutama pada data ekstrem. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Log } X = \text{Log } X_{rt} + k \cdot S \dots\dots\dots(2.27)$$

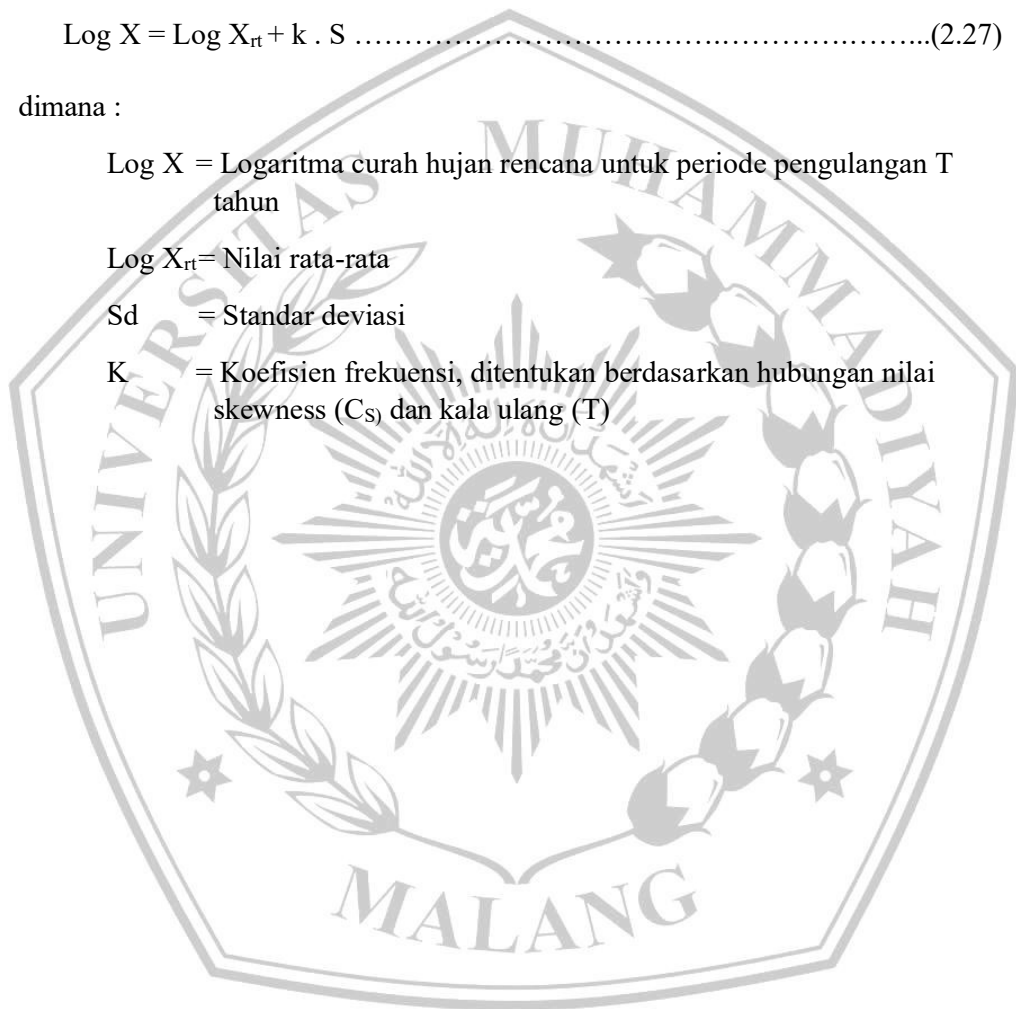
dimana :

Log X = Logaritma curah hujan rencana untuk periode pengulangan T tahun

Log  $X_{rt}$  = Nilai rata-rata

Sd = Standar deviasi

K = Koefisien frekuensi, ditentukan berdasarkan hubungan nilai skewness ( $C_s$ ) dan kala ulang (T)



**Tabel 2. 12** Nilai K untuk Distribusi Log Person III

Koef. G	Interval kejadian ( <i>Recurrence Interval</i> ), tahun ( <i>periode ulang</i> )							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui ( <i>percent change of being exceeded</i> )							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,922	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,634	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin, 2004

## 2.15 Uji Kesesuaian Distribusi

Menurut Triatmodjo (2008), penting untuk melakukan uji kesesuaian distribusi guna memastikan bahwa teoretis sejalandengan data hidrologi yang ada. Terdapat dua metode yang sering dipakai untuk analisis ini, yaitu uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

### 2.15.1 Uji Chi-Kuadrat

Menurut Triatmodjo (2008), pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \dots \dots \dots (2.29)$$

dimana :

- $\chi^2$  = Nilai Chi-Kuadrat hasil perhitungan
- $Ef$  = Frekuensi harapan (teoretis) untuk kelas yang sama
- $Of$  = Frekuensi aktual (observasi) pada kelas tertentu
- $N$  = Jumlah kelas

Nilai  $\chi^2$  kemudian dibandingkan dengan nilai kritis ( $\chi_{cr}^2$ ) (Chi-Kuadrat kritik) pada tingkat signifikansi tertentu, umumnya 5 % untuk suatu derajat nyata. Derajat kebebasan (DK) dihitung dengan:

$$DK = K - (\alpha + 1) \dots \dots \dots (2.30)$$

dimana :

- $K$  = Banyaknya kelas
- $\alpha$  = Jumlah parameter distribusi (untuk uji Chi-Kuadrat umumnya 2)

Untuk validitas uji, disarankan agar jumlah kelas tidak terlalu sedikit dan setiap kelas memiliki frekuensi minimal 5.

**Tabel 2. 13** Nilai  $X^2_{cr}$ 

	A	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
	1	2.70554	3.84146	5.02390	6.63489	7.87940
	2	4.60518	5.99148	7.37778	9.21035	10.59653
	3	6.25139	7.81472	9.34840	11.34488	12.83807
	4	7.77943	9.48773	11.14326	13.27670	14.86017
	5	9.23635	11.07048	12.83249	15.08632	16.74965
	6	10.64464	12.59158	14.44935	16.81187	18.54751
	7	12.01703	14.06713	16.01277	18.47532	20.27774
	8	13.36156	15.50731	17.53454	20.09016	21.95486
	9	14.68366	16.91896	19.02278	21.66605	23.58927
	10	15.98717	18.30703	20.48320	23.20929	25.18805
	11	17.27501	19.67515	21.92002	24.72502	26.75686
	12	18.54934	21.02606	23.33666	26.21696	28.29966
	13	19.81193	22.36203	24.73558	27.68818	29.81932
	14	21.06414	23.68478	26.11893	29.12116	31.31943
	15	22.30712	26.29622	27.48836	30.57795	32.80149
db	16	23.54182	26.29622	28.84532	31.99986	34.26705
	17	24.76903	27.58710	30.19098	33.40872	35.71838
	18	25.98942	28.86932	31.52641	34.80524	37.15639
	19	27.20356	30.14351	32.85234	36.19077	38.58212
	20	28.41197	31.41042	34.16958	37.56627	39.99686
	21	29.61509	32.67056	35.47886	38.93223	41.40094
	22	30.81329	33.92446	36.78068	40.28945	42.79566
	23	32.00689	35.17246	38.07561	41.63833	44.18139
	24	33.19624	36.41503	39.36406	42.97978	45.55836
	25	34.38158	37.65249	40.64650	44.31401	46.92797
	26	35.56316	38.88513	41.92314	45.64164	48.28978
	27	36.74123	40.11327	43.19452	46.96284	49.64504
	28	37.91591	41.33715	44.46079	48.27817	50.99356
	29	39.08748	42.55695	45.72228	49.58783	52.33550
	30	40.25602	43.77295	46.97922	50.89218	53.67187

Sumber: Triadmodjo, 2008

### 2.15.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov merupakan metode statistik non-parametrik yang dipakai untuk mengetahui apakah suatu distribusi dari data nyata mengikuti distribusi teoretis yang spesifik, seperti distribusi normal, distribusi log-normal, atau distribusi gumber. Metode ini membandingkan distribusi frekuensi kumulatif observasi dengan distribusi kumulatif yang sudah ditetapkan secara teoritis. Selisih maksimum antara distribusi frekuensi kumulatif empiris dengan distribusi teoritis, yang dinyatakan dalam nilai statistik  $D_{maks}$  yang kemudian dibandingkan dengan nilai kritis  $D_{kritis}$  dari tabel Smirnov-Kolmogorov pada tingkat signifikansi tertentu ( $\alpha$ ). Apabila nilai  $D_{maks} < D_{kritis}$ , maka data dianggap mengikuti distribusi yang diuji. Tabel 2.14 dibawah ini digunakan untuk memperoleh nilai  $D_{kritis}$ .

**Tabel 2. 14** Nilai  $D_{kritis}$  Smirnirov Kolomogrof

N	$\alpha$			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber: Triadmodjo, 2008

### 2.16 Analisa Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan mengacu pada tinggi curah hujan yang terjadi dalam satuan waktu tertentu, khususnya saat hujan terkonsentrasi di suatu wilayah. Dalam

analisa hidrologi, ini penting dalam memperkirakan debit permukaan dan merancang kapasitas saluran drainase. Dalam menghitung intensitas curah hujan, biasanya digunakan data historis curah hujan maksimum dalam beberapa tahun dan kemudian digunakan rumus empiris. Salah satu rumus yang umum digunakan dalam perencanaan hidrologi adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T_c}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.31)$$

dimana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t = Lama hujan (jam)
- T<sub>c</sub> = Waktu konsentrasi (jam)
- R<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum dalam periode 24 jam (mm)

### 2.16.1 Waktu Konsentrasi (t<sub>c</sub>)

Waktu yang diperlukan agar aliran dari titik paling jauh dalam suatu wilayah aliran mencapai titik kendali di hilir saluran disebut sebagai waktu konsentrasi atau t<sub>c</sub>. Nilai waktu konsentrasi sangat penting karena akan mempengaruhi besarnya intensitas curah hujan (I) yang digunakan dalam perhitungan debit rencana. Karena jumlah pelepasan saluran (Q<sub>s</sub>) berbanding lurus dengan besarnya nilai intensitas hujan, itu akan berdampak pada dimensi saluran. Salah satu rumus empiris yang dapat digunakan dalam memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus Kirpich (1940) yang memperhitungkan kemiringan sungai dan kemiringan daerah aliran sungai:

$$T_c = \frac{(0,87 \times l^2)^{0,385}}{1000 \times s} \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan :

- l = Panjang saluran (km)
- s = Kemiringan saluran

Sementara itu, menurut Wesli (2008), waktu konsentrasi terdiri dari dua komponen utama, yaitu *inlet time* (t<sub>o</sub>) yang merupakan waktu untuk air mencapai saluran dari permukaan tanah dan *conduit time* (t<sub>d</sub>) yang merupakan waktu tempuh aliran dari titik masuk saluran hingga ke titik pengukuran.

$$t_c = t_o + t_d \dots\dots\dots(2.33)$$

$$t_o = \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

- $t_c$  = Waktu konsentrasi (jam)
- $n$  = Koefisien kekasaran permukaan (Manning)
- $S$  = Kemiringan lahan
- $L$  = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)
- $L_s$  = Panjang lintasan aliran dalam saluran (m)
- $V$  = Kecepatan aliran dalam saluran (m/dtk)
- $t_o$  dan  $t_d$  masing-masing dalam satuan menit

Nilai  $t_d$  sangat tergantung pada kondisi fisik saluran. Untuk saluran alami yang memiliki karakteristik tidak seragam, kecepatan aliran bisa dihitung dengan metode empiris seperti Manning, Chenzy atau lainnya, dengan mengacu pada nilai koefisien kekasaran dari tabel 2.15.

**Tabel 2. 15** Kecepatan Rata-rata Saluran Berdasarkan Kemiringan Saluran

Kemiringan Rata-rata Dasar Saluran (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)	Kemiringan Rata-rata Data Saluran (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
< 1	0,40	4 – 6	1,20
1 – 2	0,60	6 – 10	1,50
2 – 4	0,90	10 - 15	2,40

Sumber: Wesli, 2008

**2.16.2 Analisa Debit Banjir Rencana**

Debit banjir rencana adalah besarnya aliran puncak yang terjadi akibat hujan maksimum dalam suatu periode tertentu (Suripin, 2004). Metode rasional sering diaplikasikan untuk menghitung angka ini, yang dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q = C \times I \times A \dots\dots\dots(2.37)$$

Jika dinyatakan dalam bentuk matriks dengan penyesuaian satuan luas dalam kilometer persegi, maka rumusnya menjadi :

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.38)$$

dimana :

- Q = Debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/detik)  
 0,278 = Konstanta, digunakan jika satuan luas daerah menggunakan Km<sup>2</sup>  
 C = Koefisien pengaliran  
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam), sesuai waktu konsentrasi  
 A = Luas daerah aliran (Km<sup>2</sup>)

### 2.17 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran merupakan nilai yang menunjukkan perbandingan antara volume air hujan yang mengalir di permukaan dengan total curah hujan yang jatuh di suatu area (Suripin, 2004). Nilai koefisien ini dipengaruhi oleh kondisi permukaan lahan, seperti tingkat perkerasan, vegetasi, dan tipe tanah. Semakin kedap air sebuah permukaan, maka koefisien limpasan yang dihasilkan akan semakin besar. Apabila satu DAS terdiri dari beragam jenis penggunaan lahan yang masing-masing dengan nilai koefisien yang berbeda, maka nilai koefisien pengaliran total dapat dihitung dengan rata rata tertimbang berdasarkan luas tiap jenis lahan, dengan rumus berikut:

$$C = \frac{n \sum_{i=1}^n C_i \times A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots(2.39)$$

dimana :

- A<sub>i</sub> = Luas lahan ke-i (m<sup>2</sup>)  
 C<sub>i</sub> = Koefisien pengaliran pada jenis lahan ke-i

Tabel 2. 16 Koefisien Limpasan

Jenis Penutup Lahan / Karakteristik Permukaan	Koefisien Pengaliran (C)
Bisnis	
a. Perkotaan	0,70 – 0,95
b. Pinggiran	0,50 – 0,75
Perumahan	
a. Rumah tinggal	0,30 – 0,50
b. Multiunit terpisah	0,40 – 0,60
c. Multiunit tergabung	0,60 – 0,75
d. Perkampungan	0,25 – 0,40
e. Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
a. Ringan	0,50 – 0,80
b. Berat	0,60 – 0,90
Perkerasan	
a. Aspal dan beton	0,70 – 0,95
b. Baru bata, paving	0,50 – 0,70
Halaman tanah berpasir	
a. Datar 2%	0,05 – 0,10
b. Rata-rata 2 - 7%	0,10 – 0,15
c. Curam 7%	0,15 – 0,20
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
Taman, perkuburan	0,10 – 0,25
Atap	0,75 – 0,95
Hutan	
a. Datar 0 - 5%	0,10 - 0,40
b. Rata-rata 5 - 10%	0,25 – 0,50
c. Curam 10 – 30%	0,30 – 0,60

Sumber: Suripin, 2004

## **2.18 Analisa Hidraulika**

Analisa hidraulika mencoba untuk memungkinkan desain sistem jaringan drainase, termasuk dimensi dan bentuk saluran drainase. Analisa hidraulika ini juga dimaksudkan untuk mengetahui dimensi saluran perumahan dan merencanakan pembuangan agar dapat mencegah banjir yang disebabkan oleh debit banjir dengan kala ulang tertentu.

Menurut Suripin (2004), Analisis hidraulik digunakan untuk menghitung profil ketinggian air dalam kondisi aktual dan yang direncanakan sehubungan dengan kegiatan pengendalian banjir. Validasi data dan teknik perhitungan yang representatif diperlukan untuk membantu menghitung analisis untuk mencapai parameterisasi desain yang dapat dipercaya.

### **2.18.1 Tipe dan Karakteristik Aliran dalam Saluran**

Menurut Suripin (2004), saluran drainase termasuk jenis aliran terbuka, di mana permukaan air bersentuhan langsung dengan udara dan tekanannya setara dengan tekanan atmosfer. Aliran terbuka dapat dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan variasi kedalaman aliran dalam ruang dan waktu. Dilihat dari perubahan di sepanjang saluran (ruang), aliran dibedakan menjadi:

1. Aliran seragam, ketika kedalaman, kecepatan, dan debit tetap stabil di setiap titik. Ciri-cirinya adalah permukaan air, garis energi, dan dasar saluran sejajar satu sama lain.
2. Aliran tidak seragam, ketika variabel-variabel ini berfluktuasi dari satu titik ke titik lain.

Sedangkan berdasarkan perubahan terhadap waktu, terdapat:

1. Aliran tetap, ketika kedalaman dan kecepatan air tetap sama seiring waktu.
2. Aliran tidak tetap, ketika kedalaman dan kecepatan mengalami perubahan seiring waktu, contohnya saat hujan deras atau perubahan bukaan saluran.

### **2.18.2 Kecepatan Aliran**

Menurut Suripin (2004), laju aliran dalam suatu saluran harus memenuhi standar tertentu, yaitu laju tersebut tidak boleh kurang dari nilai minimal dan tidak

melebihi nilai maksimal yang diperkenankan, tergantung pada tipe saluran dan bahan yang digunakan. Pengaturan laju ini penting untuk mencegah akumulasi sedimen pada aliran yang lambat dan menghindari kerusakan pada dasar dan sisi saluran akibat aliran yang terlalu cepat.

Beragam rumus hidrolis dapat diaplikasikan untuk menentukan kecepatan aliran, termasuk rumus Chezy dan Strickler, serta rumus Manning yang paling sering dipakai. Setiap rumus ini mempertimbangkan berbagai elemen seperti kemiringan dasar saluran, kekasaran permukaan, serta bentuk dan dimensi penampang. Batas kecepatan tertinggi yang diperbolehkan untuk berbagai jenis bahan saluran dapat dilihat dalam Tabel 2.17, yang berfungsi sebagai panduan untuk menetapkan ukuran dan kapasitas saluran demi menjaga stabilitas sistem hidraulik.

**Tabel 2. 17 Kecepatan Izin Saluran**

<b>Jenis bahan</b>	<b>Kecepatan aliran yang diizinkan (m/detik)</b>	<b>Jenis bahan</b>	<b>Kecepatan aliran yang diizinkan (m/detik)</b>
Pasir halus	0,45	Kerikil kasar	1,20
Lempung kepasiran	0,50	Batu-batu besar	1,50
Lanau alluvial	0,60	Pasangan batu	1,50
Kerikil halus	0,75	Beton	1,50
Lempung kokoh	0,75	Beton bertulang	1,50
Lempung padat	1,10		

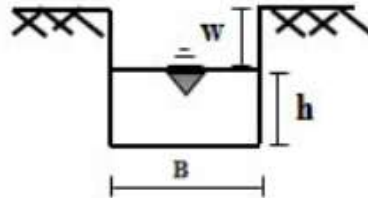
Sumber: Hasmar, 2002

### 2.18.3 Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran untuk saluran drainase buatan biasanya mematuhi pedoman yang serupa dengan saluran irigasi. Namun, apabila aliran air yang merembes menuju saluran diperkirakan cukup besar, maka saluran harus dirancang dengan sudut yang lebih landai. Ini bertujuan untuk menjaga kestabilan lereng

saluran dan menghindari terjadinya erosi atau kerusakan pada struktur saluran akibat tekanan dari air rembesan.

#### 2.18.4 Penampang Saluran Persegi Empat



**Gambar 2. 7** Penampang Saluran Persegi Empat

Menurut Chow (1992), salah satu bentuk penampang yang umum digunakan dalam perencanaan saluran adalah penampang persegi empat.

$$A = b \times h \dots\dots\dots(2.40)$$

$$P = b + 2h \dots\dots\dots(2.41)$$

Untuk menghitung kapasitas aliran dalam saluran, digunakan rumus Manning, yang dirumuskan sebagai:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(2.43)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2.44)$$

dimana :

A = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

V = Kecepatan aliran rata-rata dalam saluran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran manning (tabel 2.12)

Q = Debit aliran (m<sup>3</sup>/dtk)

S = Kemiringan saluran

**Tabel 2. 18** Harga Koefisien Manning (n), yang sering digunakan

No	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	a. Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	b. Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran / gangguan	0,011	0,013	0,014
	c. Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	d. Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, lurus dan seragam			
	a. Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	b. Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	c. Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	d. Berumput pendek, sedikit tanaman, pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam			
	a. Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	b. Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	c. Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	d. Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	e. Saluran di belukar	0,035	0,050	0,070

Sumber: Suripin, 2004